

621. 491(04)
Г72

В.І. ГОЛОШУБОВ

ЗВАРЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ



02.1.131(073)
Д 72
71

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

В. І. Голошубов

ЗВАРЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих
навчальних закладів



Київ
2005

УДК 621.791:621.314.21/26](075.8)

ББК 34.641я73

Г61

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.
Лист № 14/18.2 – 2590 від 08.12.04 р.

Рецензенти: **О. Д. Размишляєв** – декан зварювального факультету
Приазовського державного технічного університету,
доктор технічних наук, професор;
Н. М. Махлін – начальник електротехнічного відділу НІЦ
ЗКАЕ Інституту електрозварювання
ім. Є. О. Патона НАН України;
М. К. Казаков – доцент кафедри електрозварювальних
установок КПП, кандидат технічних наук;
Ю. І. Охай – старший викладач кафедри технології та
устаткування зварювання, КПП.

ГОЛОШУБОВ В. І.

Г61 Зварювальні джерела живлення: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2005. –
448 с.

ISBN 966-8458-63-X

Навчальний посібник "Зварювальні джерела живлення" покликаний уза-
гальнити типи різних джерел живлення, що наведені в технічній літературі.
У посібнику розглянуто конструкції і принципи дії зварювальних трансфор-
маторів, випрямлячів, зварювальних генераторів, перетворювачів та агре-
гатів, а також спеціалізованих джерел живлення.

Розглянута методика і приклад розрахунку трансформаторів з розвине-
ним магнітним розсіянням та вентильного генератора.

Сформульовано основні вимоги до конструкцій джерел живлення для
електронно-променевого зварювання і зварювання тиском. Наведено елек-
тричні схеми сучасних джерел.

В окремому розділі висвітлено питання охорони праці й технічного об-
слуговування джерел живлення для зварювання: плавленням та правила їх
експлуатації.

Для поширення знань у галузі застосування джерел живлення вітчизня-
ного та закордонного виробництва наведено їхні технічні характеристики.

Посібник адресований студентам вищих навчальних закладів III–IV рівнів
акредитації, які навчаються за професійним напрямом «Зварювання».

Крім того, він може представляти значний інтерес для інженерно-тех-
нічних робітників, які працюють в галузі зварювального виробництва.

УДК 621.791:621.314.21/26](075.8)

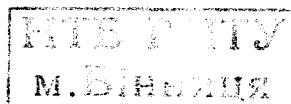
ББК 34.641я73

425/184

ISBN 966-8458-63-X

© В. І. Голошубов, 2005

© Арістей, 2005



ЗМІСТ

Передмова.....	10
1. Зварювальна дуга і джерела живлення. Загальні відомості	11
1.1. Види джерел живлення зварювальної дуги, їх призначення і класифікація	11
1.2. Історія розвитку зварювальних джерел живлення, їх сучасний стан і перспективи розвитку	12
1.3. Властивості та характеристики зварювальної дуги і джерел живлення	15
1.3.1. Види зварювальних дуг	15
1.3.2. Електрична характеристика зварювальної дуги	17
1.3.3. Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги	18
1.3.4. Вольт-амперні характеристики джерел живлення	21
1.4. Зварювальні властивості джерел живлення. Суть і оцінка зварювальних властивостей	23
1.4.1. Надійність запалювання зварювальної дуги	24
1.4.2. Стійкість енергетичної системи «джерело живлення – зварювальна дуга»	27
1.4.3. Вимоги до зовнішніх характеристик джерел живлення, які продиктовані вимогами стійкості	33
1.4.4. Стійкість енергетичної системи при значних коливаннях дуги	34
1.4.5. Стійкість енергетичної системи при зварюванні плавким електродом з коротким замиканням	37
1.4.6. Способи налаштування режиму зварювання	39
1.5. Режим роботи джерел живлення	41
1.6. Вимоги, які висуваються до джерел живлення зварювальної дуги	42
1.6.1. Вимоги до джерел для ручного дугового зварювання покритими електродами	42
1.6.2. Вимоги до джерел для механізованого зварювання в середовищі CO ₂	43
1.6.3. Вимоги до джерел для механізованого зварювання під флюсом	44
1.7. Технічні характеристики джерела живлення	45
1.8. Єдина система позначень джерел живлення	46
1.9. Класифікація джерел живлення і галузі їх застосування	47
2. Зварювальні трансформатори	49
2.1. Призначення, переваги і недоліки	49
2.2. Класифікація зварювальних трансформаторів	49
2.3. Особливості горіння дуги при живленні її змінним струмом	50
2.3.1. Загальні рівняння роботи однофазних зварювальних трансформаторів	54
2.4. Зварювальні трансформатори з нормальним магнітним розсіянням	58
2.4.1. Робота трансформатора	61
2.4.2. Конструкція трансформаторів з нормальним розсіянням	67
2.5. Зварювальні трансформатори з підвищеним магнітним розсіянням	68
2.5.1. Робота трансформатора в усталених режимах. Неробочий хід	68
2.5.2. Регулювання режиму зварювання у трансформаторі	78

2.5.3. Конструкція зварювальних трансформаторів з рухомими котушками	82
2.5.4. Зварювальні трансформатори з рухомими магнітними шунтами	85
2.5.5. Зварювальні трансформатори з нерухомим підмагнічувальним шунтом	88
2.5.6. Трансформатори з ярмовим розсінянням	93
2.5.7. Зварювальні трансформатори з індуктивно-ємнісною компенсацією	98
2.6. Напівпровідникові вентиля, які застосовуються у зварювальних трансформаторах і випрямлячах	101
2.6.1. Структура умовного позначення вентилів	106
2.7. Тиристорні зварювальні трансформатори	107
2.7.1. Призначення і конструкція тиристорних трансформаторів	107
2.7.2. Принципові силові схеми тиристорних трансформаторів	108
2.7.3. Схема імпульсно-фазового керування (СФК) тиристорних трансформаторів	112
2.7.4. Формування зовнішніх характеристик у тиристорному трансформаторі	116
2.7.5. Конструкція тиристорних трансформаторів. Трансформатори типу ТДФЖ	118
2.7.6. Тиристорні трансформатори для ручного дугового зварювання, різання і наплавлення. Трансформатор типу ТДЕ-402	123
2.8. Джерела живлення для зварювання трифазною дугою	128
2.8.1. Особливості горіння трифазної дуги	128
2.8.2. Схеми живлення трифазної дуги з використанням трансформаторів	129
2.8.3. Багатопостова система зварювання змінним струмом	133
3. Зварювальні випрямлячі	137
3.1. Загальні відомості про зварювальні випрямлячі	137
3.1.1. Пристрої, елементи конструкції і класифікація	137
3.1.2. Схеми випрямлення	140
3.1.3. Порівняння схем випрямлення	150
3.1.4. Трифазна мостова схема з використанням тиристорів	151
3.1.5. Робота випрямляча на зварювальну дугу	153
3.2. Зварювальні випрямлячі, які керуються трансформатором	156
3.2.1. Випрямлячі зі ступінчастим регулюванням випрямленої напруги	156
3.2.2. Зварювальний випрямляч, який керується трансформатором зі складною магнітною комутацією	158
3.2.3. Зварювальні випрямлячі з рухомими обмотками	163
3.3. Зварювальні випрямлячі з дроселем насичення	166
3.3.1. Конструкція і принцип дії дроселя насичення	166
3.3.2. Зварювальний випрямляч із самопідмагнічуванням із жорсткою ВАХ	169
3.4. Однопостові тиристорні зварювальні випрямлячі	174
3.4.1. Фазне регулювання режиму в тиристорному випрямлячі	174
3.4.2. Формування зовнішніх характеристик в тиристорних випрямлячах	178
3.4.3. Конструкція і принцип дії тиристорних зварювальних випрямлячів	181
3.5. Інверторні зварювальні випрямлячі	200
3.5.1. Конструкція та принцип дії інверторних випрямлячів	200

3.5.2. Випрямляч із транзисторним інвертором.....	208
3.5.3. Конструкція і робота джерела живлення з тиристорним інвертором.....	211
3.6. Зварювальні багатопостові випрямлячі.....	218
3.6.1. Загальні відомості про багатопостові зварювальні системи.....	218
3.6.2. Конструкції багатопостових зварювальних випрямлячів.....	221
4. Зварювальні генератори, перетворювачі і агрегати.....	231
4.1. Призначення, класифікація і вимоги, які висуваються до генераторів.....	231
4.2. Колекторні зварювальні генератори.....	233
4.2.1. Генератори з паралельною намагнічувальною і послідовною розмагнічувальною обмотками збудження.....	233
4.2.2. Конструкція зварювальних генераторів, агрегатів і перетворювачів.....	238
4.2.3. Зварювальний генератор системи незалежного збудження з послідовною розмагнічувальною обмоткою. Конструкція і принцип дії.....	239
4.2.3.1. Конструкція і робота генераторів та перетворювачів.....	244
4.2.4. Зварювальний генератор системи незалежного збудження з послідовною підмагнічувальною обмоткою.....	248
4.2.5. Зварювальний генератор з несиметричною (різнонасиченою) магнітною системою.....	250
4.2.6. Універсальні зварювальні генератори.....	253
4.3. Вентильні зварювальні генератори.....	255
4.3.1. Призначення генераторів та принцип їх дії.....	255
4.3.2. Вентильний зварювальний генератор зі спадною зовнішньою характеристикою.....	257
4.4. Багатопостові зварювальні генератори.....	261
5. Спеціалізовані джерела живлення.....	269
5.1. Джерела живлення для імпульсно-дугового зварювання (ІДЗ) плавким електродом.....	269
5.1.1. Призначення та особливості ІДЗ плавким електродом.....	269
5.1.2. Вимоги до джерел для ІДЗ плавким електродом.....	270
5.1.3. Способи формування струму при ІДЗ плавким електродом.....	273
5.1.4. Джерела живлення для ІДЗ плавким електродом.....	277
5.2. Джерела живлення для зварювання неплавким електродом в інертних газах.....	288
5.2.1. Основні вимоги до джерел живлення.....	288
5.2.2. Пристрої для збудження, стабілізації дуги та придушення постійної складової струму.....	295
5.2.3. Джерела живлення постійного струму для аргоно-дугового зварювання неплавким та плавким електродами.....	311
5.2.4. Джерела живлення змінного струму для аргоно-дугового зварювання.....	321
5.3. Джерела живлення плазмової дуги.....	339
5.3.1. Основні процеси плазмово-дугової обробки металів і вимоги до джерел живлення.....	339
5.3.2. Джерела живлення для плазмового зварювання.....	343
5.3.3. Джерела живлення для плазмового різання.....	348
5.4. Джерела живлення для електрошлакового зварювання.....	360
5.4.1. Основні відомості про шлакову ванну.....	360

5.4.2. Стійкість електрошлакового процесу і вимоги, які висуваються до джерел живлення.....	362
5.4.3. Конструкції трансформаторів для електрошлакового зварювання.....	365
5.5. Джерела живлення зварювальних електронних гармат. Вимоги до систем електроживлення та принцип їх будови.....	368
5.6. Джерела живлення машин контактного зварювання.....	377
5.6.1. Особливості конструкції трансформаторів.....	377
5.6.2. Осердя трансформаторів.....	378
5.6.3. Обмотки трансформаторів.....	379
5.6.4. Схеми з'єднання первинних обмоток трансформаторів.....	381
6. Охорона праці, технічне обслуговування і правила експлуатації джерел живлення.....	392
6.1. Охорона праці при експлуатації джерел живлення.....	392
6.2. Технічне обслуговування джерел живлення.....	394
6.3. Головні правила експлуатації джерел живлення. Вибір, монтаж і пуск джерел.....	403
6.4. Налаштування та ремонт джерел живлення.....	405
6.5. Безпечна експлуатація джерел. Вимоги безпеки і ергономіки до конструкції джерел.....	407
ДОДАТКИ.....	409
1. Методика розрахунку геометричних розмірів трансформатора з рухомими обмотками.....	409
1.1. Методика розрахунку трансформатора для діапазону малих струмів.....	409
1.2. Приклад розрахунку трансформатора для діапазону великих струмів.....	414
1.3. Методика розрахунку трифазного трансформатора з рухомими обмотками випрямляча типу ВД.....	419
1.4. Приклад розрахунку трифазного трансформатора випрямляча типу ВД.....	423
2. Методика та приклад розрахунку основних конструктивних та електричних параметрів трифазного індукторного генератора.....	426
2.1. Короткі відомості про конструкції генераторів.....	426
2.2. Методика розрахунку однойменно-полюсного генератора.....	428
Література.....	445

ПРИЙНЯТІ ПОЗНАЧЕННЯ

T – трансформатор

e, E – миттєве та діюче значення електрорушійної сили

E_p, E_2, E_p, E_L – ЕРС первинної, вторинної, реактивної обмотки дроселя

f – частота струму

i, I – миттєве та діюче значення струму

i_1, i_2, I_1, I_2 – миттєве, діюче та амплітудне значення первинного та вторинного струму

I_n, U_n – номінальний струм та напруга

I_k, U_k – струм та напруга короткого замикання

U_{20} – напруга неробочого ходу

$I_{но}$ – струм намагнічувальної обмотки

U_3 – напруга запалювання дуги

IW – намагнічувальна сила

$J_{ст}, j_3$ – щільність струму стовпа дуги та електрода

K_μ – коефіцієнт магнітного зв'язку

σ – коефіцієнт розсіяння

L_d – довжина дуги

L – індуктивність

$R_d, R_{дж}, R_б$ – активний опір дуги, джерела живлення та баластового реостата

R_μ – магнітний опір

t – час

$t_0, t_{кз}, t_d$ – тривалість неробочого ходу, короткого замикання, горіння дуги

u_d, U_n – миттєве та середнє значення напруги дуги

$U_{дж}$ – напруга джерела

U_R, U_L, U_C – спад напруги на резисторі, індуктивності та ємності

U_1, U_2, U_{1m}, U_{2m} – діюче та амплітудне значення первинної та вторинної напруги

- $U_{зс}, U_{ЗН}$ – напруга завдання струму і напруги
 V_n, V_e – швидкість подачі дроту і плавлення електрода
 X_r, X_p, X_L, X_C – індуктивний опір трансформатора, реактивної обмотки, дроселя і ємності
 $Z_{джер}$ – повний опір джерела живлення
 E – градієнт потенціалу
 μ_v – магнітна проникненість повітря
 ω – кутова частота змінного струму
 C – ємність
 $\rho_d, \rho_{джер}$ – диференціальний опір дуги і джерела
 $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_p, \Phi_r$ – основні магнітні потоки обмоток первинної, вторинної, реактивної, трансформатора
 Φ_{1n}, Φ_{2n} – повний магнітний потік первинної і вторинної обмоток
 Φ_Σ – сумарний магнітний потік трансформатора
 Φ_0 – основний потік неробочого ходу трансформатора
 ТН, ТУ – тривалість навантаження, тривалість увімкнення
 БФК – блок фазового керування
 БЗН – блок завдання напруги
 БЗС – блок завдання струму
 БП – блок порівняння
 VD – діод
 VS – тиристор
 VT – транзистор
 u_1, u_2 – миттєві значення первинної та вторинної напруги
 R_H – опір навантаження
 θ – електричний кут
 U_a – напруга випрямляча
 U_d – випрямлена напруга
 U_{dm} – амплітуда випрямленої напруги
 E_2 – діюча фазна напруга вторинної обмотки трансформатора
 S_r – потужність трансформатора
 k – коефіцієнт трансформації

- I_d – струм навантаження
 α – кут відкриття тиристора
 γ – кут провідності тиристора
 $\Phi_{ок}$ – магнітний потік обмотки керування
 $I_{ок}$ – струм обмотки керування
 $W1$ – кількість витків первинної обмотки трансформатора
 $W2$ – кількість витків вторинної обмотки трансформатора
 $U_{1л}, U_{2л}$ – лінійні напруги первинної та вторинної обмоток трансформатора
 $U_{1ф}, U_{2ф}$ – фазні напруги первинної та вторинної обмоток трансформатора
 $I_{2лк}$ – лінійний струм вторинної обмотки в режимі короткого замикання трансформатора
33Н,33С – зворотний зв'язок за напругою та струмом
 $U_{пн}$ – пілкоподібна напруга
 U_k – напруга керування
 Φ_n, Φ_p, Φ_n – потоки намагнічувальної, розмагнічувальної та підмагнічувальної обмоток генератора
 W_n, W_p, W_n – кількість витків намагнічувальної, розмагнічувальної та підмагнічувальної обмоток генератора

Передмова

Зварювання металів є одним з основних технологічних процесів у промисловості. Дугове зварювання плавленням посідає чільне місце у зварювальному виробництві. Підвищення якості і продуктивності виготовлення зварних конструкцій досягається за рахунок удосконалення технологічних процесів, а також підвищення рівня механізації і автоматизації зварювальних робіт. Важлива роль у цьому належить розробці й освоєнню у виробництві джерел живлення, які відповідають сучасним вимогам.

Нинішній прогрес у галузі виробництва напівпровідникової техніки, мікроелектроніки, електротехнічних матеріалів дозволяє розробити широку номенклатуру джерел живлення, які відзначаються високими зварювальними властивостями, підвищеною надійністю і зменшеними масо-габаритними показниками.

Електричні схеми більшості джерел для зварювання досить складні. Тому для вивчення конструкції та принципу їх дії використані спрощені принципові електричні та функціональні схеми, з допомогою яких можна більш доступно пояснити призначення, принцип дії конструкції джерел і функції окремих блоків електричних схем. Для кращого розуміння фізичних явищ у джерелах і принципу дії розглядається їх робота в різних режимах. Коротко наведено призначення і суть окремих видів зварювання.

Дані стосовно різних джерел живлення наведені в різній літературі, що ускладнює використання її при вивченні і виборі джерела. У цьому навчальному посібникові наведено відомості про технічні параметри джерел зварювального струму, особливості їх конструкції та електричних схем, що дозволяє правильно обрати тип джерела з метою його грамотної експлуатації.

Матеріал посібника призначений для студентів зварювальних спеціальностей, які навчаються за програмою підготовки бакалаврів-зварників, а також інженерів за спеціальністю «Технологія та устаткування зварювання», «Електрозварювальні установки», «Технологія та устаткування, відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій». Крім того, він може представляти значний інтерес для інженерно-технічних працівників та інших фахівців, задіяних у галузі електрозварювального виробництва.

1. ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА І ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1. ВИДИ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ, ЇХ ПРИЗНАЧЕННЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ

Устаткування для дугового зварювання плавленням складається із таких основних видів обладнання:

- механічного зварювального устаткування (обертачі, маніпулятори, кантувачі, роликові стенди тощо);
- технологічного обладнання;
- джерел живлення;
- систем керування.

Основним, а деколи і єдиним видом зварювального устаткування є джерело живлення, яке залежно від виду електричної енергії і способу її перетворювання може бути віднесене до одного з таких типів:

– трансформатор – джерело змінного струму, яке перетворює напругу мережі у знижену змінну напругу, що необхідна для зварювання;

– генератор – джерело постійного струму, що перетворює механічну енергію обертання якоря в енергію постійного струму, що використовують для зварювання;

– перетворювач – джерело постійного струму, що складається з генератора в комбінації з електродвигуном змінного струму і яке перетворює енергію напруги мережі живлення в енергію постійного струму, необхідну для зварювання;

– агрегат – джерело постійного струму, що складається з генератора і двигуна внутрішнього згоряння, який перетворює енергію спалювання хімічного палива в енергію постійного струму, що застосовують для зварювання;

– випрямляч – джерело постійного струму, що перетворює енергію напруги мережі у випрямлений постійний струм для зварювання.

Усі джерела живлення класифікують за галузями застосування як загальнопромислові (група О) та спеціалізовані (група С).

До групи О входять джерела для ручного дугового зварювання, а також механізованого зварювання під флюсом та вуглекислому газі, що мають досить просту конструкцію і електричну схему. До спеціа-

лізованих відносять джерела для зварювання кольорових і легких металів та їхніх сплавів, тонколистових конструкцій відповідальних виробів імпульсними і стисненими дугами, що задовольняють не тільки вимогам технології, але і високого рівня автоматизації зварювального процесу. Це досягається за рахунок застосування зворотних зв'язків за струмом і напругою, застосування складних електричних схем керування, додаткових спеціальних пристроїв і т. д. Більшість джерел розраховані на живлення одного зварювального поста. Усі вони називаються однопостовими, на відміну від багатопостових, які призначені для одночасного живлення декількох постів.

1.2. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ, ЇХ СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Дуговий розряд, який використовують як джерело тепла, вперше одержав і дослідив В. В. Петров у 1802 р. Дуговий розряд відрізняється від відомих видів електричних розрядів (тліючого, іскрового, коронного і т. п.) порівняно високим струмом, низькою напругою, високою температурою газу в розрядженій ділянці. Він (розряд) отримав практичне застосування з появою потужних джерел живлення зварювальної дуги.

У 1881 році Н. Н. Бенардос уперше застосував дуговий розряд для зварювання металів, використовуючи як джерело потужну батарею свинцево-кислотних акумуляторів. Значні вдосконалення у зварювальний процес привніс інженер Н. Г. Слав'янов, який у 1888 році розробив спосіб дугового зварювання плавким електродом. Джерелом була динамомашина, а для поліпшення стабільності горіння зварювальної дуги застосовувався баластовий реостат, увімкнений послідовно в коло навантаження. Вперше зварювальний генератор, який згодом отримав широке застосування у промисловості, був удосконалений у 1905 р. У 1924 році під керівництвом В. П. Нікітіна розробили зварювальний генератор системи із розщепленими полюсами та трансформатор із вбудованою дросельною котушкою на загальному магнітному осерді. Широкому використанню зварювання у промисловості сприяло збільшення виробництва простих джерел живлення, в основному трансформаторів, частка яких у загальному парку зварювального устаткування досягла 80 %. Подальший розвиток механізованих засобів зварювання сприяв створенню джерел для зварювання під флюсом у вигляді потужних трансформаторів на струми 1000 і 2000 А з дистанційним керуванням. Для механізованого

зварювання в середовищі CO_2 були розроблені джерела з жорсткими характеристиками, які значно збільшували продуктивність зварювального процесу. Розвиток напівпровідникової техніки дозволив перейти до створення зварювальних випрямлячів і спеціалізованих джерел живлення. Потужним імпульсом удосконалення їхніх конструкцій стала поява силових тиристорів, на основі яких розроблені універсальні випрямлячі, трансформатори для різних способів зварювання зі стабілізацією вихідних параметрів. У сучасних зварювальних джерелах використовуються складні електричні схеми, пристрої автоматики і програмного керування.

Подальший розвиток зварювального виробництва передбачає якісне удосконалення джерел живлення за рахунок покращення їх технологічних властивостей, зниження масо-габаритних показників, витрат на виготовлення та експлуатацію. Це досягається шляхом використання більш досконалих матеріалів осердя магнітопроводу, потужних циклостійких вентилів, стійких кремнієво-органічних ізоляцій, тощо. Проводяться роботи по створенню джерел живлення шляхом удосконалення конструкцій традиційних джерел, триває пошук принципово нових рішень. Перспективи розвитку зварювальних джерел визначаються такими факторами:

- розробкою нових технологічних процесів зварювання або вдосконаленням зварювальних технологій, пов'язаних з новими вимогами до зварювального устаткування, в тому числі і до джерел живлення;

- впровадженням у виробництво програмованих технологічних процесів зварювання з широким використанням засобів механізації, автоматизації і робототехнічних комплексів;

- можливості забезпечення точного відтворення оптимальних режимів зварювання;

- розвитком знань у сфері фізичної суті зварювальних процесів і джерел живлення;

- проблемами ресурсо-енергозабезпечення.

При розробці і вдосконаленні нових джерел, що виготовляються серійно, основна увага має приділятися їхнім зварювальним властивостям, оцінка яких здійснюється за спеціальними методиками. Вимоги до зварювальних властивостей безперервно підвищуються, що є наслідком зростання вимог до точності вибору режимів зварювання, а також автоматизації і роботизації зварювального виробництва. Незважаючи на дедалі більшу технічну складність джерел живлення, тенденція їхнього розвитку не є визначальною, оскільки складне схемне рішення не завжди сприяє покращенню їх зварювальних властивостей. Тому прості дешеві джерела також отримують

широке застосування у промисловості. Насамперед, необхідно відзначити застосування джерел змінного струму, які мають високі ККД, вирізняються простотою та надійністю в експлуатації, низькою вартістю виготовлення. Для підвищення стійкості горіння дуги змінного струму застосовують відповідні пристрої у вигляді імпульсних стабілізаторів горіння дуги (ІСГД). Завдяки їх застосуванню також вдається суттєво знизити напругу неробочого ходу силового трансформатора, що дозволяє отримати економію активних матеріалів і електроенергії за рахунок підвищення $\cos\phi$ і ККД. Крім того, за умови необхідності можна застосувати «гарячий» (підвищення струму на початку зварювання) або «холодний» старт (зниження струму на початку процесу при зварюванні неплавким електродом тонкого металу), модуляцію зварювального струму, усунення постійної складової струму при зварюванні неплавким електродом. Подальший розвиток отримали джерела живлення змінного струму із прямокутною формою кривої струму, які забезпечують високу швидкість переходу зварювального струму через нуль, що, у свою чергу, значно знижує деіонізацію плазми стовпа дуги, підвищує стабільність її повторного запалювання.

Широке застосування отримують джерела з індуктивними накопичувачами енергії, які дозволяють здійснювати зварювання змінним струмом, форма кривої якого близька до прямокутної. При цьому амплітуди і тривалість імпульсів як прямої, так і зворотної полярності можуть регулюватись незалежно. Завдяки вказаним властивостям такі джерела застосовуються при аргоно-дуговому зварюванні алюмінію та його сплавів, високолегованих сталей, титану, плазмового зварювання змінним струмом. Наявність великих накопичувачів енергії робить дугу безвідривною та еластичною, при цьому відпадає необхідність у використанні спеціальних стабілізаторів горіння дуги. Застосування джерел із поздовжньою ємнісною компенсацією також підвищує еластичність зварювальної дуги, знижує напругу неробочого ходу і масо-габаритні показники трансформатора. Значного удосконалення зазнають джерела живлення для імпульсно-дугового зварювання, в яких поряд із плавним регулюванням параметрів імпульсу передбачене однокнопкове (синергетичне) керування, а також цифрова індикація частоти та інших параметрів режиму зварювання.

Останнім часом отримав застосування новий клас джерел живлення – із збільшенням напруги і частоти, які забезпечують легке запалювання, еластичність і стійкість горіння дуги, мають малі габарити та масу. Вимоги до зварювальних джерел живлення, що висувуються на базі сучасних технологій, автоматизованого устаткування, робототехнічних комплексів найбільш повно можуть бути задоволені застосуванням інверторних випрямлячів як на тири-

сторній, так і на транзисторній елементних базах. До переваг джерел такого типу можна віднести можливість формування зовнішніх характеристик різної форми та динамічних властивостей, необхідних для здійснення зварювальних процесів (наприклад, для зварювання методами ТІГ, МІГ і МАГ), малі габарити і масу, високі $\cos\phi$ і ККД. Крім інверторних джерел, отримують поширення джерела живлення із транзисторними ключами у колі постійного струму. Вони так само, як інверторні джерела, вирізняються малою інерційністю і з використанням комп'ютерних систем дозволяють здійснювати керування такими швидкодійними процесами, як перенесення металу при зварюванні у вуглекислому газі, і виключити розбризкування електродного металу. Вартість джерел інверторного типу значно вища від вартості джерел звичайного типу, тому прості і надійні традиційні джерела з покращеними зварювальними властивостями можуть успішно застосовуватись поряд з інверторними в окремих видах зварювання.

Централізоване живлення на основі багатопостових систем дозволяє значно скоротити кількість однопостових джерел живлення, не зменшуючи при цьому числа зварювальних постів. Перехід до багатопостової системи живлення є доцільним у зв'язку із потребою загальної економії енергії, зменшення витрат на амортизацію, обслуговування, ремонт, а також економії виробничих площ.

1.3. ВЛАСТИВОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ І ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

1.3.1. Види зварювальних дуг

Зварювальна дуга є потужним тривалим електричним розрядом в іонізованій суміші газів, парів металів і речовин, які входять до складу електродів, флюсів, електродних покриттів та інших захисних засобів. Існують дуги прямої та непрямої дії. При зварюванні дугою прямої дії метал нагрівається переважно за рахунок виділення тепла в активних плямах електродів, що мають високу потужність нагріву. Дуга непрямої дії має значно меншу потужність нагріву поверхні в зоні електродної плями, оскільки вона створюється переважно за рахунок теплопередачі від газів стовпа дуги та її випромінювання. Дуги можуть бути усталеними і неусталеними. Перші характеризуються тим, що тривалість їх існування при заданих умовах значно більша за час перебігу перехідних процесів. У неусталених дугах їх основні параметри систематично змінюються.

За способом захисту зварювальної ванни від навколишнього середовища зварювальні дуги поділяються на відкриті і закриті (заглиблені). У відкритій дузі відсутні перепони, що перешкоджають циркуляції газу і випромінюванню. У даному випадку зона випромінювання може бути захищена струменем захисного газу або шаром шлаку. У закритій дузі процес її горіння відбувається під флюсом.

Зварювальна дуга може бути вільною і стисненою. За умови відсутності обмежень її розвитку вона вважається вільною. Для стиснення дуги її необхідно розташовувати у вузьких каналах та обдувати струменем газу.

Розрізняють дуги, що горять у парах металів і в газах. Відомо, що більшість плавких електродів інтенсивно випаровуються і їхня пара, рухаючись у вигляді струменя, відтискає газу із зони розряду дуги. Дуга при цьому горить у парах металу. Якщо використовуються слабковипаровуючі електроди (вольфрам, графіт), склад газу розрядної зони визначається в основному атмосферою, яку утворюють захисні інертні або окислювальні газу.

Реальні зварювальні дуги можна характеризувати за ознаками, наведеними в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

За дією на електрод	Дуги прямої дії	Дуги непрямої дії
За типом матеріалу електрода	Дуги з плавким електродом	Дуги з неплавким електродом
За складом навколишнього середовища	Дуги в парах металів	Дуги в газах
За обмеженням зони існування дуги	Вільні дуги	Стиснуті дуги
За стабільністю горіння	Усталені дуги	Неусталені дуги
За способом захисту зони зварювання	Відкриті дуги	Закриті дуги
За родом струму	Дуги постійного струму	Дуги змінного струму

1.3.2. Електрична характеристика зварювальної дуги

Дуговий проміжок складається із трьох зон: анодної, катодної і стовпа дуги (рис. 1.1). У кожній з них відбуваються процеси, пов'язані з проходженням струму через іонізований газ. Електропровідність міжелектродного проміжку створюється за рахунок електрично заряджених частинок – електронів та іонів. Під дією напруги джерела електрони переміщуються до анода, а іони до катода.

Стовп дуги є часткою дугового розряду.

Заряджені частинки надходять у стовп з катодної й анодної зон, а також виникають у ньому за рахунок термічної іонізації, тобто іонізації внаслідок зіткнення частинок. Стовп дуги квазінейтральний, оскільки сумарний заряд позитивних і негативних частинок у ньому однаковий. Температура газу в стовпі дуги сягає 6000–8000 °С. Довжина його $\ell_{\text{СТ}}$ становить приблизно 0,1...4 см, спад напруги 40 В, відповідно градієнт потенціалу у стовпі $E_{\text{СТ}} = U_{\text{СТ}}/\ell_{\text{СТ}} = 10...50 \text{ В/см}$

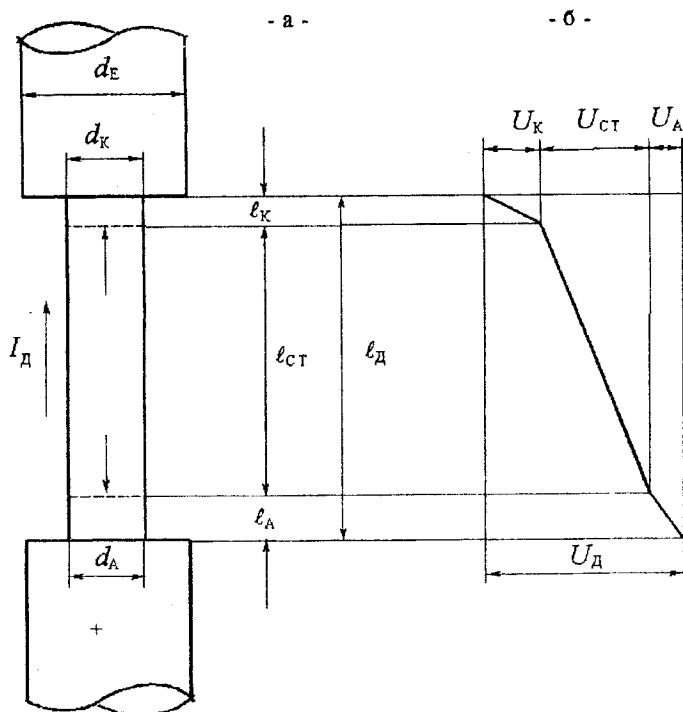


Рис. 1.1. Каналова модель зварювальної дуги (а) і графік розподілу потенціалів по довжині дуги (б)

Катодна зона. Катод емітує у стовп дуги електрони, які підтримують іонізацію газу в розрядному проміжку. Емісія електронів на катоді може відбуватися внаслідок нагріву його поверхні (термоелектронна емісія) і створення біля його поверхні електричного поля високої напруги (електростатична емісія). Окрім того, електрони та іони утворюються в самій катодній зоні завдяки термічній іонізації нейтрального газу. Довжина катодної зони l_K дорівнює приблизно вільному пробігу іона і становить $10^{-4} \dots 10^{-5}$ см. Оскільки катодний спад напруги U_K реалізується на дуже малій довжині і становить $10 \dots 25$ В, то біля поверхні катода утворюється великий градієнт потенціалу $E_K = U_K / l_K \approx 2 \dots 10^6$ В/см. Наслідком виникнення такого градієнту є висока концентрація позитивних іонів біля поверхні катода, які надходять зі стовпа дуги, в результаті чого утворюється об'ємний позитивний заряд.

Анодна зона. Основними зарядженими частинками ділянки є електрони, які переносять струм від стовпа дуги до анода, при цьому біля його поверхні утворюється негативний об'ємний заряд. У процесі електронного бомбардування анод отримує значну кількість енергії й інтенсивно розігрівається. Порівняно з катодною, анодна зона має більшу довжину $l_A = 10^{-3} \dots 10^{-4}$ см і менший градієнт напруги E_A . При анодному спаді напруги $U_A = 2 \dots 5$ В, $E_A = U_A / l_A \approx 10^4$ В/см.

Оскільки довжина стовпа значно більша за протяжність приелектродних ділянок, то l_D дуги приймають приблизно рівною довжині стовпа.

$$l_D = l_K + l_A + l_{CT} \approx l_{CT}$$

1.3.3. Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги

Напруга на дузі, яка дорівнює сумі падінь напруги у стовпі, а також в приелектродних ділянках, є функцією струму і має вигляд, показаний на рис.1.1.

$$U_D = U_K + U_A + U_{CT} = U_K + U_A + E_{CT} l_D = f(I_D). \quad (1.1)$$

Криві, які визначаються залежностями $U_D = f(I_D)$ у статичному режимі, називаються статичними вольт-амперними характеристиками зварювальної дуги.

Залежності всіх трьох складових від струму обумовлюють властивості дуги як нелінійного елемента електричного кола і визначають вигляд її статичної характеристики. Характеристика зварювальної дуги встановлюється експериментально при плавній зміні струму

навантаження зі збереженням довжини дуги, діаметра і матеріалу електрода, складу газу міжелектродного проміжку тощо.

Дуга має криволінійну характеристику, і її слід розглядати як нелінійний елемент електричного кола. Форма статичної характеристики показана на рис.1.2 і змінюється по мірі збільшення струму, переходячи зі спадної (діл. I) в жорстку (діл. II), а потім в наростальну (діл. III). Нахил характеристики прийнято визначати величиною диференціального опору дуги $\rho_d = dU_d / dI_d$, тому на I ділянці $\rho_d < 0$, на II – $\rho_d = 0$ і на III – $\rho_d > 0$.

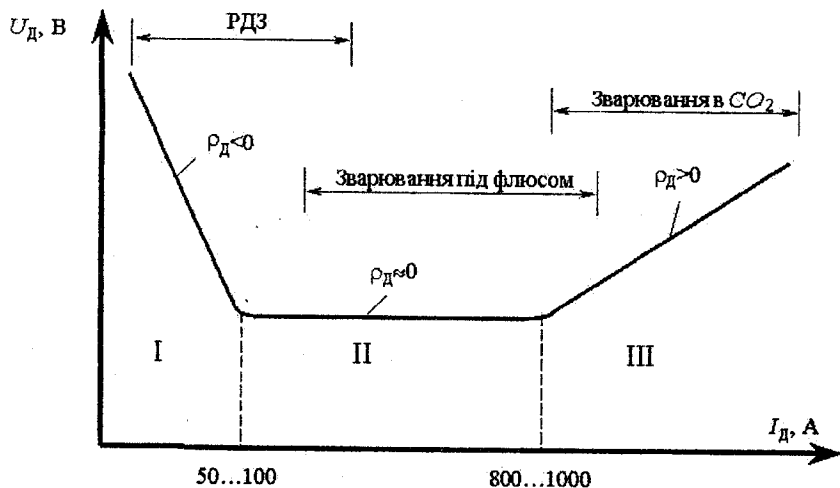


Рис. 1.2. Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги

При незмінних фізичних умовах горіння зварювальної дуги $U_k + U_A$ є величиною постійною, незначною за величиною і U_d витрачається в основному на подолання опору стовпа дуги. Тому рівняння (1.1) можна виразити таким чином:

$$U_d = a + U_{CT}, \quad (1.2)$$

де a – сума напруг катодної і анодної зон.

Із виразу (1.2) видно, що напруга на дузі визначається в основному залежністю U_{CT} від струму навантаження, тобто

$$U_{CT} = f(I_d)$$

Виведемо рівняння, які пов'язують напругу стовпа дуги з іншими параметрами дуги.

$$E_{CT} = j_{CT} l \gamma_{CT} = I_d l S_{CT} \gamma_{CT},$$

де E_{CT} – градієнт потенціалу в стовпі дуги, В/см;
 j_{CT} , γ_{CT} – відповідно, густина струму і питомо провідність стовпа дуги, А/мм², 1/Ом·мм;

S_{CT} – площа поперечного перерізу стовпа дуги, мм².

Тоді рівняння (1.2) можна подати у такій формі:

$$U_D = a + E_{CT} \cdot \ell_{CT} = a + I_D \cdot \ell_{CT} / S_{CT} \cdot \gamma_{CT} = a + I_D \cdot \ell_D / S_{CT} \cdot \gamma_{CT} \quad (1.3)$$

З рівняння (1.3) випливає, що в дугах невеликої потужності зі збільшенням навантаження I_D напруга на дузі U_D знижується за рахунок збільшення площі перерізу катодної плями і відповідного зростання поперечного перерізу S_{CT} стовпа, що відповідає ділянці I. При цьому густина струму j_{CT} зменшується, провідність γ_{CT} зростає, величини катодного і анодного падінь напруги не змінюються. Такий вигляд характеристики знаходить обмежене застосування при ручному дуговому зварюванні неплавким електродом через її малу стійкість.

На ділянці II створюється жорстка характеристика дуги. Це пов'язане з тим, що із подальшим зростанням I_D пропорційно збільшується і S_{CT} , отже, густина струму j_{CT} залишається приблизно постійною, а питомо провідність γ_{CT} змінюється мало. Величини анодного і катодного падінь напруги залишаються незмінними. Такий вигляд характеристики знаходить широке застосування при зварюванні покритими електродами і механізованому зварюванні під флюсом апаратами із залежною швидкістю подачі електродного дроту.

Ділянка III починається з того моменту, коли катодна пляма зайняла всю площу торця електрода і подальше збільшення S_{CT} не відбувається. У цьому випадку густина струму зростає пропорційно навантаженню, провідність стовпа зменшується, величина U_{CT} , а отже, і U_D збільшується.

Наростальна характеристика дуги спостерігається при механізованому зварюванні в захисних газах.

Оскільки зміна довжини дуги ℓ_D впливає на величину U_{CT} і, отже, на напругу дуги U_D (1.3), то залежно від значення ℓ_D характеристика може зсуватися вгору або вниз (рис. 1.3).

$$U_D = U_K + U_A + E_{CT} \cdot \ell_D \quad (1.4)$$

При зменшенні довжини дуги її вольт-амперна характеристика (ВАХ) зсувається вниз. Діаметр електрода впливає на положення наростальної ділянки ВАХ. Чим більший діаметр, тим скоріше при більшому струмі відбудеться перехід до ділянки III.

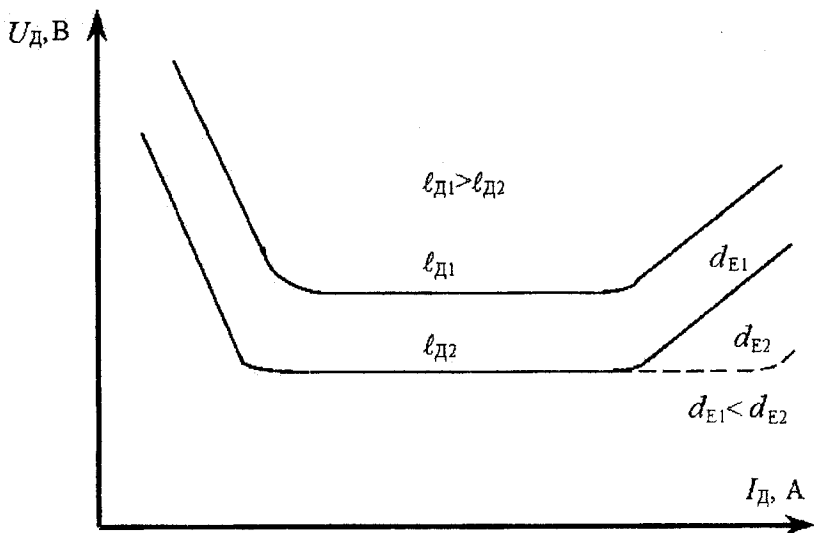


Рис. 1.3. Вплив діаметра електрода від довжини дуги на форму статичної характеристики дуги

1.3.4. Вольт-амперні характеристики джерел живлення

Залежність напруги на затискачах джерела живлення від струму навантаження $U_{джр} = f(I_d)$ називають зовнішньою вольт-амперною характеристикою джерела. Вимоги електричної зварювальної дуги виражені у зовнішніх характеристиках відповідних джерел живлення. Кожна характеристика джерела відповідає певному положенню його регулюючого пристрою. При зміні параметрів регулюючого пристрою можна отримати сімейство подібних зовнішніх характеристик.

Вольт-амперні характеристики джерел живлення можуть мати такі вигляди (рис. 1.4):

- крутоспадні – 4,5 (напруга зменшується зі зростанням зварювального струму);
- пологоспадні – 3 (зменшення напруги зі зростанням струму відбувається плавно);
- жорсткі – 2 (зі збільшенням зварювального струму напруга не змінюється);
- наростальні – 1 (зі збільшенням струму напруга зростає).

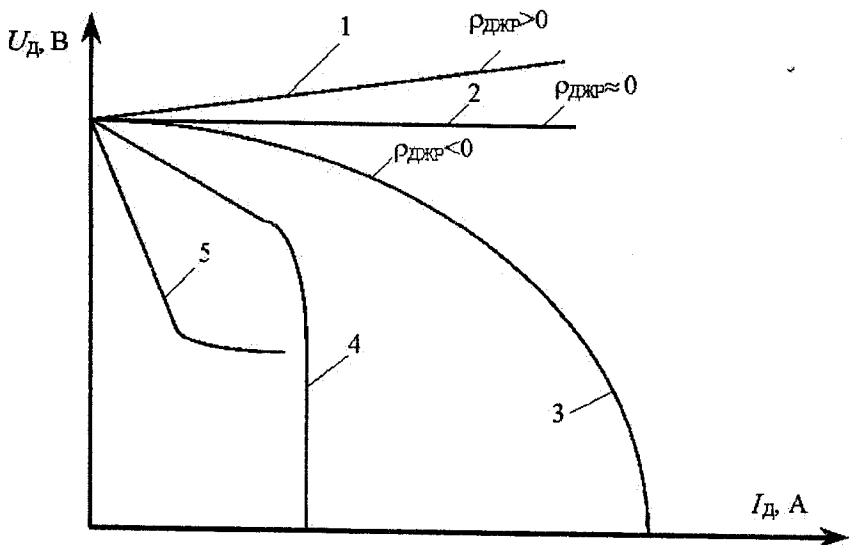


Рис. 1.4. Зовнішні характеристики джерел живлення

Більшість зварювальних джерел мають внутрішній опір $Z_{джр}$, і зовнішня характеристика їх може бути подана рівнянням

$$U_{джр} = U_{20} - I_d \cdot Z_{джр},$$

де U_{20} – напруга неробочого ходу.

Умовно прийнято вважати: якщо $Z_{джр} > 0,1$ Ом, то ВАХ джерела крутоспадна.

Нахил характеристики визначається величиною диференційного опору $\rho_{джр}$, який являє собою похідну напруги джерела за струмом $dU_{джр}/dI_d$ у певній точці його характеристики, тобто відношення межі приросту напруги до відповідного приросту струму. При спадній характеристиці $\rho_{джр} < 0$, жорсткій – $\rho_{джр} = 0$, при наростальній – $\rho_{джр} > 0$.

Вибір джерела живлення за типом зовнішньої характеристики проводиться не лише з умов стійкості роботи енергетичної системи «джерело–дуга», але і від способу зварювання і типу пристрою, який застосовується для здійснення подачі електродного дроту в зону горіння дуги.

1.4. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ. СУТЬ І ОЦІНКА ЗВАРЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

У процесі зварювання джерело має забезпечувати нормальне запалювання дуги, підтримувати її стійке горіння, здійснювати регулювання зварювальних параметрів, забезпечувати сприятливий характер перенесення розплавленого металу у зварювальну ванну. При виборі джерела важливо знати, як добре чи погано воно виконує ці функції, тобто які його зварювальні властивості, бо вони значною мірою визначають якість зварного з'єднання. Крім цього, на якість формування шва впливають склад зварювальних матеріалів, зовнішні умови зварювання, а також кваліфікація зварювальника.

Надійність запалювання дуги є однією з основних зварювальних властивостей джерела, оскільки вона впливає на якість початкової ділянки шва, а при зварюванні короткими швами – і на продуктивність.

Стійкість і стабільність зварювання безпосередньо впливає на якість формування шва, яка залежить від стійкої роботи енергетичної системи «джерело живлення – зварювальна дуга», тобто властивості джерела підтримувати безперервне горіння дуги при збу-рювальних діях.

Ефективність регулювання параметрів зварювальних режимів також характеризує джерело, тому що від встановлених величин струму і напруги залежать продуктивність і якість зварювання.

Характер перенесення металу в дузі визначається параметрами режиму, а також величиною і швидкістю зростання струму короткого замикання при зварюванні з періодичними короткими замиканнями у зварювальному колі. Для цього процесу потрібні джерела, при роботі яких має відбуватися послідовна зміна режимів неробочого ходу, короткого замикання і навантаження за соті, і навіть тисячні долі секунди. При такій швидкості перебіг його процесів складно регулювати спеціальними схемами керування. Тому джерело живлення повинне мати високі динамічні властивості, забезпечувати досить велику швидкість збільшення напруги на дуговому проміжку при розмиканні зварювального кола і певну швидкість зростання струму при короткому замиканні.

Якість формування шва залежить від джерела побічно, і пов'язана зі стійкістю та стабільністю процесу зварювання. У випадку нестійкого процесу за рахунок часткових обривів дуги шов утворюється нерівний.

Якщо процес стійкий але нестабільний за параметрами режиму зварювання, то спостерігається непостійність геометричних розмірів шва.

Оцінку зварювальних властивостей джерела можна виконувати безпосередніми або непрямими способами. Безпосередня оцінка виконується при зварюванні або за його результатами. Наприклад, до такої оцінки належать визначення характеру перенесення металу в дузі та величина коефіцієнту втрат на розбризкування. Непряму оцінку можна одержати шляхом імітації явищ при зварюванні з допомогою електротехнічних пристроїв, які замінюють дугу. До таких пристроїв належать електронні комутатори, що імітують перехідні процеси в дузі і за допомогою яких можна визначити параметри режимів та динамічні характеристики джерела.

Існують об'єктивні і суб'єктивні методи оцінки. При об'єктивному методі визначається числова оцінка властивостей, а при суб'єктивному – оцінка в балах, яка виставляється зварювальником високої кваліфікації за результатами зварювання. Наприклад, до об'єктивного методу оцінки стійкості процесу при коливаннях довжини дуги можна віднести визначення величини її довжини розриву.

При суб'єктивному методі оцінки джерел для ручного дугового зварювання зварювальник виконує наплавлення пластини з малоуглецевої сталі у нижньому і вертикальному положеннях на декількох режимах електродами з основним і рутіловим покриттям. За результатами наплавлення він виставляє оцінку в балах за кожною з досліджуваних зварювальних властивостей.

1.4.1. Надійність запалювання зварювальної дуги

Надійність запалювання зварювальної дуги залежить від її початкового утворення, під яким розуміють процес збудження дуги на початку зварювання. Повторне запалювання дуги відрізняється від початкового тим, що відбувається у більш сприятливих умовах при уже розігрітих електродах, хоча і виконується тими ж способами.

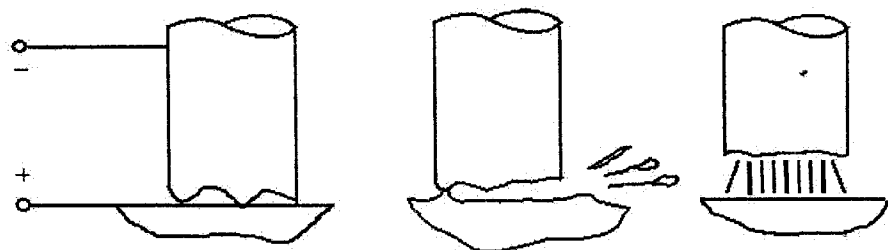
При дуговому зварюванні практичне застосування отримали два способи початкового запалювання дуги:

- високовольтним іскровим розрядом;
- розривом електричного кола при короткому замиканні електрода і зварювального матеріалу.

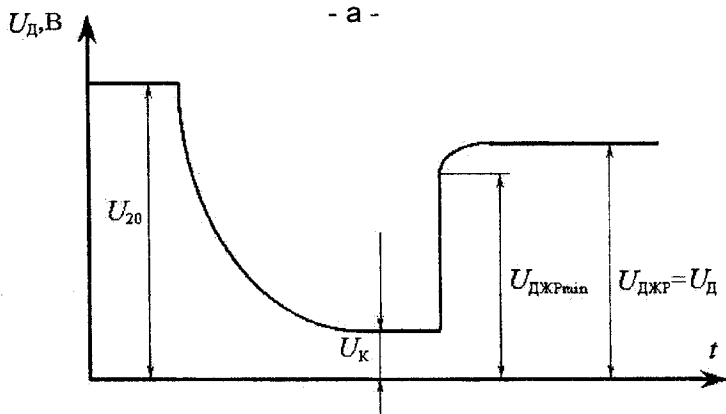
Початкове запалювання дуги високовольтним іскровим розрядом здійснюється додатковим малопотужним джерелом підвищеної частоти, яке створює можливість пробити міжелектродний проміжок для подальшого проходження струму від основного зварювального джерела. Такий спосіб запалювання отримує застосування переважно у разі спеціальних методів зварювання неплавким електродом і плазмового різання. Основним же способом запалювання дуги при зварюванні плавленням є запалювання розривом кола короткого замикання на виробі. Осцилограма зміни напруги і струму при такому способі подана на рис.1.5.

При короткому замиканні струм різко збільшується до пікового значення $I_{гк}$, досягаючи сотень ампер, а потім трохи зменшується до встановленого значення $I_{к}$. Напруга джерела при цьому спадає до незначної величини $U_{к}$. Оскільки площа мікроконтактів між електродом і виробом дуже мала, то густина струму в них настільки велика, що вони миттєво розплавляються і навіть випаровуються. Міжелектродний простір заповнюється частково іонізованими парами електродного металу, у результаті чого з'являються заряджені частинки – носії струму у вигляді електронів та іонів. Після відриву електрода настає стадія розриву дугового розряду, причому напруга джерела зростає до величини $U_{ДЖРmin}$, а потім досягає встановленого значення $U_{ДЖР}$. Величина струму при цьому різко зменшується і після завершення перехідного процесу досягає значення $I_{д}$. На початку стадії дугового розряду струм утворюється за рахунок руху електронів та іонів, які з'являються в результаті короткого замикання. При подальшому розвитку процесу утворюються нові заряджені частинки, і розвивається самостійний дуговий розряд.

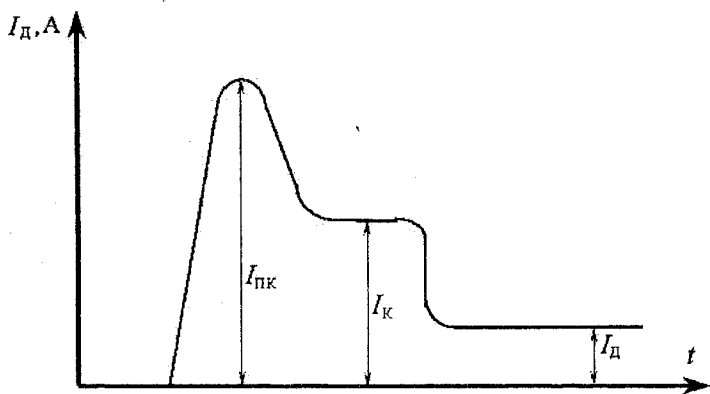
Оцінку надійності запалювання дуги можна проводити на стадіях короткого замикання і розвитку дугового розряду. У першому випадку для забезпечення надійності необхідно створити енергетичний розрив кола короткого замикання. При малій густині струму в електроді рідкі перемички не вибухають і ніби застигають, тобто відбувається примерзання електрода. Це явище можна усунути шляхом різкого відсмикування електрода або збільшення струму. Значне перевищення сталого значення струму короткого замикання над робочим струмом $I_{д}$ у джерелах живлення зварювальної дуги повинно забезпечувати її нормальне запалювання. З метою підвищення надійності можна збільшувати струм короткого замикання за рахунок короткочасного підвищення напруги джерела на початку зварювання. Такий метод під назвою «гарячий пуск» отримує дедалі більше



- а -



- б -



- в -

Рис. 1.5. Запалювання дуги розривом кола короткого замикання (а), осцилограми напруги (б) і струму (в)

застосування у джерелах. На стадії розвитку дугового процесу важливо, щоб напруга джерела $U_{\text{джер}}$, яка відновлюється, була достатня для живлення дуги з напругою $U_{\text{д}}$.

Якщо мінімальна напруга $U_{\text{джер, min}}$ відразу після розриву кола короткого замикання виявиться вищою за суму катодної і анодної напруг, то дуга зможе збудитися. У таких малоінерційних зварювальних джерелах, як випрямлячі і трансформатори, порівняно з генераторами після короткого замикання напруга відновлюється практично миттєво, що свідчить про високу надійність запалювання. Якщо запалювання виконується з відсмикуванням електрода, то надійність залежить від висоти відсмикування, оскільки при значному віддаленні дуга може перерватись. Тому для підвищення надійності запалювання треба обмежити підняття електрода і збільшити напругу неробочого ходу.

1.4.2. Стійкість енергетичної системи «джерело живлення – зварювальна дуга»

Енергетична система «джерело живлення – зварювальна дуга» буде працювати стійко, якщо джерело постачає достатню кількість енергії для процесу зварювання і покриття втрат у системі. Збурення, що з'являються при горінні дуги, порушують стійкість системи і викликають перехідні процеси, характер і швидкість перебігу яких пов'язані з енергією, накопиченою в магнітних і електричних полях системи, а також енергією, яка переходить у тепло. Якщо після припинення дії збурення система повертається в початковий рівноважний стан, то рівновага вважається стійкою, якщо ні, то нестійкою. При поверненні системи в рівноважний стан можуть спостерігатися відхилення величин, які характеризують режим зварювання (струму, напруги), від їх значення до початку дії збурення. Якщо при наявності цих відхилень якість зварного шва залишається в допустимих межах, то властивості енергетичної системи вважаються задовільними. Стійкість системи залежить як від технологічних, так і електричних характеристик процесу.

Розглянемо електричні процеси в системі у випадку малих збурень за довжиною дуги при зварюванні неплавким електродом від джерела живлення постійного струму з індуктивністю L (рис. 1.6).

У цьому випадку нехтують динамічними властивостями джерела і дуги, що дозволяє при аналізі електричних процесів використовувати тільки статичні вольт-амперні характеристики дуги і джерела. Система «джерело живлення – зварювальна дуга» рівноважна у точках А і В перетину статичних характеристик (рис.1.7).

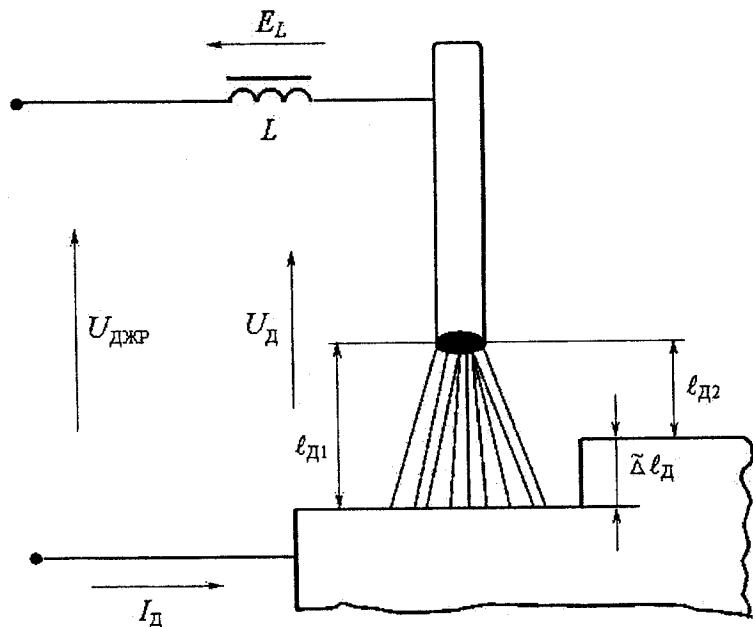


Рис. 1.6. До аналізу стійкості системи «джерело живлення – зварювальна дуга»

У цих точках спостерігається рівність напруг і струму дуги та джерела, а відповідно рівність енергії, яку виділяє джерело і яку споживає дуга. Визначимо, чи стійка робота системи біля точки В. При різкому скороченні дуги різко знизиться напруга дуги відповідно до рівняння (1.1)

$$\tilde{\Delta} U_d = E_{ст} \cdot \tilde{\Delta} l_d$$

Характеристика дуги при цьому зсунеться вниз на $\tilde{\Delta} U_d$ в положення

$$U_{d2} = f(I_d)$$

У цей момент стан джерела відображується точкою B , а стан дуги – точкою B_1 , тобто система нерівноважна. Для досягнення рівноваги необхідна зміна параметрів джерела за струмом і напругою від точки B до B_2 , а стану дуги – від точки B_1 до B_2 (показано пунктирними стрілками). При цьому величина струму зміниться і буде рівною:

$$I_D = I_{ДВ} + \Delta I_D$$

Для аналізу руху системи по графіках статичних характеристик нелінійні функції $U_{ДЖР} = f(I_D)$ поблизу точки B і $U_{Д2} = f(I_D)$ поблизу B_1 розкладемо у ряд Тейлора за степенями ΔI_D , відкидаючи усі члени ряду другої і більш високих ступенів ΔI_D .

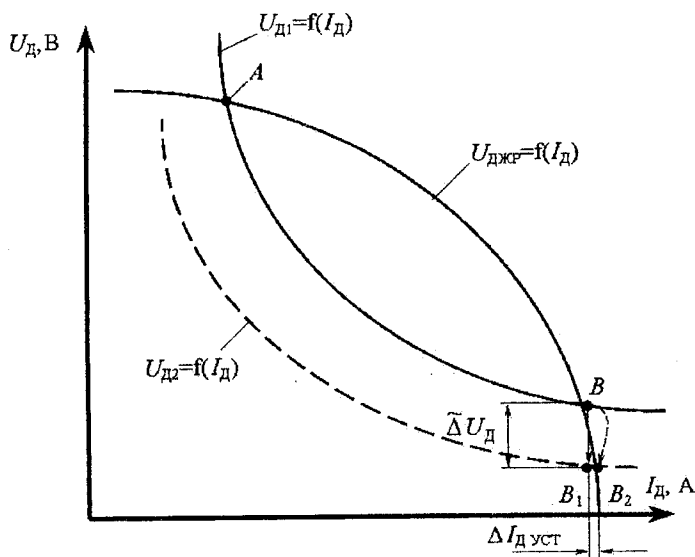


Рис. 1.7. Зовнішня характеристика джерела живлення і вольт-амперна характеристика дуги

Тоді напруга джерела поблизу точки B буде рівна:

$$U_{ДЖР} = U_{ДЖРВ} + \left(\frac{dU_{ДЖР}}{dI_D} \right)_B \cdot \Delta I_D = U_{ДЖРВ} + \rho_{ДЖР} \Delta I_D, \quad (1.5)$$

де $\rho_{\text{ДЖР}} = \left(\frac{dU_{\text{ДЖР}}}{dI_{\text{Д}}} \right)_{\text{В}}$ – диференціальний опір джерела в точці В.

Для дуги поблизу точки В₁ нахил характеристики такий, як і у точці В, тому напруга на дузі буде рівна:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{Д}} &= U_{\text{ДВ}} + \left(\frac{dU_{\text{Д2}}}{dI_{\text{Д}}} \right)_{\text{В}_1} \cdot \Delta I_{\text{Д}} - \tilde{\Delta} U_{\text{Д}} = \\
 &= U_{\text{ДВ}} + \left(\frac{dU_{\text{Д1}}}{dI_{\text{Д}}} \right)_{\text{В}} \cdot \Delta I_{\text{Д}} - \tilde{\Delta} U_{\text{Д}} = U_{\text{ДВ}} + \rho_{\text{Д}} \Delta I_{\text{Д}} - \tilde{\Delta} U_{\text{Д}} \quad (1.6)
 \end{aligned}$$

Напруга на індуктивності L визначається рівнянням

$$E_L = -L \frac{d(I_{\text{ДВ}} + \Delta I_{\text{Д}})}{dt} = -L \frac{d\Delta I_{\text{Д}}}{dt} \quad (1.7)$$

Із рис 1.6 відповідно до другого правила Кірхгофа напруга джерела рівна:

$$U_{\text{ДЖР}} = U_{\text{Д}} - E_L \quad (1.8)$$

До рівняння (1.8) підставимо значення складових з рівнянь (1.5), (1.6) і (1.7):

$$U_{\text{ДЖРВ}} + \rho_{\text{ДЖР}} \Delta I_{\text{Д}} = U_{\text{ДВ}} + \rho_{\text{Д}} \Delta I_{\text{Д}} - \tilde{\Delta} U_{\text{Д}} + L \frac{d\Delta I_{\text{Д}}}{dt}$$

Після перетворень з урахуванням рівності $U_{\text{ДЖРВ}} = U_{\text{ДВ}}$ одержуємо лінійне диференціальне рівняння

$$L \frac{d\Delta I_{\text{Д}}}{dt} + (\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}) \cdot \Delta I_{\text{Д}} = \tilde{\Delta} U_{\text{Д}} \quad (1.9)$$

Його розв'язок $\Delta I_{\text{Д}}(t)$ шукаємо як суму результатів перехідного $\Delta I_{\text{Д ПЕР}}(t)$ і усталеного процесів $\Delta I_{\text{Д УСТ}}(t)$

$$\Delta I_{\text{Д}} = \Delta I_{\text{Д ПЕР}}(t) + \Delta I_{\text{Д УСТ}}(t)$$

Рівняння перехідного процесу $\Delta I_{\text{Д ПЕР}}(t)$ є загальним розв'язком однорідного рівняння (1.9) без правої частини ($\tilde{\Delta}U_{\text{Д}} = 0$):

$$\frac{d\Delta I_{\text{Д}}}{dt} + \frac{\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}}{L} \cdot \Delta I_{\text{Д}} = 0$$

Це рівняння можна розв'язати розділенням змінних $\Delta I_{\text{Д}}$ і t :

$$\frac{d\Delta I_{\text{Д}}}{\Delta I_{\text{Д}}} = -\frac{\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}}{L} dt$$

із подальшим інтегруванням

$$\ln \Delta I_{\text{Д}} = -\frac{\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}}{L} t + C$$

і потенціюванням

$$\Delta I_{\text{Д ПЕР}}(t) = e^c \cdot e^{-\frac{\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}}{L} t}$$

Рівняння усталеного процесу одержуємо як часткове рішення рівняння (1.9) при $d\Delta I_{\text{Д}}/dt = 0$

$$(\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}) \Delta I_{\text{Д}} = \tilde{\Delta}U_{\text{Д}}$$

звідки

$$\Delta I_{\text{ДУСТ}}(t) = \tilde{\Delta}U_{\text{Д}} (\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}})$$

Тоді загальна величина відхилення струму буде рівна:

$$\Delta I_{\text{Д}} = \Delta I_{\text{Д ПЕР}} + I_{\text{ДУСТ}} = e^c \cdot e^{-\frac{\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}}{L} t} + \frac{\tilde{\Delta}U_{\text{Д}}}{\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}}$$

Стала інтегрування C (або коефіцієнт e^c) визначається з початкових умов.

Оскільки при $t=0$ відхилення струму $\Delta I_{\text{Д}}=0$, то

$$0 = e^c + \frac{\tilde{\Delta}U_{\text{Д}}}{\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}}, \text{ звідки } e^c = -\frac{\tilde{\Delta}U_{\text{Д}}}{\rho_{\text{Д}} - \rho_{\text{ДЖР}}}$$

Кінцеве рівняння для відхилення струму має вигляд:

$$\Delta I_D = \frac{\tilde{\Delta} U_D}{\rho_D - \rho_{ДЖР}} \left[1 - \exp\left(-\frac{\rho_D - \rho_{ДЖР}}{L} \cdot t\right) \right] \quad (1.10)$$

З допомогою рівняння (1.10) можна проаналізувати характер перехідного процесу (рис.1.8).

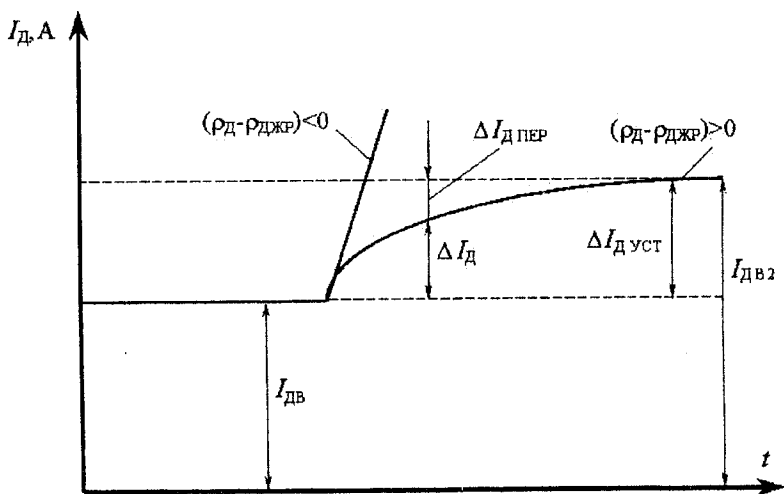


Рис. 1.8. До аналізу перехідного процесу при ручному дуговому зварюванні

У показнику степені при e величини L і t можуть бути тільки додатними. Залежно від знаку різниці $(\rho_D - \rho_{ДЖР})$ змінюється характер перехідного процесу. При $(\rho_D - \rho_{ДЖР}) > 0$ процес збіжний, тобто при $t \rightarrow \infty$ відхилення:

$$\Delta I_{Д ПЕР} = \frac{\tilde{\Delta} U_D}{\rho_D - \rho_{ДЖР}} \exp\left(-\frac{\rho_D - \rho_{ДЖР}}{L} \cdot t\right)$$

прямує до 0, а абсолютні значення струму і напруги встановлюються на постійному рівні. Це говорить про те, що система із нерівноважного стану (точки B і B_1 , рис. 1.7) переходить у другий рівноважний стан (точка B_2), який характеризується новим рівнянням струму і напруги джерела і дуги, тобто система поблизу точки B стійка.

При $(\rho_d - \rho_{джр}) < 0$ процес розбіжний (рис. 1. 8), оскільки відхилення струму $I_{дпер}$ з часом зростає і система приходиться у неусталений стан. Для стійкості системи вирішальне значення має знак різниці диференціальних опорів дуги і джерела в точці перетину їхніх характеристик. Різницю цих опорів називають коефіцієнтом стійкості системи K_c . Система буде стійкою при малих збуреннях, якщо $K_c > 0$.

$$K_c = (\rho_d - \rho_{джр}) > 0 \quad (1.11)$$

За даним рівнянням можна перевірити стійкість системи біля точок А і В (рис. 1.7). Для точки А диференціальні опори дуги і джерела від'ємні, але характеристика дуги має більш крутий нахил до горизонталі, а її опір за модулем більший ніж у джерела. Наприклад, $\rho_d = -0,3$ В/А, $\rho_{джр} = -0,2$ В/А. Підставляючи ці дані у формулу (1.11) одержимо $K_c < 0$, тобто система нестійка. У точці В ρ_d і $\rho_{джр}$ мають також від'ємні значення, але диференціальний опір джерела більший, оскільки нахил його характеристики більш крутий і, відповідно, за модулем $\rho_{джр}$ більший ніж ρ_d . Нехай $\rho_d = -0,1$ В/А, $\rho_{джр} = -0,2$ В/А. Тоді $K_c = -0,1 - (-0,2) = 0,1$ В/А, тобто $K_c > 0$ і система стійка.

Фізичне пояснення умови стійкості можна обґрунтувати таким чином. Якщо з будь-якої причини струм дуги, що відповідає точці А, зменшиться, то напруга дуги збільшиться і може стати більшою за напругу неробочого ходу джерела живлення. При цьому дуга погасне. Якщо ж струм збільшиться, то напруга дуги зменшиться і стане меншою за напругу джерела. Надмірна напруга викличе подальше зростання струму аж до величини, що відповідає струму в точці В. Зменшення зварювального струму в цій точці призведе до того, що напруга дуги виявиться нижче усталеного значення напруги джерела живлення. Це приведе до зростання струму до його значення в точці В. Навпаки, при випадковому збільшенні струму усталена напруга джерела виявиться меншою за напругу дуги і режим горіння дуги відновиться. Отже, система «джерело – дуга» поблизу точки В стійка.

1.4.3. Вимоги до зовнішніх характеристик джерел живлення, які продиктовані вимогами стійкості

Забезпечення виконання умови $K_c > 0$ залежить від відповідності виду зовнішніх характеристик джерела живлення трьом видам статичних характеристик зварювальної дуги (рис.1.2).

Для спадної характеристики дуги (ділянка I), де її диференціальний опір від'ємний ($\rho_d < 0$), з метою дотримання $K_c > 0$ необхідно застосовувати джерело з більш крутоспадною характеристикою—1, тобто $\rho_{джр} > \rho_d$ (рис.1.9). На ділянці ВАХ дуги, коли $\rho_d \approx 0$ (ділянка II), для стійкої роботи системи необхідно щоб характеристика джерела була пологоспадна—3 або крутоспадна—2, але обов'язково $\rho_{джр} < 0$.

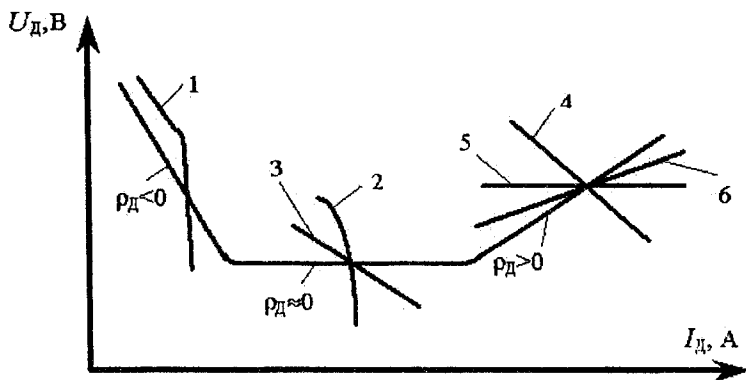


Рис. 1.9. Вибір зовнішньої характеристики джерела залежно від вольт-амперної характеристики дуги

Якщо статична характеристика дуги має наростальну форму ($\rho_d > 0$, ділянка III), то коефіцієнт стійкості K_c може бути додатним при спадній зовнішній характеристиці джерела—4 ($\rho_{джр} < 0$), при жорсткій ВАХ—5 ($\rho_{джр} = 0$) і навіть при наростальній—6 ($\rho_{джр} < 0$). При наростальній ВАХ джерела живлення її крутизна повинна бути меншою за крутизну характеристики дуги, тобто $\rho_{джр} < \rho_d$. Цей випадок відповідає зварюванню в захисних газах тонким дротом при великій густині струму.

1.4.4. Стійкість енергетичної системи при значних коливаннях дуги

Умова стійкості енергетичної системи «джерело живлення – зварювальна дуга» при $K_c > 0$ необхідна, але не достатня для стійкого горіння дуги в реальних умовах зварювання. На вибір типу зовнішньої характеристики джерела суттєво впливають також властивості пристрою, що здійснює подачу електрода в зону горіння дуги і технологічні

особливості процесу зварювання. При зварюванні найбільш значними є коливання довжини дуги. Можливі стрибкоподібні, періодичні і плавні зміни довжини дуги. Чим довша дуга, тим більш стійким вважається процес. Дуга повинна мати необхідний запас стійкості, тобто має бути еластичною. Зовнішня характеристика джерела обирається так, щоб при зміні довжини дуги режим зварювання не зазнавав змін, які виходили б за припустимі межі.

Аналіз стійкості системи при значних коливаннях дуги можна провести з використанням статичних характеристик дуги і джерела живлення в припущенні порівняно плавного подовження дуги від найбільш короткої з напругою $U_{Д\text{МІН}} = U_{\text{К}} + U_{\text{А}}$ аж до її розриву. При подовженні дуги її характеристика зсувається вгору, і умови горіння погіршуються. У момент, що передує розриву дуги ($L_{\text{ДРОЗР}} = L_{\text{МАХ}}$), напруга на дузі максимальна $U_{\text{ДМАХ}}$, струм мінімальний $I_{\text{ДМІН}}$ (точка В, рис. 1.10).

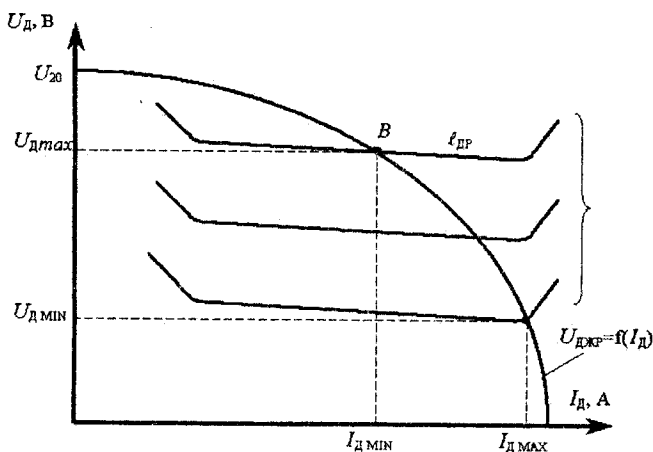


Рис. 1.10. Стійкість енергетичної системи при значних коливаннях довжини дуги

Виходячи з рівняння (1.1) напруга дуги в точці В рівна:

$$U_{\text{ДЖР В}} = U_{\text{ДМАХ}} = U_{\text{К}} + U_{\text{А}} + E_{\text{СТ}} \ell_{\text{ДРОЗР}} \quad (1.12)$$

У цей же час напругу джерела можна визначити з рівняння

$$U_{\text{ДЖР В}} = U_{20} - I_{\text{ДМІН}} Z_{\text{ДЖР}}$$

Можна припустити, що початкова ділянка характеристики джерела у точці B є прямолінійною, і тоді $Z_{\text{ДЖР}} = -\rho_{\text{ДЖР}}$. Останнє рівняння приведемо до такого вигляду:

$$U_{\text{ДЖР В}} = U_{20} + I_{\text{Д МІН}} \rho_{\text{ДЖР}} \quad (1.13)$$

Оскільки в точці перетину характеристик дуги і джерела дотримується рівність їхніх напруг, то якщо прирівняти праві частини рівнянь (1.12) і (1.13) і розв'язати їх відносно розривної довжини дуги, одержимо:

$$\ell_{\text{Д РОЗР}} = (U_{20} - U_{\text{К}} - U_{\text{А}} + I_{\text{Д МІН}} \rho_{\text{ДЖР}}) / E_{\text{СТ}} \quad (1.14)$$

Однією з основних умов збільшення розривної довжини дуги і, відповідно, забезпечення її еластичності є збільшення напруги неробочого ходу джерела живлення U_{20} . Величина $\ell_{\text{Д РОЗР}}$ збільшується також і при зменшенні $I_{\text{Д МІН}}$ за рахунок зниження швидкості зварювання, зменшення діаметру електрода, обмеження тепловідводу газовими потоками, зниження спаду катодної напруги $U_{\text{К}}$ і градієнта потенціалу стовпа дуги $E_{\text{СТ}}$. Величини $U_{\text{К}}$ і $E_{\text{СТ}}$ можна зменшувати за рахунок введення в дугу легкоіонізованих компонентів.

Розглянуті умови стійкості дійсні для статичних режимів. Для більш точного аналізу необхідно враховувати і динамічні властивості джерела, а саме значення індуктивності L , оскільки швидкість подовження дуги, а, відповідно, і стійкість системи залежать від енергії, накопиченої в індуктивності.

Напруга мережі також впливає на стійкість системи, так як у більшості джерел напруга неробочого ходу U_{20} залежить від U_1 . Зі спадом напруги мережі знижується U_{20} , внаслідок чого зменшується розривна довжина дуги $\ell_{\text{Д РОЗР}}$. Для підвищення стійкості системи в такому випадку необхідно застосовувати пристрої, які стабілізують напругу неробочого ходу.

Вираз $(I_{\text{Д МІН}} \rho_{\text{ДЖР}})$ у рівнянні (1.14) при спадній характеристиці джерела має від'ємний знак, тому слід знижувати величину $(\rho_{\text{ДЖР}})$ за модулем. У той же час таке зниження суперечить підвищенню стійкості системи, виходячи з умови $K_{\text{с}} > 0$. Проте в цьому випадку краще використовувати джерела з крутоспадною характеристикою, у яких при малих струмах, що відповідають відриву дуги, диференціальний опір $\rho_{\text{ДЖР}}$ малий, а при робочому навантаженні – достатньо великий (рис. 1.10).

1.4.5. Стійкість енергетичної системи при зварюванні плавким електродом з коротким замиканням

При зварюванні плавким електродом збурення виникає внаслідок крапельного перенесення електродного металу. На характер перенесення електродного металу впливають динамічні властивості джерела живлення, які визначаються швидкістю зростання напруги і струму короткого замикання при перехідних процесах.

Розглянемо фізичні і електричні процеси в енергетичній системі «джерело живлення – зварювальна дуга» при природних технологічних коротких замиканнях (рис. 1.11).

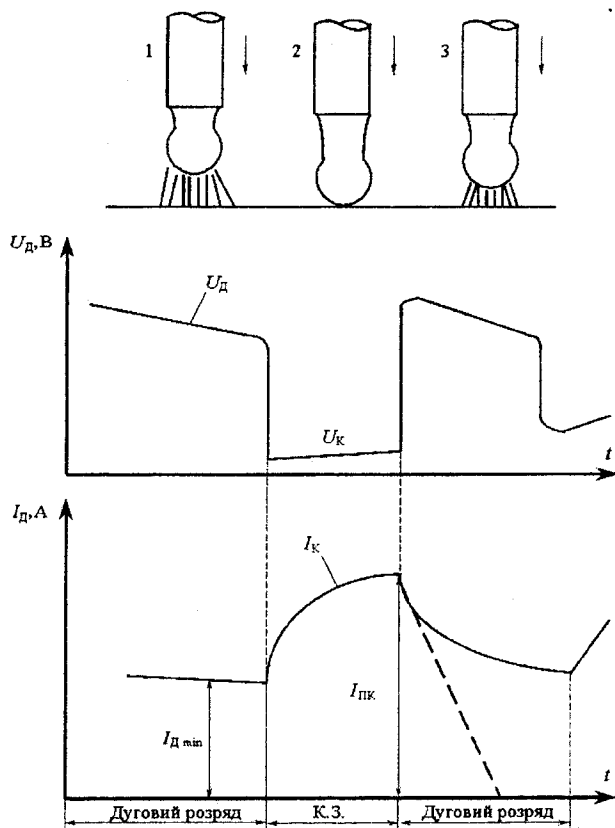


Рис. 1.11. Осцилограми напруги (а) і струму (б) при зварюванні плавким електродом

На стадії дугового розряду (поз.1) відбувається розплавлення електродного металу і утворення краплі. У міру її зростання при безперервній подачі електрода довжина дуги зменшується, а напруга спадає. Час дугового розряду становить 0,005–0,1с. Потім крапля замикає дуговий проміжок і створює коротке замикання (стадія 2). Дуга при цьому гасне, напруга різко падає, а струм зростає. Тривалість цього процесу становить 0,001–0,01 с. Електромагнітні сили, що визначаються піковим значенням $I_{пк}$ струму короткого замикання, стискають перемичку між краплею і електродом. У результаті цього вона стає тоншою, перегрівається, вибухає і скидається у ванну, після чого дуговий розряд відновлюється (поз. 3). Напруга джерела при цьому швидко встановлюється до значення U_d , а струм плавно знижується до I_d . Цей процес весь час повторюється, у результаті чого при дуговому розряді відбувається плавлення електродного металу, а при короткому замиканні – його перенесення, тобто складаються умови рівномірного плавлення основного електродного металу і утворення шва. Це явище пов'язане з поняттям «технологічної» стійкості, основною умовою якого слід вважати регулярність циклічних змін струму і напруги, а критерієм стійкості – їх частоту. При механізованому зварюванні в CO_2 процес технологічно стійкий при частоті 20...100 Гц.

Розглянемо електричні процеси в системі при підвищенні технологічної стійкості і зниженні розбризкувань. Критичним для забезпечення безперервності процесу є момент закінчення режиму короткого замикання, надійне переривання якого визначається інтенсивним руйнуванням рідкої перемички між краплею і електродом. Це досягається за рахунок значної величини струму короткого замикання. Так, при зварюванні дротом $\varnothing 0,8$ і 1,2 мм необхідний такий струм, пікове значення якого $I_{пк}$ становить 350–500 А. Надійне переривання можна також оцінювати за швидкістю зростання струму короткого замикання dI_k/dt . Так, для зварювальних дротів вищевказаних діаметрів dI_k/dt повинна бути вищою за 10 кА/с. При менших значеннях $I_{пк}$ і швидкості наростання струму перемичка між краплею і електродом не руйнується і дуга може не відновитись. При надмірно високих значеннях dI_k/dt спостерігається підвищене розбризкування металу. Пікове значення струму короткого замикання і швидкість наростання струму значною мірою залежать від напруги неробочого ходу джерела живлення при умові жорсткої ВАХ. Це можна проілюструвати на прикладі розв'язання рівняння (1.15)

$$U_{20} = I_K(R_{\text{ДЖР}} + R_B) + LdI_K/dt \quad (1.15)$$

де $I_K(R_{\text{ДЖР}} + R_B)$ – падіння напруг на активному опорі джерела $R_{\text{ДЖР}}$ і вильоті електрода R_B .

Розв'язуючи це рівняння, можна одержати залежність $I_K = f(t)$.

$$I_K = \frac{U_{20}}{R_{\text{ДЖР}} + R_B} \left(1 - e^{-\frac{R_{\text{ДЖР}} + R_B}{L}t}\right) \quad (1.16)$$

Виходячи з рівняння (1.16), видно що для підвищення пікового значення струму короткого замикання з метою підвищення стійкості процесу необхідно збільшувати U_{20} і знижувати внутрішній опір джерела $R_{\text{ДЖР}}$. Для збільшення швидкості наростання струму короткого замикання необхідно також знижувати індуктивність L в колі джерела. З іншого боку, для зниження розбризкувань електродного металу корисно збільшувати індуктивність. Отже, вплив L на стійкість при технологічних коротких запалюваннях неоднозначний, оскільки він, по-перше, сприяє повторному запалюванню дуги, а, по-друге, – перешкоджає надійному розриванню кола короткого замикання.

1.4.6. Способи настроювання режиму зварювання

Використання джерел живлення передбачає наявність у них регульовальних пристроїв, які дозволяють здійснювати налагодження режиму зварювання за струмом і напругою у визначених межах. Настроювання режиму означає, що при заданій напрузі на дузі встановлюють з допомогою регульовального пристрою визначену величину струму, впливаючи на напругу неробочого ходу джерела U_{20} або його внутрішній опір $Z_{\text{ДЖР}}$. Зовнішню характеристику джерела в загальному вигляді можна виразити таким рівнянням:

$$U_{\text{ДЖР}} = U_{20} - I_D Z_{\text{ДЖР}} \quad (1.17)$$

При стійкій роботі у статичному режимі $U_{\text{ДЖР}} = U_D$. Тоді вираз для визначення величини зварювального струму з рівняння (1.17) матиме вигляд:

$$I_{\text{ДЖР}} = (U_{20} - U_D) / Z_{\text{ДЖР}} \quad (1.18)$$

З рівняння (1.18) видно, що для регулювання струму потрібно змінювати напругу неробочого ходу або опір джерела.

Вибір параметрів режиму зварювання визначають за перетином вольт-амперних характеристик дуги і джерела живлення. Характеристику дуги в залежності від способу зварювання можна визначити, виходячи з графіку умовного робочого навантаження. Так, для ручного дугового зварювання залежність U_d від струму навантаження визначається рівнянням:

$$U_d = 20 + 0,04 \cdot I_d$$

Для автоматичного зварювання під флюсом:

$$U_d = 19 + 0,037 \cdot I_d \text{ при } I_d = 1000 \text{ А;}$$

$$U_d = 13 + 0,0315 \cdot I_d \text{ при } I_d = 2000 \text{ А}$$

Для зварювання в CO_2 :

$$U_d = 17 + 0,05 \cdot I_d$$

Джерело має діапазон регулювання струму від $I_{d \text{ MIN}}$ до $I_{d \text{ MAX}}$, кратність регулювання струму $I_{d \text{ MIN}}/I_{d \text{ MAX}}$, плавне і ступінчасте регулювання струму. При настроюванні режиму необхідно враховувати можливості джерела, виходячи з розрахунку його роботи на визначені (номінальні) значення струму $I_{\text{НОМ}}$ і напруги $U_{\text{НОМ}}$ з урахуванням теплового режиму.

Налагоджений режим під дією збурень може змінюватись. Якщо дотримані умови стійкості системи, оцінюється стабільність параметрів режиму зварювання. Так, при збуреннях за довжиною дуги $\Delta \ell_d$ змінюється її напруга, а, відповідно, і струм дуги. Стабільність параметрів оцінюють за абсолютним $\Delta I_d = I_{d2} - I_{d1}$ або відносним $[(I_{d2} - I_{d1})/I_{d1}] \cdot 100\%$ відхиленням фактичного струму від налагодженого.

Стабілізацію напруги дуги одержують шляхом обмеження коливань її довжини, оскільки U_d залежить від довжини дуги ℓ_d .

Стабілізація за струмом залежить від форми статичної характеристики джерела, а саме від величини диференціального опору $\rho_{\text{ДЖР}}$. Джерело з крутоспадною характеристикою із більш від'ємним значенням опору $\rho_{\text{ДЖР}}$ має кращі властивості стабілізації за струмом.

Напруга мережі живлення впливає також на стабільність параметрів режиму, оскільки у багатьох джерел звичайної конструкції зі зміною напруги мережі змінюється і напруга неробочого ходу. Для підвищення стабільності необхідно застосовувати джерела зі зворотними зв'язками за струмом, напругою або джерела параметричного типу. У параметричних джерелах сталість режиму забезпечується спеціальними пристроями, що обмежують струм і напругу на заданому рівні.

1.5. РЕЖИМИ РОБОТИ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Джерело живлення розраховується за нагріванням на визначений режим роботи, який залежить від характеру навантаження з часом, тобто навантаження, при яких воно працює, не перегріваючись, вище вказаних норм. У процесі роботи джерела відбувається нагрівання його обмоток, заліза осердя та інших складових частин. Розрізняють три режими роботи джерела живлення: тривалий, переміжний і повторно-короткочасний.

Тривалим режимом називається такий режим, при якому джерело встигає під час роботи нагрітися до сталої температури. У цьому випадку кількість тепла, яка віддається в навколишнє середовище за одиницю часу, рівна кількості тепла, яке виділяється у джерелі живлення. При такому режимі робота джерела з навантаженням відбувається безперервно, і тому налаштовувати струм вище номінального значення не рекомендовано.

Перемежуючий режим характеризується відносною тривалістю навантаження $TН\%$ за час циклу $t_{ц} = t_{д} + t_{0}$, коли періоди горіння дуги тривалістю $t_{д}$ чергуються з періодами неробочого ходу джерела t_{0} .

$$TН\% = \frac{t_{д}}{t_{ц}} \cdot 100 = \frac{t_{д}}{t_{д} + t_{0}} \cdot 100$$

Цей режим характерний для ручного дугового зварювання, а також для автоматичного зварювання на постійному струмі.

При **повторно-короткочасному** режимі роботи під час циклу тривалістю $t_{ц} = t_{д} + t_{п}$ періоди горіння дуги тривалістю $t_{д}$ перемежуються з періодами відключення від мережі $t_{п(перерв)}$. Такий режим характеризується відносною тривалістю увімкнення $TУ\%$:

$$TУ\% = \frac{t_{д}}{t_{ц}} \cdot 100 = \frac{t_{д}}{t_{д} + t_{п}} \cdot 100$$

У такому режимі працюють джерела живлення для механізованого зварювання під флюсом на змінному струмі та універсальні джерела.

Тривалість циклу $t_{ц}$ джерел, призначених для ручного дугового зварювання прийнята рівною 5 хв., а для джерел для механізованого зварювання – 10 хвилин.

Якщо джерело розраховане на номінальну відносну тривалість навантаження $TН \% = 60 \%$ при циклі зварювання 10 хв., то в процесі роботи на номінальному струмі I_H воно не буде перегріватися, за умови, коли при 10-хвилинному циклі дуга буде горіти не більше 6 хв. При будь-якому іншому режимі перегріву не буде, якщо тепловиділення у джерелі зі внутрішнім опором $R_{ДЖР}$ за час циклу не перевищуватиме тепловиділення при номінальному режимі, тобто

$$I_D^2 R_{ДЖР} t_D \leq I_H^2 R_{ДЖР} t_{Д НОМ}$$

Якщо поділити обидві частини рівняння на t_D , одержимо:

$$I_D^2 TН \leq I_{НОМ}^2 \cdot TН_{НОМ}$$

Якщо $TН \%$ відрізняється від номінального, наведеного в паспорті джерела живлення, то величину зварювального струму, яка відповідає іншому значенню $TН \%$, можна визначити із співвідношення.

$$I_D \leq I_{НОМ} \cdot \sqrt{\frac{TН_{НОМ}}{TН}}$$

Допустиме значення $TН \%$ при струмі I_D , який відрізняється від номінального струму I_H , визначається із наступного відношення:

$$TН\% \leq TН_{НОМ} \frac{I_{НОМ}^2}{I_D^2}$$

1.6. ВИМОГИ, ЯКІ ВИСУВАЮТЬСЯ ДО ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ

1.6.1. Вимоги до джерел для ручного дугового зварювання покритими електродами

Ручне дугове зварювання виконується електродами діаметром від 2 до 6 мм на струмах від 50 до 350 А. Вольт-амперна характеристика дуги при ручному зварюванні має спадну і жорстку ділянки (рис. 1.2). Основною вимогою до джерела є вибір типу його зовнішньої характеристики. Для стійкої роботи системи «джерело живлення – зварювальна дуга» за умови $K_c > 0$ необхідно використовувати крутоспадну зовнішню характеристику джерела з диференціальним опором $\rho_{ДЖР} = -1 \dots 0,1$ В/А. Така характеристика має менший нахил на

ділянці малих струмів (точка А, рис. 1.7) і відповідає умовам стійкості при значних коливаннях довжини дуги (1.14). На ділянці робочих струмів (точка В) завдяки більшій крутизні характеристики, досягається висока стабільність струму при коливаннях довжини дуги. Так, у джерела з номінальним струмом 300 А і диференціальним опором $\rho_{\text{джер}} = -0,2 \text{ В/А}$ при зміні напруги від 25 до 40 В сила струму підтримується з точністю до $\pm 35 \text{ А}$. При такій характеристиці значення струму короткого замикання $I_{\text{к}}$ має становити не більше $1,5I_{\text{д}}$, що відповідає умові надійного запалювання дуги. Напруга неробочого ходу джерела U_{20} для забезпечення надійного запалювання має бути не нижчою за 40–45 В і не вищою за 90–100 В за вимогами охорони праці. Налаштування режиму проводиться джерелом тільки за струмом, оскільки довжина дуги і, відповідно, напруга підтримуються зварювальником вручну.

1.6.2. Вимоги до джерел для механізованого зварювання в середовищі CO_2

Зварювання у вуглекислому газі виконується на постійному струмі величиною від 50 до 600 А, напругою від 16 до 50 В з використанням низьколегованого електродного дроту діаметром 0,8–2,4 мм. Вольтамперна характеристика дуги при такому способі зварювання через високу густину струму наростає (ділянка III, рис. 1.2).

Запалювання дуги короткими замиканнями відбувається при безперервному подаванні електродного дроту до виробу. Звичайно, після декількох перегорань дроту і нових коротких замиканнях дуга збуджується. Для підтримання безперервного горіння дуги при постійній швидкості подавання дроту використовується принцип саморегулювання. Процес саморегулювання відбувається наступним чином. Зі збільшенням довжини дуги $\ell_{\text{д}}$ збільшується напруга $U_{\text{д}}$, знижується струм $I_{\text{д}}$, швидкість плавлення електрода $V_{\text{Е}}$ зменшується. У цьому випадку порушується умова рівноваги системи, тобто швидкість подавання електродного дроту $V_{\text{Е}}$ стає більшою за швидкість плавлення електрода $V_{\text{п}}$. Це призводить до зменшення довжини дуги, і вона буде скорочуватись до тих пір, поки режим зварювання не прийде у вихідний сталій стан. При випадкових скороченнях довжини дуги система саморегулювання буде утворювати збурення навпаки. При відсутності збурень сила струму самовільно встановлюється на такому рівні, при якому $V_{\text{п}} = V_{\text{Е}}$.

Джерело живлення повинно мати положоспадну зовнішню характеристику, що пов'язане з необхідністю забезпечення високої швидкодії при саморегулюванні. Чим більше при збуреннях змінюється струм, тим більша швидкість плавлення електродного дроту, і швидше відновлюється довжина дуги. Це досягається за рахунок зниження опору джерела $\rho_{\text{ДЖР}}$, тобто зниження нахилу спадної характеристики. Допустиме також застосування джерел із жорсткою, навіть положо-наростальною характеристикою при зварюванні дротом до 1,4 мм. Сила струму короткого замикання при запалюванні дуги обмежується в основному тільки опором вильоту дроту і тому може досягати п'ятикратного значення струму дуги. При низькій напрузі дуги перенесення електродного металу відбувається з частими короткими замиканнями, що призводить до значних розбризувань. Для зменшення розбризувань необхідно обмежувати швидкість наростання струму короткого замикання шляхом введення в джерело індуктивності. Налягодження режиму при зварюванні у вуглекислому газі здійснюється джерелом і пристроєм вводу. Оскільки величина зварювального струму змінюється зі зміною швидкості подачі електродного дроту, то $I_{\text{Д}}$ регулюється напівавтоматом. Напряга дуги встановлюється регулятором напруги джерела.

1.6.3. Вимоги до джерел для механізованого зварювання під флюсом

Зварювання під флюсом виконується на струмах від 250 до 2000 А при напрузі 22–75 В електродним дротом діаметром від 2 до 6 мм. Запалювання дуги здійснюється розриванням кола короткого замикання. ВАХ дуги жорстка або наростальна. Для підтримання безперервного горіння дуги при зварюванні дротом $\varnothing 4\text{--}5$ мм використовується принцип саморегулювання, при більшому діаметрі – автоматичне регулювання напруги дуги.

При автоматичному зварюванні з постійною швидкістю подавання електродного дроту з дотриманням принципу саморегулювання джерело повинне мати положоспадну зовнішню характеристику з $\rho_{\text{ДЖР}} = -0,01 \dots -0,1$ В/А. При цьому виконується умова стійкості $K_c > 0$. Невеликий нахил такої характеристики забезпечує значну зміну струму при коливаннях довжини дуги і, відповідно, високу швидкодію при саморегулюванні дуги. Розплавлений шлак шунтує дугу, що дещо погіршує її запалювання і знижує стійкість. Тому необхідно збільшувати

напругу неробочого ходу джерела до 110...130 В. З метою безпеки обслуговування джерела необхідно передбачити пристрій, що вимикає його відразу після закінчення зварювання.

При положоспадній характеристиці струм короткого замикання I_k становить $(1,5...3)I_d$, що значно збільшує надійність запалювання дуги. Зварювальний струм регулюється з допомогою автомата зміною швидкості подавання електродного дроту, а напруга – регулятором напруги джерела живлення.

В апаратах з автоматичним регулюванням напруги U_d підтримується з визначеною точністю на заданому рівні U_3 . Для дотримання вимог принципової стійкості $K_c > 0$ джерело живлення в такому випадку повинне мати крутоспадну зовнішню характеристику з $R_{джр} = -0,1... -0,3$ В/А. Величина струму короткого замикання I_k має становити не більше подвоєного значення струму навантаження I_d , напруга неробочого ходу – 120–130 В. Напруга дуги задається автоматично регулятором, який використовується для настроювання зварювального струму.

1.7. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Технічні характеристики джерела наведені в його документації. До них належать:

- номінальний зварювальний струм I_n , А – основний параметр, на який розраховується джерело;
- номінальна робоча напруга, В – величина, відповідна напрузі дуги;
- межі регулювання зварювального струму, А – мінімальне $I_{d\text{ MIN}}$ і максимальне $I_{d\text{ MAX}}$ значення, одержані при кінцевих положеннях регулюючих пристроїв і умовному робочому навантаженні;
- межі регулювання робочої напруги, В – для джерел з жорсткими і спадними зовнішніми характеристиками;
- напруга неробочого ходу, В – має різні значення для джерел ручного і механізованого зварювання та залежно від роду струму;
- номінальна потужність, кВА – потужність, яка споживається з мережі при номінальному струмі та напрузі;
- первинна напруга, В – напруга мережі (220 або 380 В);
- режим роботи – тривалий, перемежуючий або повторно-короткочасний.

Джерела для ручного дугового зварювання, що працюють в перемежуючому режимі при циклі $t_c = 5$ хв мають тривалість

навантаження $TN=60\%$. Переносні джерела для роботи у монтажних умовах мають $TN=20\%$ і 35% . Джерела для зварювання в середовищі CO_2 , а також під флюсом працюють у повторно-короткочасному режимі при $t_{ц}=10$ хв з $TU=60\%$. Більшість джерел для механізованого зварювання під флюсом і багатопостового зварювання працюють у тривалому режимі при $TU=100\%$:

- коефіцієнт потужності $\cos\phi$ – відношення активної споживаної потужності до повної;
- коефіцієнт корисної дії – приводиться для номінального режиму;
- габаритні розміри, мм – довжина, ширина, висота;
- маса, кг.

1.8. ЄДИНА СИСТЕМА ПОЗНАЧЕНЬ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Позначення типів виробів, які випускаються підприємством, складається з літерної і цифрової частин:

- перша літера – тип виробу (Т–трансформатор, В–випрямляч, Г–генератор, А–агрегат, У–установка);
- друга літера – вид зварювання (Д–дугове, П–плазмове);
- третя літера – спосіб зварювання (Ф–під флюсом, Г–в захисних газах, У–універсальні джерела для різних способів зварювання).

При відсутності третьої літери – ручне дугове покритими електродами;

- четверта літера – призначення джерела (М–багатопостове зварювання, І–імпульсно-дугове).

Одна або дві цифри після літер позначають номінальний зварювальний струм у сотнях ампер (округлено). Дві наступні цифри – реєстраційний номер виробу. Наступна за ними літера говорить про кліматичне виконання (У–для використання в країнах з помірним кліматом, Т–для тропіків, ХЛ–для районів з холодним кліматом). Цифра після літерного позначення кліматичного виконання вказує на категорію розташування, в якій працює джерело. Для роботи на відкритому повітрі – 1, під навісом – 2, у приміщеннях з природною вентиляцією – 3, у приміщеннях зі штучним регулюванням клімату – 4, у приміщеннях з підвищеною вологістю – 5. Розшифровуючи, наприклад, тип джерела ВДГМ-1602У3, маємо: випрямляч для дугового зварювання в середовищі захисних газів, багатопостової системи на струм 1600 А, реєстраційний номер виробу 02, що використовується при роботі в помірному кліматі у приміщеннях з природною вентиляцією.

1.9. КЛАСИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ І ГАЛУЗІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Джерела можна класифікувати за різними ознаками залежно від конкретних властивостей і характеристик, техніко-економічних показників, автономності використання, характеристик зварюваних матеріалів, кількості постів, що обслуговуються, за застосуванням на загальнопромислові або спеціалізовані.

Галузі застосування джерел живлення наведені в табл. 1.2.

Найбільш розповсюдженими джерелами є зварювальні трансформатори завдяки своїй економічності і малій вартості. Тому там, де є можливість, прагнуть використовувати зварювальні трансформатори замість електромашинних перетворювачів і випрямлячів. Постійний струм має деякі технологічні переваги при дуговому зварюванні, особливо при зварюванні під флюсом. Значно поширилась га-

Таблиця 1.2

Рід струму	Тип джерела	Зовнішня характеристика	Галузь застосування
Змінний	Зварювальні трансформатори	Спадна	Ручне дугове зварювання, зварювання під флюсом, зварювання в захисних газах неплавким електродом
		Пологоспадна	Електрошлакове зварювання
	Електромашинні перетворювачі	Спадна	Ручне дугове зварювання, зварювання під флюсом, зварювання в захисних газах неплавким електродом
		Пологоспадна, жорстка	Зварювання в захисних газах плавким електродом, зварювання під флюсом на форсованих режимах
Постійний	Зварювальні агрегати із двигуном внутрішнього згоряння	Спадна	Ручне дугове зварювання, зварювання під флюсом в польових умовах і на монтажі
	Зварювальні випрямлячі	Спадна	Ручне дугове зварювання, зварювання в захисних газах неплавким електродом, плазмове зварювання і різання, зварювання малоамперною дугою
		Пологоспадна, жорстка	Зварювання в захисних газах плавким електродом, зварювання під флюсом на форсованому режимі, багатопостове зварювання

лузь застосування джерел живлення постійного струму з жорсткими і пологоспадними характеристиками. Прагнення до поширення застосування таких джерел обґрунтовується їх великою перевагою електромашинобудівельного і технологічного характеру, оскільки масо-габаритні показники джерела визначаються, в першу чергу, добутком напруги неробочого ходу та струму навантаження. Крім цього, значною мірою спрощується підбір режиму зварювання. Останнім часом широке застосування отримали джерела живлення постійного і змінного струму, крутизна зовнішньої характеристики яких стабілізована від коливань напруги мережі. Також отримали застосування джерела з різними пристроями, що дозволяють керувати перенесенням електродного металу і т. п.

2. ЗВАРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

2.1. ПРИЗНАЧЕННЯ, ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ

Джерела змінного струму отримують широке застосування при ручному дуговому зварюванні і механізованому зварюванні під флюсом. Вони можуть також застосовуватися для аргано-дугового зварювання алюмінію і легких сплавів, а також електрошлакового зварювання. Основним вузлом джерела змінного струму є зварювальний трансформатор, який перетворює високу напругу електричної мережі в низьку, необхідну для зварювання. Він може застосовуватись також і самостійно у вигляді однопостового джерела живлення для зварювання, різання і наплавлення.

Перевагою зварювальних трансформаторів є низька вартість їх виготовлення порівняно із джерелами постійного струму такої ж потужності. Вони приблизно у 6 разів дешевші за зварювальні агрегати і в 2 рази – за випрямлячі, мають високий ККД (близько 0,9) і низькі питомі витрати електроенергії (близько 3 кВт на 1 кг наплавленого металу), простіші в конструкції і експлуатації. При використанні електродів, призначених для зварювання на змінному струмі, трансформатори повинні забезпечувати добре запалювання і стійке горіння дуги, оскільки низька стійкість системи «джерело живлення – дуга» є основним недоліком зварювальних трансформаторів.

2.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Залежно від конструкції і способу регулювання зварювального струму трансформатори можна поділити на три групи:

I. Трансформатори з нормальним магнітним розсіянням:

- з окремою реактивною дросельною котушкою;
- із вбудованою реактивною дросельною котушкою на загальному магнітному осердді.

II. Трансформатори з підвищеним (розвиненим) магнітним розсіянням:

- з рухомими обмотками;
- з рухомими магнітними шунтами;
- з нерухомим підмагнічувальним шунтом і обмоткою керування;
- зі складною магнітною комутацією;
- з ярмовим розсіянням.

III. Тиристорні трансформатори:

- з тиристорним регулятором у первинній обмотці;
- з тиристорним регулятором у вторинній обмотці.

2.3. ОСОБЛИВОСТІ ГОРІННЯ ДУГИ ПРИ ЖИВЛЕННІ ЇЇ ЗМІННИМ СТРУМОМ

Стійкість горіння дуги при зварюванні на змінному струмі значно гірша від стійкості дуги постійного струму. При частоті напруги мережі 50 Гц зварювальний струм 100 разів на секунду набуває значення 0, після чого дуга збуджується знову, тобто в її горінні виникають короточасні переривання. Внаслідок цього зменшується температура плазми у стовпі дуги і температура активних плям на електродах. Для підвищення стійкості необхідно скорочувати час переривань у горінні дуги при переході струму через нуль.

Розглянемо роботу зварювального трансформатора, в коло якого послідовно з дугою увімкнені активний та індуктивний опори.

При наявності в колі тільки активного опору формується спадна зовнішня характеристика і здійснюється регулювання струму навантаження. Зсування фаз між кривою струму і напруги дорівнює 0 (рис. 2.1). Збудження дуги в кожному півперіоді буде проходити при досягненні напругою рівня, який відповідає напрузі запалювання U_3 .

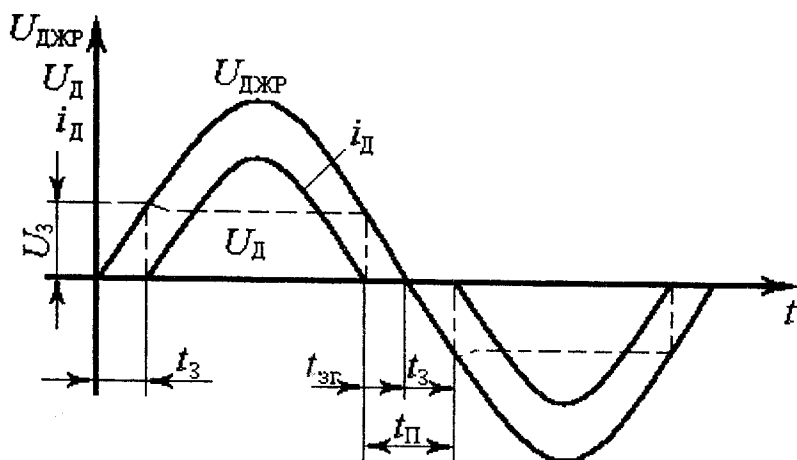


Рис. 2.1. Криві струму і напруги при увімкненні в коло змінного струму тільки активного опору

$$U_3 = U_m \sin \omega t_3, \quad (2.1)$$

де U_m – амплітудне значення напруги джерела живлення,
 ω – кутова частота, яка дорівнює $2\pi f$,
 t_3 – час повторного запалювання дуги.

З рівняння (2.1) знаходимо: $\omega t_3 = \arcsin \frac{U_3}{U_m}$. (2.2)

З (2.2):

$$t_3 = \arcsin \frac{(U_3 / U_m)}{2\pi f}$$

Згасання дуги відбуватиметься при напрузі меншій, ніж вимагається для горіння дуги, тобто:

$$U_{3г} = U_m \sin(\pi - \omega t_{3г}) = U_m \sin \omega t_{3г}, \quad (2.3)$$

де $t_{3г}$ – час згасання дуги.

З рівняння (2.3) знаходимо:

$$\omega t_{3г} = \arcsin \frac{U_{3г}}{U_m}$$

$$t_{3г} = \arcsin \frac{(U_{3г} / U_m)}{2\pi f}$$

Час перерви в горінні дуги $t_{п}$ буде дорівнювати сумі t_3 і $t_{3г}$, тобто:

$$t_{п} = \frac{\arcsin(U_3 / U_m) + \arcsin(U_{3г} / U_m)}{2\pi f}$$

При увімкненні в коло вторинної обмотки трансформатора індуктивного опору X_p між струмом і напругою джерела з'являється зсування фаз φ . Маючи значний реактивний опір, котушка індуктивності забезпечує отримання спадної вольт-амперної характеристики на посту, що дає можливість регулювання режимів зварювання і сприяє підвищенню стійкості горіння дуги змінного струму.

З кривих струму і напруги (рис. 2.2) видно, що повторне миттєве збудження зварювальної дуги можливе, якщо при переході струму через нульове значення напруга джерела живлення буде більшою або рівною напрузі запалювання U_3 , тобто:

$$U_{ДЖР} = U_m \sin \varphi \geq U_3$$

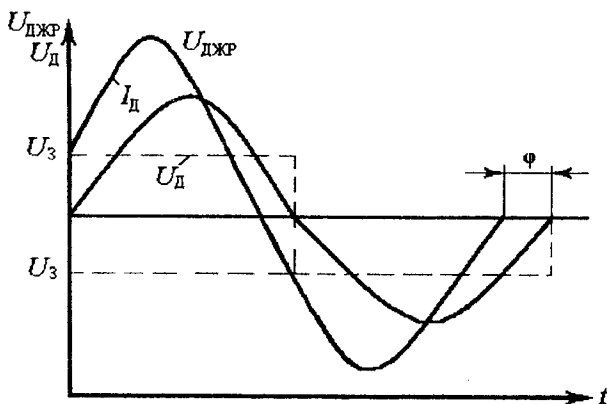


Рис. 2.2. Криві струму і напруги при увімкненні в коло змінного струму індуктивного опору

При визначеному значенні кута зсуву фаз горіння дуги під час всього півперіоду може бути безперервним, тобто $t_{\text{п}}=0$. У випадку ввімкнення у зварювальне коло індуктивності напруга трансформатора складається з падіння напруги в дузі і на індуктивності:

$$U_{\text{ДЖР}} = U_{\text{Д}} - E_{\text{Р}} = U_{\text{Д}} + U_{\text{Р}},$$

де $E_{\text{Р}}$ – ЕРС індуктивності,

$U_{\text{Р}}$ – падіння напруги на індуктивному опорі.

При навантаженні зварювальний струм $I_{\text{Д}}$ за винятком переддугового періоду практично синусоїдний, тобто:

$$I_{\text{Д}} = I_{\text{м}} \sin \omega t,$$

де $I_{\text{м}}$ – амплітудне значення струму.

З введенням індуктивності напруга трансформатора буде визначатись наступною залежністю:

$$U_{\text{ДЖР}} = U_{\text{м}} \sin(\omega t + \varphi)$$

Завдяки індуктивності в колі змінного струму спостерігається зсув за фазою між струмом і напругою. Внаслідок цього перехід кривої струму через нуль відбувається при високій напрузі трансформатора, що значно підвищує надійність повторного запалювання і стійкість горіння дуги.

Зменшити час перерви $t_{\text{п}}$, тобто підвищити стійкість горіння дуги, можна технологічними і електротехнічними методами.

Технологічні методи направлені на зниження напруги запалювання U_3 . Для цього збільшують емісійну здатність електродів, використовуючи тугоплавкі або неплавкі електроди, підвищують степінь остаточної іонізації плазми. Для збільшення степеня залишкової іонізації до складу покриття вводять легкоіонізуючі речовини, які містять K , Na , Ca . Електротехнічними методами підвищення стійкості є збільшення напруги U_m джерела живлення або напруги неробочого ходу U_{20} , оскільки $U_{20} = U_m \sqrt{2}$. Мінімальна величина U_{20} після проведення необхідних розрахунків може бути подана у вигляді наступного рівняння:

$$U_{20} > \frac{\sqrt{4U_3^2 + \pi^2 \cdot U_{II}^2}}{8}$$

Величина U_{20} джерела значною мірою залежить від напруги, необхідної для повторного збудження дуги U_3 , або піку запалювання. Навіть невеликі перерви в горінні дуги можуть призвести до різкого зростання U_3 . Особливо це проявляється в ті півперіоди, коли катод розміщується на зварюваному виробі.

Стійкість горіння дуги також підвищується і при збільшенні частоти змінного струму f . Для цього необхідно застосовувати джерела підвищеної частоти до 500 Гц і вище. Збільшення частоти пов'язане зі створенням джерел складної конструкції, що значно підвищує їх вартість. Найбільш ефективними електротехнічними методами є увімкнення послідовно з дугою індуктивності або використання імпульсного стабілізатора горіння дуги ІСГД.

Наявність індуктивного опору в колі обов'язкова для всіх джерел живлення змінного струму, причому для більшості зварювальних кіл відношення $X/R > 5$.

При увімкненні в коло зварювальної дуги стабілізуючого генератора імпульсів у момент переходу кривої зварювального струму через нуль імпульс струму розряду конденсатора подається до міжелектродного проміжку. Для надійного повторного збудження дуги необхідно виконання умови $U_c > U_3$ (U_c – напруга заряду конденсатора, U_3 – пікове значення напруги повторного збудження). Генератор стабілізуючих імпульсів підключають паралельно до вторинної обмотки трансформатора (рис. 2.3). До початку перехідного процесу відповідний конденсатор ($C1$ або $C2$) у попередній півперіод напруги

мережі заряджається. У моменти переходу струму через нуль вмикається тиристор $VS1$ ($VS2$), конденсатор $C1$ ($C2$) розряджається через міжелектродний проміжок.

При надійному повторному запалюванні генератор імпульсів має забезпечувати достатню для підтримання горіння потужність дуги до моменту, коли основне джерело живлення не створить потужності, необхідної для самостійного дугового розряду.

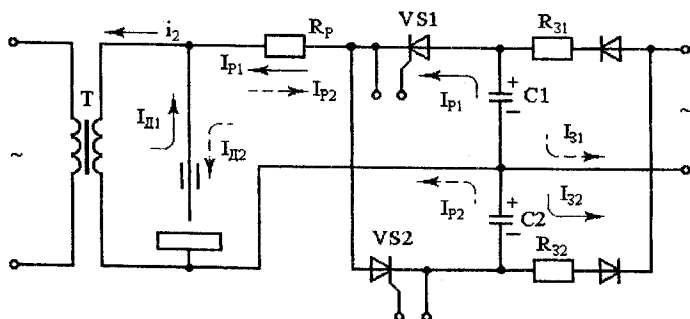


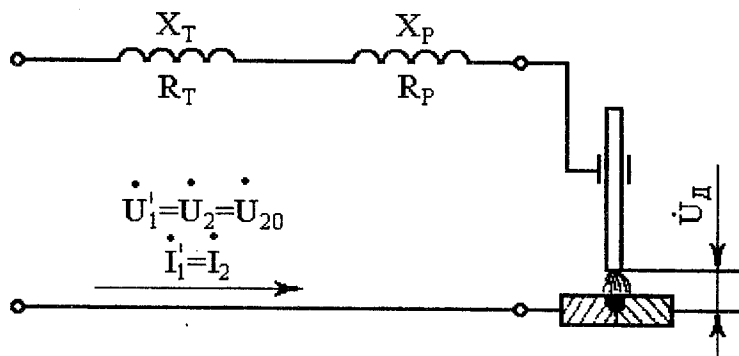
Рис. 2.3. Схема стабілізуючого генератора

2.3.1. Загальні рівняння роботи однофазних зварювальних трансформаторів

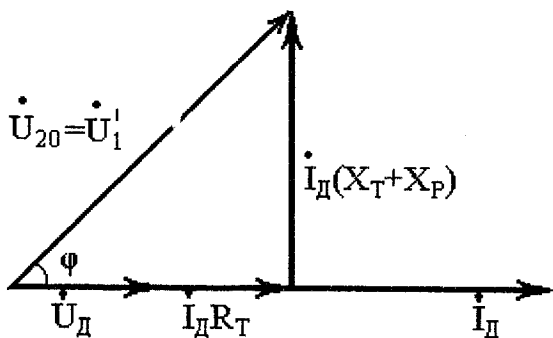
Загальні рівняння роботи трансформаторів можуть бути одержані зі спрощених еквівалентних схем заміщення, в яких магнітний зв'язок між первинною і вторинною обмотками замінюється електричним. Схема заміщення повинна бути еквівалентною трансформатору, тобто споживана і корисна потужність, її втрати, ККД і коефіцієнт потужності, які визначаються за схемою заміщення, мають дорівнювати реальним їх значенням у трансформаторі. Для виконання такої умови необхідно привести параметри однієї з обмоток до другої, вважаючи, що вони повинні мати однакову кількість витків. З метою проведення аналізу роботи трансформатора потрібно здійснити зведення первинної обмотки до вторинної або навпаки. У випадку зведення первинної обмотки до вторинної струм первинного кола I_1 множать, а напругу і ЕРС – ділять на коефіцієнт трансформації K , опір обмотки ділять на K^2 . Отже, рівняння зведення матиме такий вигляд:

$$U'_1 = U_1 / K = U_{20}, \quad I'_1 = I_1 \cdot K = I_2 = I_d, \quad X'_1 = X_1 / K^2, \quad R'_1 = R_1 / K^2$$

Схема заміщення являє собою послідовно-паралельне з'єднання активних та індуктивних опорів. На вхід схеми подається зведена напруга U_1 , а знімається U_2 , що дорівнює U_{20} . Намагнічувальний струм у трансформаторі I_0 не перевищує 10 %. Схему заміщення можна спростити і подати у вигляді послідовного з'єднання активних та індуктивних опорів, якщо величиною I_0 знехтувати (рис. 2.4). Тоді значно спрощуються рівняння напруг і ЕРС, а також їхні векторні діаграми.



- а -



- б -

Рис. 2.4. Спрощена схема заміщення трансформатора (а) і його векторна діаграма (б)

Залежність напруги дуги $U_{\text{д}}$ від струму навантаження $I_{\text{д}}$ у векторній формі буде мати вигляд:

$$\dot{U}_{\text{д}} = \dot{U}_{\text{ДЖР}} = \dot{U}_{20} - \dot{I}_{\text{д}} j \left[(X'_1 + X_2 + X_p) + (R'_1 + R_2 + R_p) \right],$$

де $U_{\text{ДЖР}}$ – напруга джерела живлення, яка складається з напруги трансформатора і дросельної катушки;

X'_1, R'_1 – зведені індуктивний і активний опори, Ом;

X_2, X_p – індуктивні опори вторинної і реактивної (дросельної) катушок, Ом;

R_2, R_p – активні опори вторинної і реактивної (дросельної) катушок, Ом.

Позначимо

$$X_T = X'_1 + X_2,$$

а

$$R_T = R'_1 + R_2,$$

де X_T, R_T – відповідно сумарний індуктивний і активний опір трансформатора. Тоді рівняння зовнішньої характеристики трансформатора набуде такого вигляду:

$$\dot{U}_{\text{д}} = \dot{U}_{\text{ДЖР}} = \dot{U}_{20} - \dot{I}_{\text{д}} j \left[(X_T + X_p) + (R_T + R_p) \right], \quad (2.4)$$

$$\dot{U}_{\text{д}} = \dot{U}_{\text{ДЖР}} = \dot{U}_{20} - \dot{I}_{\text{д}} \cdot Z_e,$$

де Z_e – це повний еквівалентний опір схеми заміщення трансформатора і зварювального кола.

Зварювальний трансформатор живить дугу, тому $I_{\text{д}} = I_2$ і $U_{\text{д}} = U_{\text{ДЖР}}$. Згідно з рівнянням (2.4) зовнішня характеристика буде спадною за рахунок падіння напруги в опорах трансформатора і зварювального кола. Еквівалентний опір Z_e в основному визначається індуктивними опорами X_p і X_T . У зварювальних трансформаторах з розвиненим розсіянням X_T великий. Тому в них відсутня реактивна (дросельна) катушка, а X_p і $R_p = 0$. Векторна діаграма для цих випадків подана на рис. 2.4. Рівняння (2.4) можна виразити в аналітичній формі:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ДЖР}} = \sqrt{U_{20}^2 - I_{\text{д}}^2 (X_T + X_p)^2 - I_{\text{д}}^2 (R_T + R_p)^2}$$

Величини R_T і R_P у трансформаторах незначні і для спрощення подальших розрахунків ними можна знехтувати. Тоді

$$U_D = U_{ДЖР} = \sqrt{U_{20}^2 - I_D^2 (X_T + X_P)^2} \quad (2.5)$$

З рівняння (2.5) можна визначити струм навантаження I_D :

$$I_D = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_D^2}}{X_T + X_P} \quad (2.6)$$

У режимі короткого замикання, коли $U_D=0$, а зварювальний струм дорівнює струму короткого замикання, тобто $I_D=I_K$. Рівняння (2.5) і (2.6) набудуть такого вигляду:

$$\begin{aligned} U_{20} &= I_K (X_T + X_P) \\ I_K &= \frac{U_{20}}{X_T + X_P} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Струм короткого замикання I_K залежить від величини напруги неробочого ходу U_{20} та індуктивних опорів трансформатора. Способи регулювання напруги і струму навантаження впливають з рівнянь (2.5), (2.6) і (2.7).

Настроювання режиму за струмом можна здійснювати шляхом зміни U_{20} , X_T і X_P . Змінювання U_{20} відбувається за рахунок зміни кількості витків первинної або вторинної обмоток трансформатора. Але зменшення струму навантаження супроводжується зниженням напруги неробочого ходу, що може негативно відобразитися на збудженні і стійкості зварювальної дуги. При більших значеннях струму U_{20} може бути високою і недопустимою за умовами охорони праці. Крім цього, регулювання U_{20} зміною числа витків обмоток не можна проводити під навантаженням. Плавне регулювання режимів зварювання проводиться шляхом зміни X_T і X_P , причому у трансформаторах з нормальним розсіянням – за рахунок зміни X_P у дросельній котушці, а у трансформаторах з підвищеним магнітним розсіянням – за рахунок зміни X_T . Такими способами регулюють струм при ручному дуговому зварюванні, а при автоматичному – регуляторами напруги дуги. При автоматичному зварюванні на автоматах з незалежною швидкістю подачі електродного дроту розглянуті методи регулювання застосовуються для настроювання напруги. З рівняння (2.5) видно, що при заданій величині струму I_D зміна U_{20} , X_T або X_P викличе зміну напруги U_D .

2.4. ЗВАРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ З НОРМАЛЬНИМ МАГНІТНИМ РОЗСІЯННЯМ

Трансформатори цієї групи в теперішній час не випускаються, однак значна кількість їх ще є в експлуатації. Найбільш поширеним є трансформатор із вбудованою реактивною (дросельною) котушкою на загальному магнітному осердді. Його спрощену принципову електричну схему подано на рис. 2.5. Магнітна система складається із двох зв'язаних загальним середнім ярмом осердь – основного і допоміжного.

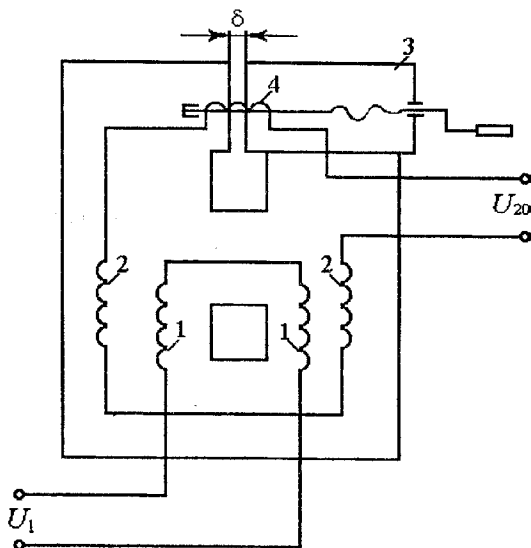


Рис. 2.5. Електромагнітна схема трансформатора з нормальним розсіянням із вбудованою реактивною котушкою

На основному осердді розміщені первинна-1 і вторинна-2 обмотки, а на додатковому з рухомим пакетом-3 – реактивна котушка-4, що послідовно з'єднана з вторинною обмоткою трансформатора. Кількість витків вторинної обмотки значно менша, ніж у первинній, тобто трансформатор знижує напругу мережі до рівня необхідного при зварюванні. Магнітний зв'язок між первинною і вторинною обмотками максимальний, тобто коефіцієнт магнітного зв'язку K_{μ} близь-

кий до одиниці. Для зменшення розсіяння котушки вторинної обмотки розміщують концентрично поверх котушок первинної обмотки. Магнітний зв'язок між обмотками трансформатора і реактивною обмоткою значно слабший, оскільки остання розміщена на додатковому осердді.

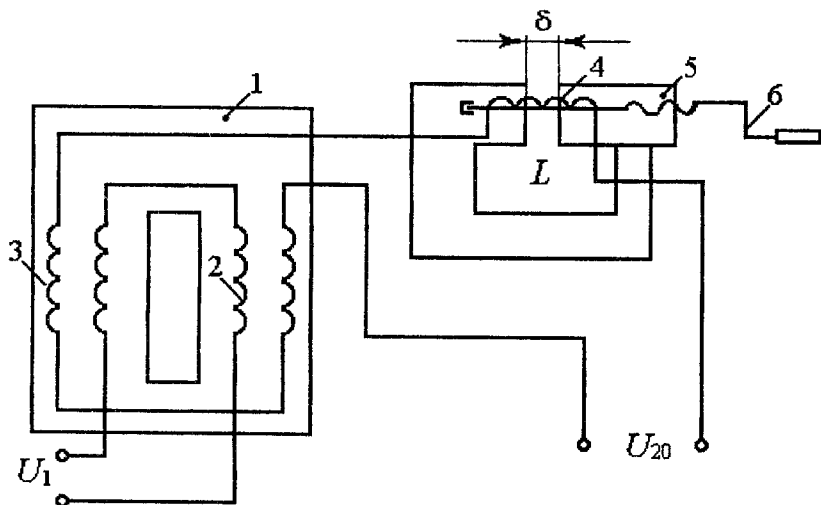


Рис. 2.6. Електромагнітна схема трансформатора з нормальним розсіянням з окремою реактивною котушкою (дроселем)

Трансформатори з окремою реактивною обмоткою мають двокорпусне виконання: власне трансформатор з магнітопроводом стрижневого типу-1 і реактивна обмотка – дросель-4, між яким існує тільки електричний зв'язок (рис. 2.6). На кожному стрижні розміщена котушка первинної обмотки-2, а поверх її котушка вторинної обмотки-3, відповідно індуктивний опір трансформатора незначний, і його зовнішні характеристики жорсткі. Дросельна обмотка має великий індуктивний опір, що сприяє отриманню спадної зовнішньої характеристики на зварювальному посту. Так само, як і в трансформаторах із вбудованою реактивною обмоткою на загальному магнітному осердді, у дроселі трансформатора двокорпусного виконання є рухомий пакет-5, який з допомогою приводу-6 може переміщуватись і змінювати повітряний проміжок « δ ». Зі зміною величини « δ » у магнітному колі відбувається зміна його індуктивного опору і, отже, зварювального струму. Недоліком трансформаторів з дроселями, які

мають рухомі магнітні пакети, є велика їхня вібрація при роботі в режимі навантаження. Це порушує стабільність режиму зварювання і робить трансформатори ненадійними в експлуатації. У трансформаторах з окремою реактивною котушкою замість дросельної обмотки можна застосовувати дросель насичення (ДН). Він не має рухомих частин, більш надійний у роботі і довговічніший, може мати дистанційне керування. Крім того, дросель насичення забезпечує велику швидкість наростання струму на початку кожного періоду, що сприяє покращенню стійкості процесу зварювання. До недоліків дроселя можна віднести велику вагу активних матеріалів і значні витрати електроенергії.

Дросель насичення має дві силові котушки змінного струму-1, увімкнених послідовно з вторинною обмоткою трансформатора, і одну обмотку керування ОК-2, яка живиться постійним струмом (рис. 2.7).

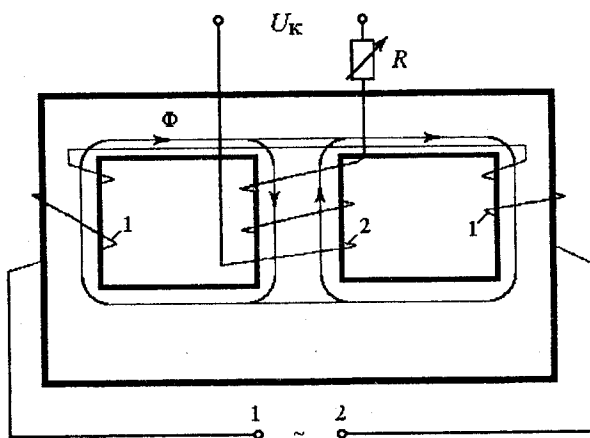


Рис. 2.7. Електромагнітна схема однофазного дроселя насичення

Індуктивний опір ДН і, відповідно, зварювальний струм можна грубо регулювати зміною числа витків силової обмотки і плавно – за рахунок зміни струму намагнічування в обмотці керування. Робота дроселя насичення побудована на збільшенні магнітного опору R_{μ} в умовах насичення і перенасичення заліза осердя дроселя. Котушки робочих обмоток змінного струму включені так, щоб магнітні потоки, які створюються цими обмотками у середньому стрижні магніто-

проводу, компенсувалися. Завдяки такому увімкненню результуюча ЕРС в обмотці керування ОК, яка розміщена на середньому стрижні, дорівнює нулю. При подачі постійного струму на ОК створюється додаткове магнітне поле, яке збільшує індукцію і насичення осердя ДН. Це призводить до зменшення магнітної проникності заліза магнітопроводу, збільшення магнітного опору і зменшення індуктивного опору $X_{дн}$ дроселя. Раніше протягом тривалого часу випускалися трансформатори типу СТЕ-34, які в комплекті з дросельною котушкою застосовувалися для ручного дугового зварювання, а в комплекті з дроселем насичення входили до складу пристроїв типу УДАР, призначених для аргоно-дугового зварювання неплавким електродом алюмінію і легких сплавів.

2.4.1. Робота трансформатора

Аналіз роботи трансформатора з нормальним магнітним розсіянням у різних режимах проведемо на прикладі трансформатора із вбудованою (суміщеною) реактивною котушкою на загальному магнітному осерді.

Неробочий хід

На рис. 2.8 наведено розподіл магнітних потоків по магнітопроводу при роботі трансформатора в даному режимі.

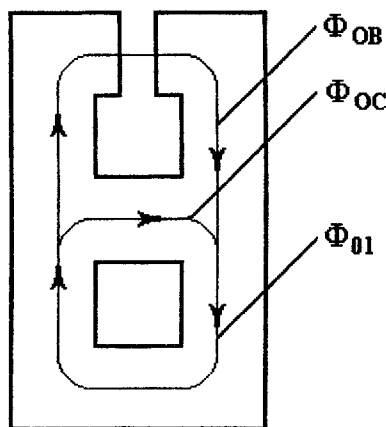


Рис. 2.8. Схема розподілу магнітних потоків у магнітопроводі трансформатора в режимі неробочого ходу

Потік Φ_{01} , який створюється намагнічувальною силою первинної обмотки, замикається в основному через середнє ярмо у вигляді потоку Φ_{0C} і частково через верхнє ярмо у вигляді Φ_{0B} . Потік Φ_{01} взаємодіє з витками первинної W_1 і вторинної W_2 обмоток, створює в них ЕРС E_1 і E_{20} . ЕРС E_1 виражається рівнянням (2.8) і зрівноважується прикладеною напругою мережі U_1 .

$$E_1 = 4,44fW_1\Phi_{01} = U_1 \quad (2.8)$$

$$E_{20} = 4,44fW_2\Phi_{01}$$

У свою чергу магнітний потік Φ_{0B} у витках реактивної котушки W_p створює ЕРС E_{p0} , яка виражається таким рівнянням:

$$E_{p0} = 4,44fW_p\Phi_{0B}$$

$$\text{або } E_{p0} = 4,44fW_p\Phi_{01}K_{\mu 1-p}, \quad (2.9)$$

де $K_{\mu 1-p}$ – коефіцієнт магнітного зв'язку первинної обмотки з реактивною, який визначається за наступною залежністю:

$$K_{\mu 1-p} = \frac{\Phi_{0B}}{\Phi_{01}}, \quad (2.10)$$

ЕРС реактивної котушки залежно від способу увімкнення її з вторинною обмоткою може складатися з E_{20} чи відніматись від неї, тобто:

$$E_2 = E_{20} \pm E_{p0} = U_{20}$$

$$\text{або } E_2 = 4,44f\Phi_{01}(W_2 \pm W_p K_{\mu 1-p}) \quad (2.11)$$

Якщо поділити вирази (2.8) на (2.11), то отримаємо залежність (2.12), тобто:

$$U_{20} = U_1 \frac{W_2 \pm W_p K_{\mu 1-p}}{W_1} \quad (2.12)$$

Напруга неробочого ходу трансформатора залежить від способу увімкнення вторинної й реактивної обмоток («–» – зустрічне, «+» – узгоджене), а також від величини коефіцієнту магнітного зв'язку. Найменше значення U_{20} може бути досягнене при зустрічному ввімкненні W_2 і W_p і при максимальному повітряному проміжку у верхньому ярмі магнітопроводу.

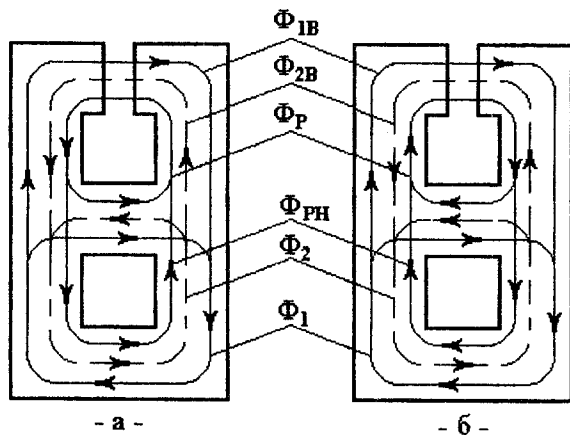


Рис. 2.9. Схема розподілу магнітних потоків у магнітопроводі трансформатора в режимі навантаження при узгодженому (а) й зустрічному увімкненні вторинної і реактивної котушок

НАВАНТАЖЕННЯ

Розподіл магнітних потоків при навантаженні наведено на рис. 2.9. У режимі навантаження намагнічувальні сили первинної і вторинної обмоток утворюють у трансформаторі сумарний потік $\dot{\Phi}_T$, який дорівнює:

$$\dot{\Phi}_T = \dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_2$$

Основна частина потоку $\dot{\Phi}_T$ замикається через середнє ядро магнітопроводу, і тільки невелика його частина відводиться у верхнє ядро. Намагнічувальна сила реактивної котушки створює магнітний потік $\dot{\Phi}_P$, більша частина якого замикається також через середнє ядро. Незначна частина у вигляді потоку $\dot{\Phi}_{PH}$ відхиляється в нижнє ядро.

Сумарний магнітний потік у нижньому ядрі дорівнює:

$$\dot{\Phi}_H = \dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_{PH} = \dot{\Phi}_T + \dot{\Phi}_{PH}, \quad (2.13)$$

$$\text{або } \dot{\Phi}_H = \dot{\Phi}_T + \dot{\Phi}_P K_{\mu P-T},$$

де $K_{\mu P-T}$ – коефіцієнт магнітного зв'язку реактивної котушки із трансформатором.

$$K_{\mu P-T} = \frac{\Phi_{PH}}{\Phi_P}$$

При узгодженому увімкненні обмоток W_2 і W_P потоки Φ_2 і Φ_{PH}^* перебувають у фазі й направлені зустрічно до потоку Φ_1 (рис. 2.9а). У цьому випадку Φ_{PH} послаблює Φ_1 і при незмінній напрузі U_1 , $\dot{\Phi}_H \approx \dot{\Phi}_T \approx \dot{\Phi}_{01} \approx const$ з мережі споживається велика потужність порівняно із зустрічним увімкненням W_2 і W_P (рис. 2.9б). Увімкнення обмоток відбувається, виходячи з умов зварювання. Застосування узгодженого увімкнення доцільне при зварюванні на малих струмах, коли спостерігається недостатня стійкість горіння дуги. При зварюванні на великих струмах краще застосовувати зустрічне увімкнення обмоток, оскільки тоді знижуються масо-габаритні показники трансформатора за рахунок зменшення перетину середнього ярма.

Потік трансформатора Φ_T у витках обмотки W_1 ЕРС E_1 , яка урівноважується прикладеною напругою U_1 .

$$E_1 = 4,44fW_1\Phi_T = U_1 \quad (2.14)$$

У витках вторинної обмотки W_2 потік Φ_T утворює основну ЕРС E_{20} , яка дорівнює:

$$E_{20} = 4,44fW_2\Phi_T \quad (2.15)$$

Сумарний магнітний потік у верхньому ярмі:

$$\dot{\Phi}_B = \dot{\Phi}_{1B} + \dot{\Phi}_{2B} + \dot{\Phi}_P = \dot{\Phi}_{TB} + \dot{\Phi}_P = \dot{\Phi}_P + \dot{\Phi}_T K_{\mu T-P} \quad (2.16)$$

де $K_{\mu T-P}$ – коефіцієнт магнітного зв'язку трансформатора з реактивною котушкою у верхньому ярмі.

$$K_{\mu T-P} = \frac{\Phi_{TB}}{\Phi_T}$$

Потік Φ_P утворює у витках обмотки W_P реактивну ЕРС, потік Φ_{TB} у витках W_P – основну ЕРС E_{P0} .

$$E_P = 4,44fW_P\Phi_P \quad (2.17)$$

$$E_{P0} = 4,44fW_P\Phi_{TB} = 4,44fW_P\Phi_T K_{\mu T-P} \quad (2.18)$$

Тоді сумарна основна ЕРС трансформатора буде рівна:

$$\dot{E}_{20CH} = \dot{E}_{20} \pm \dot{E}_{P0} = \dot{U}_{20}$$

При навантаженні E_{20CH} зрівноважується падінням напруги на дузі U_D і в обмотці реактивної котушки E_P , яка в свою чергу рівна $I_D X_P$ тобто:

$$\dot{E}_{20CH} = \dot{U}_D + \dot{E}_P = \dot{U}_D + \dot{I}_D X_P = \dot{U}_{20}$$

Користуючись векторною діаграмою (рис. 2.4б) і рівняннями (2.5) і (2.6), значення струму і напруги дуги можна виразити у такій аналітичній формі:

$$\begin{aligned} U_D &= \sqrt{U_{20}^2 - I_D^2 X_P^2} \\ I_D &= \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_D^2}}{X_P} \end{aligned} \quad (2.19)$$

КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ

При замиканні електрода на виробі $U_{ДЖР} = U_D = 0$, тому струм короткого замикання I_K дорівнює:

$$I_K = \frac{U_{20}}{X_P}$$

Спадна вольт-амперна характеристика у трансформаторі з нормальним розсіянням створюється за рахунок увімкнення в коло його вторинної обмотки дросельної котушки (реактивної обмотки) з великим індуктивним опором. Крутизна спадання ВАХ визначається також величиною X_P .

У трансформаторах з окремою реактивною обмоткою дросельна котушка має з трансформатором тільки електричний зв'язок, і тому коефіцієнт магнітного зв'язку трансформатора з реактивною котушкою дорівнює нулю. При аналізі роботи такого трансформатора можуть бути використані рівняння роботи трансформаторів із вбудованою реактивною котушкою на загальному магнітному осерді. Для цього в рівняннях, які характеризують режим роботи на неробочому ході (2.9)–(2.12) і при навантаженні (2.13)–(2.18), коефіцієнти магнітного зв'язку $K_{\mu 1-P}$ і $K_{\mu T-P}$ потрібно прирівняти до нуля.

РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ В ТРАНСФОРМАТОРАХ З НОРМАЛЬНИМ РОЗСІЯННЯМ

Для визначення величини індуктивного опору дросельної котушки X_p розглянемо електричні процеси, які відбуваються у ній при навантаженні. При проходженні струму I_d по обмотці дроселя в його магнітопроводі створюється потік Φ_p , рівний:

$$\Phi_p = \frac{\sqrt{2} I_d W_p}{R_{\mu p}}$$

Магнітний опір $R_{\mu p}$ на шляху проходження потоку Φ_p складається з опору заліза $R_{\mu z}$ і опору повітряного проміжку $R_{\mu \Pi}$. Величина $R_{\mu z}$ незначна у порівнянні з $R_{\mu \Pi}$, і тому для спрощення виразу (2.20) приймемо її рівною нулю, тобто:

$$R_{\mu p} = R_{\mu z} + R_{\mu \Pi} = \frac{\delta_{\Pi}}{\mu_{\Pi} S_{\Pi}} \quad (2.20)$$

де δ_{Π} – величина повітряного проміжку, мм;

μ_{Π} – магнітна проникність повітря;

S_{Π} – площа поперечного перерізу потоку Φ_p у повітряному проміжку, мм²;

Магнітний потік Φ_p індуктує у дросельній обмотці ЕРС E_p .

$$E_p = 4,44 f W_p \Phi_p = 4,44 f W_p \frac{\sqrt{2} I_d W_p}{R_{\mu p}} = \frac{6,28 f W_p^2}{R_{\mu p}} I_d = \frac{\omega \cdot W_p^2}{R_{\mu p}} I_d \quad (2.21)$$

У свою чергу:

$$E_p = I_d X_p \quad (2.22)$$

З порівняння рівнянь (2.21) і (2.22) можна знайти величину індуктивного опору дросельної котушки:

$$X_p = \frac{\omega \cdot W_p^2}{R_{\mu p}}$$

Основний спосіб регулювання зварювального струму здійснюється – за рахунок зміни індуктивного опору X_p шляхом регулювання величини повітряного проміжку в магнітному колі дроселя. При збільшенні δ_{Π} магнітний опір $R_{\mu p}$ і струм зварювальної дуги зростають, а індуктивний опір X_p спадає, тобто:

$$\delta_{\Pi} \uparrow \Rightarrow R_{\mu P} \uparrow \Rightarrow X_P \downarrow \Rightarrow I_D \uparrow$$

Виходячи з аналізу електричних процесів, можна пояснити, що зі збільшенням величини δ_{Π} магнітний опір $R_{\mu P}$ на шляху потоку Φ_P дросельної котушки збільшується, що призводить до зменшення Φ_P . Проте ЕРС E_P , що утворюється в обмотці, також зменшується, і, отже, зменшуються втрати напруги у зварювальному колі. Тому напруга трансформатора U_D зростає, а зварювальний струм I_D збільшується.

$$\delta_{\Pi} \uparrow \Rightarrow R_{\mu P} \uparrow \Rightarrow \Phi_P \downarrow \Rightarrow E_P \downarrow \Rightarrow U_D \uparrow \Rightarrow I_D \uparrow$$

У трансформаторах з нормальним розсіянням також є ступінчасте (виткове) регулювання режиму за рахунок зміни числа витків первинної W_1 або вторинної W_2 обмоток. Якщо збільшувати W_2 , то напруга неробочого ходу U_{20} зростає (2.12), а струм навантаження I_D , виходячи з (2.19), також зростає. При збільшенні W_1 величина I_D , відповідно, спадає. Ступінчасте регулювання зварювального струму приводить до зміни U_{20} . Оскільки діапазон регулювання напруги неробочого ходу обмежений, виткове регулювання режимів зварювання застосовується зрідка. Ще рідше використовується виткове регулювання у дросельній котушці.

2.4.2. Конструкція трансформаторів з нормальним розсіянням

Найбільш поширеними трансформаторами були трансформатори із вбудованою дросельною котушкою на загальному магнітному осерді в однокорпусному виконанні типу СТН-500, СТН-700 призначені для ручного дугового зварювання і різання, а також ТСД-1000, ТСД-2000 – для автоматичного зварювання під флюсом. Трансформатори типу ТСД мали механізований привід рухомого пакета і дистанційне керування. У двокорпусному виконанні випускались трансформатори типу СТЕ-34 з окремим дроселем типу РСТЕ. Вони мали деяку перевитрату активних матеріалів, дещо погіршені зварювальні властивості у порівнянні з трансформаторами із підвищеним магнітним розсіянням.

2.5. ЗВАРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ З ПІДВИЩЕНИМ МАГНІТНИМ РОЗСІЯННЯМ

2.5.1. Робота трансформатора в усталених режимах. Неробочий хід

У режимі неробочого ходу зварювальний струм $I_D=0$. При проходженні струму I_1 первинною обмоткою з числом витків W_1 створюються намагнічувальні сили $I_1 W_1$, які й формують магнітний потік Φ_{01} . Його основна частина замикається на магнітопроводі, взаємодіючи з обмотками первинної W_1 і вторинної W_2 котушок (рис. 2.10).

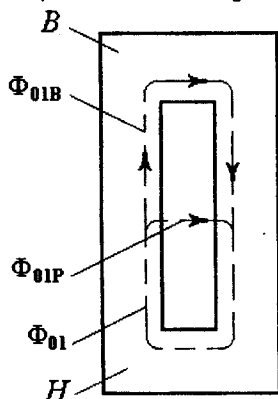


Рис. 2.10. Схема розподілу магнітних потоків у магнітопроводі трансформатора в режимі неробочого ходу

Незначна частина потоку Φ_{01} замикається по повітрі, створюючи потік розсіяння Φ_{01P} . Магнітний потік Φ_{01} у витках первинної обмотки утворює ЕРС E_1 , яка зрівноважується прикладеною напругою U_1 :

$$E_1 = 4,44 f W_1 \Phi_{01} = U_1 \quad (2.23)$$

Частина потоку Φ_{01} у верхній частині магнітопроводу у вигляді потоку Φ_{01B} у витках вторинної обмотки утворює ЕРС E_{20} , яка дорівнює напрузі неробочого ходу:

$$E_{20} = 4,44 f W_2 \Phi_{01B} = U_{20} \quad (2.24)$$

Потік Φ_{01B} можна виразити через коефіцієнт магнітного зв'язку первинної обмотки із вторинною $K_{\mu 1-2}$,

$$K_{\mu 1-2} = \frac{\Phi_{01B}}{\Phi_{01}}, \text{ тоді } \Phi_{01B} = \Phi_{01} K_{\mu 1-2}$$

Величина ЕРС E_{20} з урахуванням коефіцієнта магнітного зв'язку становитиме:

$$E_{20} = 4,44 f W_2 \Phi_{01} K_{\mu 1-2} = U_{20}$$

З рівнянь (2.23) і (2.24), які визначають значення E_1 і E_2 , можна одержати величину напруги неробочого ходу трансформатора.

$$U_{20} = U_1 \frac{W_2}{W_1} K_{\mu 1-2}$$

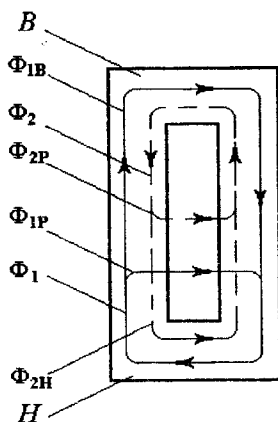
НАВАНТАЖЕННЯ

При навантаженні струм протікає первинною і вторинною обмотками, створюючи в них намагнічувальні сили, які, в свою чергу, утворюють у магнітопроводі основні потоки Φ_1 і Φ_2 . Частина цих потоків розсіюється, утворюючи потоки Φ_{1P} і Φ_{2P} (рис. 2.11).

Для зручності аналізу роботи трансформатора в режимі навантаження розглянемо сумарну дію магнітних потоків спочатку у нижній, а потім у верхній частині магнітопроводу.

У нижній «Н» частині утворюється сумарний магнітний потік Φ_H :

$$\dot{\Phi}_H = \dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_{2H} \quad (2.25)$$



► Рис. 2.11. Схема розподілу магнітних потоків у магнітопроводі трансформатора в режимі навантаження

При незмінній первинній напрузі U_1 потік Φ_H залишається практично постійним, оскільки будь-яка зміна Φ_{2H} веде за собою зміну Φ_1 , пропорційну коефіцієнту трансформації. Будь-яка зміна Φ_H приводить до зниження чи збільшення струму в первинній обмотці. Завдяки цьому Φ_H відновлюється. Отже, за своїм значенням потік Φ_H приблизно дорівнює магнітному потоку неробочого ходу Φ_{01} , тобто:

$$\Phi_H \approx \Phi_{01} \approx \text{const}$$

ЕРС, яка утворюється потоком Φ_H у первинній обмотці трансформатора, дорівнює:

$$E_1 = 4,44fW_1\Phi_H$$

У верхній частині магнітопроводу – «В» утворюється сумарний магнітний потік Φ_B :

$$\dot{\Phi}_B = \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_{1B} = \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_1 K_{\mu 1-2} \quad (2.26)$$

де $K_{\mu 1-2}$ — коефіцієнт магнітного зв'язку первинної обмотки із вторинною, який утворюється з виразу:

$$K_{\mu 1-2} = \frac{\Phi_{1B}}{\Phi_1}$$

З рівняння (2.25) знайдемо Φ_1 :

$$\dot{\Phi}_1 = \dot{\Phi}_H - \dot{\Phi}_{2H} = \dot{\Phi}_H - \dot{\Phi}_2 K_{\mu 2-1}$$

де $K_{\mu 2-1}$ — коефіцієнт магнітного зв'язку вторинної обмотки з первинною, який утворюється з виразу:

$$K_{\mu 2-1} = \frac{\Phi_{2H}}{\Phi_2}$$

Підставивши значення Φ_1 у рівняння, (2.26), одержимо:

$$\dot{\Phi}_B = \dot{\Phi}_2 + (\dot{\Phi}_H - \dot{\Phi}_2 K_{\mu 2-1}) K_{\mu 1-2}$$

Величина $K_{\mu 1-2}$ і $K_{\mu 2-1}$ одна від одної відрізняються несуттєво, і тому будемо вважати їх рівними K_μ . Тоді:

$$\dot{\Phi}_B = \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_H K_\mu - \dot{\Phi}_2 K_\mu^2 = \dot{\Phi}_2 (1 - K_\mu^2) + \dot{\Phi}_H \cdot K_\mu \quad (2.27)$$

$$\dot{\Phi}_H \cdot K_\mu = \Phi_{01B}$$

Величина $1 - K_\mu^2 = \sigma$ — коефіцієнт розсіяння. Тоді рівняння (2.27) набуде вигляду:

$$\dot{\Phi}_B = \dot{\Phi}_2 \sigma + \dot{\Phi}_{01B}$$

Позначимо $\Phi_2 \sigma = \Phi_p$, де Φ_p – сумарний магнітний потік розсіяння у трансформаторі. Тоді

$$\dot{\Phi}_B = \dot{\Phi}_p + \dot{\Phi}_{01B}$$

Потік Φ_{01B} утворює у вторинній обмотці трансформатора основну ЕРС E_{20CH} :

$$E_{20CH} = 4,44fW_2 \Phi_{01B} = U_{20}$$

Потік розсіяння Φ_p утворює у вторинній обмотці реактивну ЕРС E_{2P} :

$$E_{2P} = 4,44fW_p \Phi_p$$

При навантаженні ЕРС трансформатора E_{20CH} зрівноважується спадом напруги на дузі і реактивною ЕРС, тобто:

$$\dot{E}_{20CH} = \dot{U}_D + \dot{E}_{2P} = \dot{U}_D + \dot{I}_D X_T, \text{ оскільки } E_{2P} = I_D X_T,$$

де X_T – індуктивний опір трансформатора.

Визначимо значення напруги і струму в аналітичній формі:

$$U_D = \sqrt{U_{20}^2 - I_D^2 X_T^2}$$

$$I_D = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_D^2}}{X_T} \quad (2.28)$$

КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ

При роботі в режимі короткого замикання $U_D = 0$. Тоді вираз (2.28) набуде вигляду:

$$I_K = \frac{U_{20}}{X_T}$$

Трансформатори з підвищеним магнітним розсіянням мають спадну зовнішню характеристику, крутизна якої визначається величиною X_T . Зміною X_T можна проводити і плавне регулювання зварювального струму.

Аналіз роботи трансформатора з підвищеним магнітним розсіянням можна також провести на прикладі трансформатора з рухомими котушками (рис. 2.12).

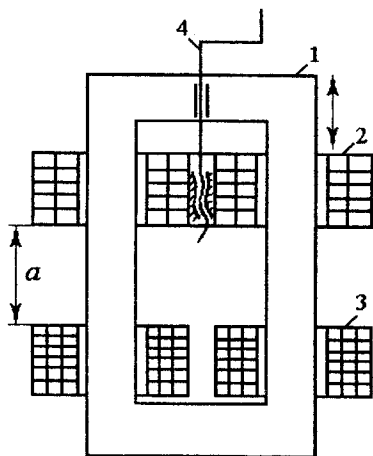


Рис. 2.12. Конструкція трансформатора з рухомими котушками

Магнітопровід трансформатора стрижневого типу-1, на якому розміщені первинна-2 і вторинна-3 обмотки, рознесені одна відносно одної на певну відстань. При проходженні струму по обмоткам створюються магнітні потоки, основна частина яких замикається на магнітопроводі, створюючи потік трансформатора Φ_T . Друга частина магнітних потоків замикається на повітрі, створюючи потоки розсіяння первинної Φ_{1P} і вторинної Φ_{2P} обмоток.

Потоки розсіяння утворюють у трансформаторі реактивну ЕРС, яка і визначає його індуктивний опір X_T . Відстань між котушками обмоток «а» може змінюватися, відповідно змінюються величина X_T і зварювальний струм. Це плавне регулювання режиму зварювання. Рухома обмотка (в одних випадках первинна, в інших – вторинна) переміщується з допомогою приводу переміщення обмоток – ходового гвинта-4. Ступінчасте регулювання струму виконується зміною з'єднання котушок кожної обмотки між собою з послідовного на паралельне і навпаки.

РОБОТА ТРАНСФОРМАТОРА

Для зручності проведення аналізу роботи в режимах неробочого ходу, навантаження і короткого замикання доцільно конструкцію трансформатора спростити, залишивши на стрижні магнітопроводу тільки по одній котушці первинної і вторинної обмоток (рис. 2.13).

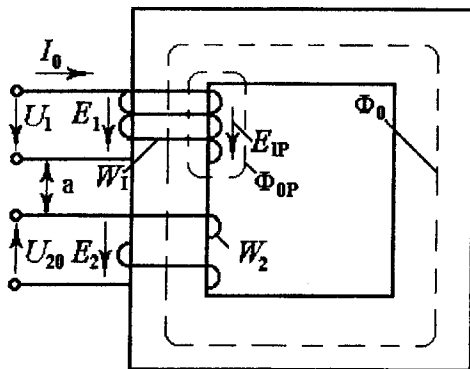


Рис. 2.13. Схема розподілу магнітних потоків у магнітопроводі трансформатора з рухомими котушками в режимі неробочого ходу

НЕРОБОЧИЙ ХІД

При подачі напруги U_1 на первинну обмотку з числом витків W_1 по ній проходить струм неробочого ходу I_0 . Намагнічувальна сила $I_0 W_1$ створює повний магнітний потік неробочого ходу $\Phi_{0П}$, який виражається наступною залежністю:

$$\Phi_{0П} = \frac{\sqrt{2} I_0 W_1}{R_\mu},$$

де R_μ – магнітний опір на шляху проходження потоку $\Phi_{0П}$.

Основна частина потоку $\Phi_{0П}$ у вигляді потоку Φ_0 замикається на магнітопроводі. Менша частина його у вигляді потоку розсіяння $\Phi_{0Р}$ замикається на повітрі і частково на магнітопроводі навколо первинної обмотки, тобто:

$$\dot{\Phi}_{0П} = \dot{\Phi}_0 + \dot{\Phi}_{0Р}$$

Магнітний зв'язок між первинною і вторинною обмотками виражається величиною коефіцієнту магнітного зв'язку K_μ , що показує, яка частина потоку неробочого ходу, створена первинною обмоткою, пронизує вторинну.

$$K_\mu = \frac{\Phi_0}{\Phi_{0П}},$$

Тоді $\Phi_0 = \Phi_{0П} K_\mu$, а $\Phi_{0Р} = \Phi_{0П} (1 - K_\mu)$.

Основна частина потоку Φ_0 створює у первинній обмотці основну ЕРС E_1 , а потік розсіяння Φ_{0P} – ЕРС розсіяння E_{1P} . У вторинній обмотці з числом витків W_2 ЕРС E_{20} утворюється тільки основною частиною потоку Φ_0 .

$$E_1 = 4,44fW_1\Phi_0; E_{1P} = 4,44fW_1\Phi_{0P}; E_{20} = 4,44fW_2\Phi_0$$

Баланс напруг і ЕРС для первинної обмотки матиме такий вигляд:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_{1P} + \dot{I}_0 R_1 = 4,44fW_1(\dot{\Phi}_0 + \dot{\Phi}_{0P}) = 4,44fW_1\dot{\Phi}_{0П} \quad (2.29)$$

З рівняння (2.29) видно, що первинна напруга U_1 складається з ЕРС E_1 і E_{1P} . Незначна частина спаду напруги припадає також на активний опір R_1 первинної обмотки і нею можна знехтувати. У вторинній обмотці струм навантаження $I_2 = I_D = 0$. Тому створена ЕРС E_{20} зрівноважується напругою неробочого ходу U_{20} , яка виникає на клеммах вторинної обмотки трансформатора, тобто:

$$U_{20} = E_{20} = 4,44fW_2\Phi_0 = 4,44fW_2\Phi_{0П} K_\mu \quad (2.30)$$

При діленні виразу (2.29) на (2.30) можна вивести рівняння для визначення напруги неробочого ходу:

$$U_{20} = \frac{W_2 K_\mu}{W_1} \cdot U_1$$

Напруга неробочого ходу регулюється за рахунок зміни числа витків первинної W_1 або вторинної W_2 обмоток трансформатора. Крім того, регулювати U_{20} в межах 3–5 В можна шляхом зміни величини коефіцієнта магнітного зв'язку K_μ , яка залежить від відстані між обмотками.

НАВАНТАЖЕННЯ

У режимі навантаження вторинною обмоткою протікає зварювальний струм I_2 . У первинній обмотці утворюється повний магнітний потік $\Phi_{1П}$, основна частина якого у вигляді потоку Φ_1 замикається на магнітопроводі, а остання частина у вигляді потоку розсіяння Φ_{1P} – на повітрі (рис. 2.14).

$$\Phi_{1П} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_1 W_1}{R_\mu}$$

Намагнічувальні сили вторинної обмотки створюють повний магнітний потік $\Phi_{2П}$, який складається з основного потоку Φ_2 , що замикається на магнітопроводі, і потоку розсіювання Φ_{2P} , який замикається на повітрі.

$$\Phi_{2П} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_2 W_2}{R_\mu}$$

$$\dot{\Phi}_{1П} = \dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_{1P}; \dot{\Phi}_1 = \dot{\Phi}_{1П} K_\mu; \dot{\Phi}_{1P} = \dot{\Phi}_{1П} (1 - K_\mu) \quad (2.31)$$

$$\dot{\Phi}_{2П} = \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_{2P}; \dot{\Phi}_2 = \dot{\Phi}_{2П} K_\mu; \dot{\Phi}_{2P} = \dot{\Phi}_{2П} (1 - K_\mu) \quad (2.32)$$

Основний потік трансформатора Φ_T , що цілком замикається на магнітопроводі, умовно вважають рівним сумі основних потоків Φ_1 і Φ_2 , тобто $\dot{\Phi}_T = \dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_2$.

Однак реальна картина розподілу магнітних потоків, яка подана на рис. 2.14б, показує, що фази потоків $\Phi_{1П}$ і $\Phi_{2П}$ зсунуті одна відносно одної на 180° , і їх основні потоки Φ_1 і Φ_2 направлені зустрічно. Потоки розсіювання Φ_{1P} і Φ_{2P} на їхньому шляху у магнітопроводі направлені однаково з відповідними основними потоками.

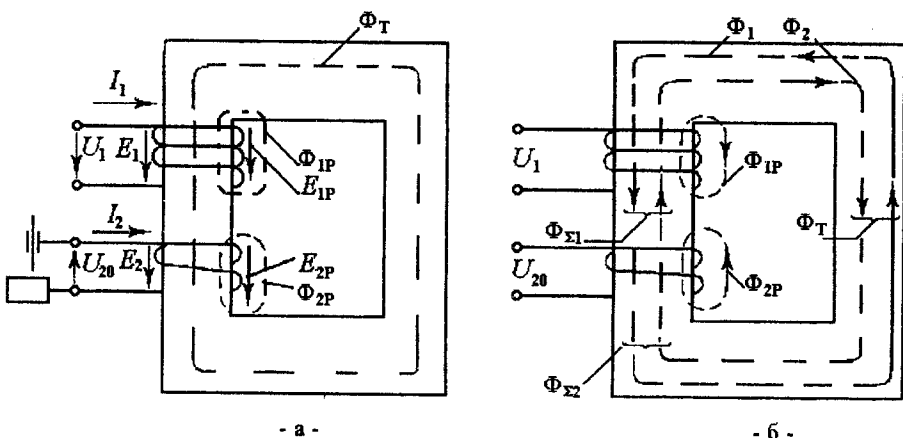


Рис. 2.14. Схема розподілу магнітних потоків у магнітопроводі трансформатора з рухомими котушками в режимі навантаження

Результуючий магнітний потік $\Phi_{\Sigma 1}$, що пронизує первинну обмотку (не плутати з повним потоком, який створює первинна обмотка), приблизно дорівнює повному потоку неробочого ходу $\Phi_{0П}$, тобто:

$$\dot{\Phi}_{\Sigma 1} = \dot{\Phi}_1 - \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_{1P} \approx \dot{\Phi}_{0П} \quad (2.33)$$

де $\dot{\Phi}_1 - \dot{\Phi}_2 = \dot{\Phi}_T$ – основний потік трансформатора, що проходить по магнітопроводу, подалі від обмоток.

З рівняння (2.33):

$$\dot{\Phi}_T = \dot{\Phi}_{0П} - \dot{\Phi}_{1P} \quad (2.34)$$

Вираз (2.34) показує, що зі зростанням навантаження основний потік трансформатора знижується на величину потоку розсіяння.

Результуючий магнітний потік, який пронизує вторинну обмотку $\Phi_{\Sigma 2}$, ще менший і відрізняється від потоку неробочого ходу $\Phi_{0П}$ на суму потоків Φ_{1P} і Φ_{2P} , тобто:

$$\dot{\Phi}_{\Sigma 2} = \dot{\Phi}_1 - \dot{\Phi}_2 - \dot{\Phi}_{2P} = \dot{\Phi}_T - \dot{\Phi}_{2P} \approx \dot{\Phi}_{0П} - \dot{\Phi}_{1P} - \dot{\Phi}_{2P} \quad (2.35)$$

У первинній обмотці потік Φ_T створює основну ЕРС E_1 , а Φ_{1P} – ЕРС розсіяння E_{1P} , які збігаються за фазою:

$$E_1 = 4,44fW_1\Phi_T$$

$$E_{1P} = 4,44fW_1\Phi_{1P}$$

У вторинній обмотці потоком Φ_T створюється основна ЕРС $E_2 = 4,44fW_2\Phi_T$, а потоком Φ_{2P} – ЕРС розсіяння $E_{2P} = 4,44fW_2\Phi_{2P}$. Оскільки E_{1P} і E_{2P} пропорційні відповідним струмам I_1 і I_2 , доцільно подати ці ЕРС у вигляді спадів напруги на індуктивних опорах первинної X_1 і вторинної X_2 обмоток трансформатора.

$$E_{1P} = I_1 X_1; E_{2P} = I_2 X_2$$

За другим правилом Кірхгофа складемо баланс напруг для первинного і вторинного кола.

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_{1P} + \dot{I}_1 R_1 = \dot{E}_1 + j\dot{I}_1 X_1 + \dot{I}_1 R_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{E}_{2P} - \dot{I}_2 R_2 = \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 X_2 - \dot{I}_2 R_2$$

Подальший аналіз роботи трансформатора проводиться з використанням еквівалентної схеми заміщення (рис. 2.15).

Складемо для спрощеної схеми заміщення баланс напруг за другим правилом Кірхгофа.

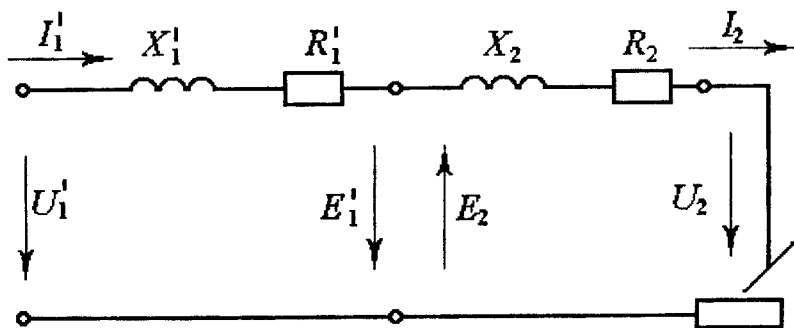


Рис. 2.15. Еквівалентна схема заміщення трансформатора

$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= \dot{U}'_1 - j\dot{I}'_1 X'_1 + \dot{I}'_1 R'_1 - j\dot{I}'_2 X_2 - \dot{I}'_2 R_2 = \\ &= \dot{U}_{20} - j\dot{I}'_2 [(X'_1 + X_2) + (R'_1 + R_2)]\end{aligned}$$

$$X'_1 + X_2 = X_T, \quad R'_1 + R_2 = R_T \approx 0$$

Тоді вольт-амперна характеристика трансформатора з рухомими котушками матиме такий вигляд:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{20} - j\dot{I}'_2 X_T = \dot{U}_a \quad (2.36)$$

ВАХ трансформатора представлено на рис. 2.16.

Спадна характеристика трансформатора внаслідок збільшеного магнітного розсіяння, яке викликане розміщенням первинних і вторинних обмоток на значній відстані одна від одної, і її крутизна залежать від величини X_T . Із рівнянь (2.31) та (2.32) випливає, що зі зростанням струму навантаження I_2 збільшується і струм у первинній обмотці I_1 , відповідно наростають і потоки Φ_{1P} і Φ_{2P} , які створюються ними. Результуючий потік $\Phi_{\Sigma 2}$, який пронизує вторинну обмотку, знижується (2.35), а тому зменшується і ЕРС ($E_2 + E_{2P}$), тобто знижується напруга U_2 на вторинній обмотці трансформатора.

$$\left. \begin{array}{l} I_2 \uparrow \Rightarrow \Phi_{2P} \uparrow \\ I_1 \uparrow \Rightarrow \Phi_{1P} \uparrow \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi_{\Sigma 2} \downarrow \Rightarrow (E_2 + E_{2P}) \downarrow \Rightarrow U_2 \downarrow$$

КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ

При короткому замиканні напруга U_2 знижується до 0, і напруга U_{20} буде зрівноважуватися за рахунок індуктивного опору трансформатора, тобто $U_{20} = I_K X_T$.

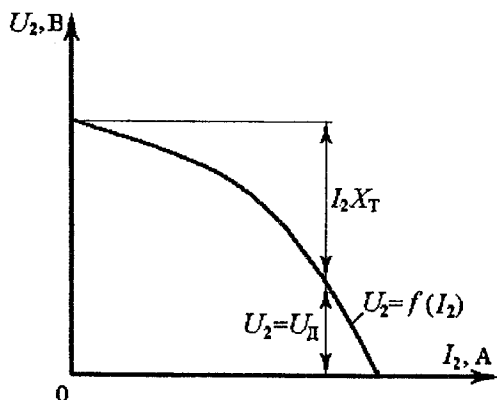


Рис. 2.16. Зовнішня характеристика трансформатора з рухомими котушками

Тоді струм короткого замикання становитиме:

$$I_K = \frac{U_{20}}{X_T}$$

2.5.2. Регулювання режиму зварювання у трансформаторі

Напруга вторинної обмотки U_2 подається на дугу і в усталеному режимі $U_2 = U_D$. Тоді з рівняння (2.36) виходить:

$$i_2 = i_D = \frac{\dot{U}_{20} - \dot{U}_D}{jX_T}$$

Величину зварювального струму можна регулювати за рахунок зміни напруги неробочого ходу U_{20} або індуктивного опору трансформатора X_T .

Розглянемо залежність X_T від параметрів трансформатора. Для цього надамо рівнянню (2.33) наступного вигляду:

$$-\dot{\Phi}_2 = \dot{\Phi}_{0П} - \dot{\Phi}_1 - \dot{\Phi}_{1P}$$

Проведемо ряд перетворень:

$$-\dot{\Phi}_2 = \dot{\Phi}_{0П} - \dot{\Phi}_{1П},$$

$$-\dot{\Phi}_2(1 - K_\mu) = \dot{\Phi}_{0П}(1 - K_\mu) - \dot{\Phi}_{1П}(1 - K_\mu),$$

$$-\dot{\Phi}_2(1 - K_\mu) = \dot{\Phi}_{0P} - \dot{\Phi}_{1P}$$

Підставимо останній вираз до рівняння (2.35) для потоку $\Phi_{\Sigma 2}$, що пронизує вторинну обмотку.

$$\begin{aligned}\dot{\Phi}_{\Sigma 2} &= \dot{\Phi}_{0\Pi} - \dot{\Phi}_{1P} - \dot{\Phi}_{2P} = \dot{\Phi}_0 + (\dot{\Phi}_{0P} - \dot{\Phi}_{1P}) - \dot{\Phi}_{2P} = \\ &= \dot{\Phi}_0 - \dot{\Phi}_2(1 - K_\mu) - \dot{\Phi}_{2P} = \dot{\Phi}_0 - \dot{\Phi}_{2\Pi} K_\mu (1 - K_\mu) - \dot{\Phi}_{2\Pi} (1 - K_\mu) = \\ &= \dot{\Phi}_0 - \dot{\Phi}_{2\Pi} (1 - K_\mu^2)\end{aligned}$$

Знехтувавши спадом напруги на активному опорі R_2 вторинної обмотки, вважатимемо, що вся ЕРС, яка утворюється результатом потоком $\Phi_{\Sigma 2}$, дорівнює вторинній напрузі, тому:

$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= 4.44 f W_2 \Phi_{\Sigma 2} = 4.44 f W_2 [\Phi_0 - \Phi_{2\Pi} (1 - K_\mu^2)] = \\ &= 4.44 f W_2 \Phi_0 - 4.44 f W_2 \frac{\sqrt{2} I_2 W_2}{R_\mu} (1 - K_\mu^2) = \\ &= \dot{U}_{20} - \frac{6.28 f W_2^2 (1 - K_\mu^2)}{R_\mu} \cdot I_2\end{aligned}\quad (2.37)$$

Порівнюючи рівняння (2.37) з рівнянням зовнішньої характеристики (2.36), бачимо, що коефіцієнт при струмі навантаження I_2 являє собою аналітичний вираз для індуктивного опору трансформатора X_T :

$$X_T = \frac{2\pi f W_2^2 (1 - K_\mu^2)}{R_\mu},$$

де R_μ — магнітний опір на шляху вторинного потоку, який включає опори на шляху як основного потоку $R_{\mu 2}$, так і потоку розсіяння $R_{\mu 2P}$:

$$R_{\mu 2P} \approx \frac{l_{2P}}{\mu_B S_{2P}}$$

де l_{2P} і S_{2P} — відповідно середня довжина і площа перетину магнітних силових ліній потоку розсіяння Φ_{2P} ;

μ_B — абсолютна магнітна проникність повітря, Гн/м.

Плавне регулювання режимів зварювання здійснюється за рахунок зміни величини індуктивного опору X_T і пов'язане з переміщенням рухомої котушки. При зменшенні відстані між обмотками « α »

площа перетину S_{2P} силових ліній потоку розсіяння Φ_{2P} зменшується, тому магнітні опори $R_{\mu 2P}$, $R_{\mu'}$, а також коефіцієнт магнітного зв'язку K_{μ} між обмотками зростають. Все це призводить до зменшення X_T і зростання струму навантаження I_2 .

$$"a" \downarrow \Rightarrow S_{2P} \downarrow \Rightarrow R_{\mu 2P} \uparrow \Rightarrow R_{\mu} \uparrow K_{\mu} \uparrow \Rightarrow X_T \downarrow \Rightarrow I_2 \uparrow$$

Можна дати також і фізичне обґрунтування цього способу регулювання. Зі зменшенням відстані « α » потоки розсіяння Φ_{1P} і Φ_{2P} знижуються, величина результуючого потоку $\Phi_{\Sigma 2}$, який пронизує вторинну обмотку, зростає, отже, ЕРС ($E_2 + E_{P2}$), напруга U_2 і зварювальний струм I_2 збільшуються.

$$"a" \downarrow \Rightarrow \Phi_{1P}, \Phi_{2P} \downarrow \Rightarrow \Phi_{\Sigma 2} \uparrow \Rightarrow (E_2 + E_{P2}) \uparrow \Rightarrow U_2 \uparrow \Rightarrow I_2 \uparrow$$

Для розширення діапазону регулювання режимів зварювання застосовують ще і ступінчасте (грубе) регулювання, при якому змінюють з'єднання котушок первинної, а також вторинної обмоток. Варіанти з'єднання котушок наведено на рис. 2.17.

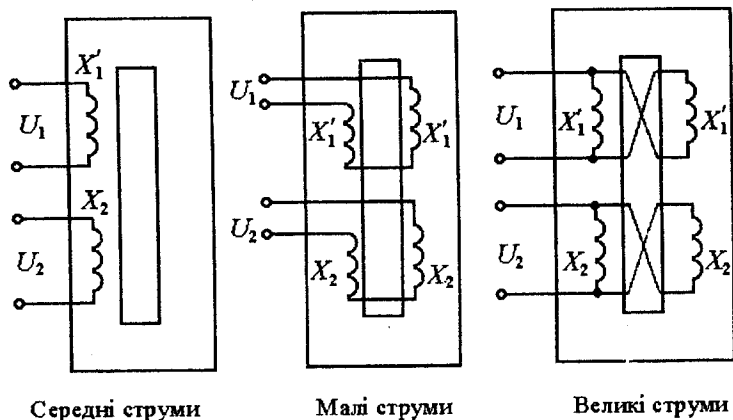


Рис. 2.17. Схеми перемикання котушок при ступінчастому регулюванні зварювального струму

І варіант – у трансформаторі використовується одна котушка первинної і одна вторинної обмоток. Тоді напруга неробочого ходу U_{20} становитиме:

$$U_{20} = U_1 \frac{W_2}{W_1} K_{\mu}$$

Індуктивний опір $X_T = X_1 + X_2$

II варіант – дві котушки первинної і дві котушки вторинної обмоток з'єднані послідовно. Тоді:

$$U_{202} = U_1 \frac{2W_2}{2W_1} K_\mu = U_{201}$$

Індуктивний опір X_T окремих котушок при цьому додається, тому опір трансформатора $X_{T2} = 2X'_1 + 2X_2 = 2X_{T1}$ – більший у два рази порівняно з першим випадком, а струм навантаження, відповідно, нижчий.

III варіант – котушки первинної і вторинної обмоток з'єднані паралельно:

$$U_{203} = U_1 \frac{W_2}{W_1} K_\mu = U_{201}$$

Індуктивний опір $X_{T3} = \frac{X'_1 + X_2}{2} = \frac{X_{T1}}{2}$ у два рази нижчий порівняно із першим варіантом.

Значення X_{T3} знаходять із суми провідності обмоток: $\frac{1}{X'_1} + \frac{1}{X_2}$

Зварювальний струм при паралельному з'єднанні котушок значно вищий, ніж при послідовному ввімкненні, причому кратність ступінчастого регулювання струму $I_{2MAX}/I_{2MIN} = X_{T2}/X_{T3} = 4$. Цінним є те, що при такому регулюванні струму напруга U_{201} залишається постійною, в той час як при паралельному з'єднанні вторинних котушок і послідовному первинних $U_{201} = U_{01}/2$, а при паралельному з'єднанні первинних котушок і послідовному вторинних U_{20} висока і становить $U_{20} = 2U_{201}$. При кратності ступінчастого регулювання струму 4 перекриття двох діапазонів регулювання можливе, якщо плавна зміна струму має кратність, також рівну 4. У цьому випадку досягається дуже висока кратність, що дорівнює 13, у чому немає необхідності. У той же час висока кратність плавного регулювання приводить до значного збільшення відстані між котушками і масо-габаритних показників магнітопроводу. Тому при переході до діапазону малих струмів необхідно одночасно з перемиканням котушок на послідовне з'єднання зменшувати число витків первинної обмотки. У цьому випадку буде дещо збільшуватись напруга неробочого ходу U_{20} , що позитивно відбивається на стійкості горіння дуги при малих струмах. Кратність ступінчастого регулювання при цьому знижується з 4 до 2,5. Комбіноване регулювання струму за рахунок переміщення і перемикання котушок може забезпечити кратність регулювання від 6 до 10.

2.5.3. Конструкція зварювальних трансформаторів з рухомими котушками

Широко застосовуються у промисловості зварювальні трансформатори (далі ЗТ) з рухомими котушками як переносного (ТДМ-165УЗ, ТДМ-254У2), так і пересувного типу (ТДМ-317У2, ТДМ-401У2, ТДМ-503У2, ТД-500 і т. д.). Їхні технічні характеристики наведено в табл. 2.1.

Розглянемо конструкцію трансформатора такого типу на прикладі ЗТ марки ТДМ-401У2 (рис. 2.18), призначеного для живлення ручного дугового зварювання, різання і наплавлення.

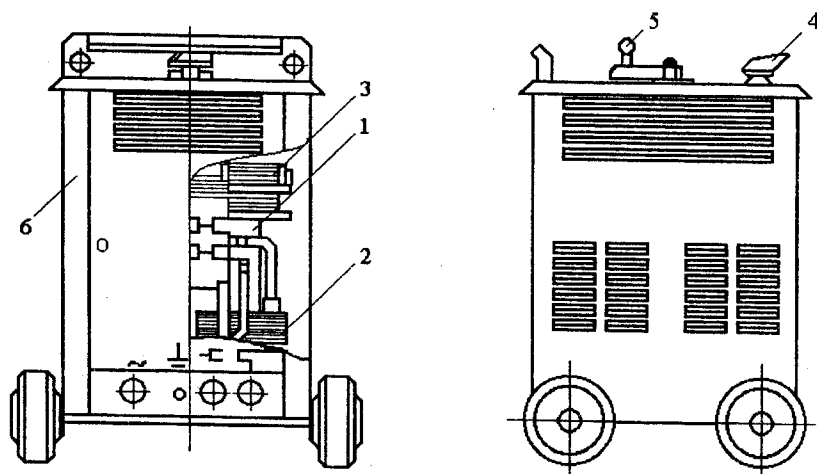


Рис. 2.18. Конструкція трансформатора з рухомими котушками

Трансформатор, призначений для роботи в районах помірного клімату на відкритому повітрі під навісом, являє собою пересувну установку в однокорпусному виконанні з природною вентиляцією і складається з осердя магнітопроводу – 1, трансформаторних обмоток – 2, 3 (первинної та вторинної), перемикача діапазонів струмів – 4, кожуха – 6. Магнітопровід ЗТ стрижневого типу, на якому кріпляться обмотки. Котушки первинної обмотки нерухомі, закріплені біля нижнього ярма і виконані з ізольованого алюмінієвого дроту марки АПСД, причому для міжшарової ізоляції застосовується склотканина. Котушки вторинної обмотки – рухомі, закріплені біля верхнього ярма, намо-

тані на «ребро» голою алюмінієвою шиною марки АДО та ізольовані скляною стрічкою. Від осердя магнітопроводу обмотки ізольовані спеціальними пресованими планками. Осердя трансформатора зібране з листів електротехнічної сталі марки 3414 товщиною 0,35 мм і виконане у вигляді безшпилькової конструкції. Через верхнє яро осердя пропущений ходовий гвинт, який угвинчується в ходову гайку, вмонтовану в обойму рухомих вторинних котушок. При обертанні гвинта з допомогою ручки-5 переміщуються вторинні котушки, змінюючи тим самим індуктивний опір трансформатора і, відповідно, зварювальний струм. Для уникнення вібрації рухомих котушок обойма їх кріплення споряджена плоскими пружинами, які при переміщенні ковзають по магнітопроводу. Підключення мережі і зварювальних дротів відбувається через спеціальні роз'єднувачі, розміщені на передньому боці трансформатора. Перемикач діпазонів струму (ступінчасте регулювання) здійснюється перемикачем, ручку якого виведено на кришку кожуха. Для підрахування величини зварювального струму призначена стрілка, безпосередньо зв'язана з обоймою кріплення вторинних котушок. Підрахування здійснюється за шкалою, відградуваною для двох діпазонів струму і розміщеною на боковині кожуха. Трансформатор має ємнісний фільтр для зниження радіоперешкод, які утворюються в процесі зварювання. Для зручності переміщення ЗТ споряджений чотирма колесами і ручкою, а для піднімання – римболтами на кришці кожуха.

Зовнішні характеристики крутоспадні з кратністю струму короткого замикання приблизно 1,3 від величини струму при номінальній робочій напрузі (рис. 2.19).

Конструкцією ЗТ передбачена можливість його роботи з обмежувачем напруги неробочого ходу типу УСНТ-06У2, який може бути прикріплений до корпусу з переднього боку. Трансформатор працюватиме і в паралельному режимі з іншими ЗТ. Для цього на них мають бути встановлені в однакове положення перемикачі діпазонів струму і значення струмів за шкалою. На рис. 2.20 подано принципову електричну схему трансформатора.

На кожному стрижні ЗТ розміщено по одній котушці первинної обмотки з числом витків W_1 . З допомогою перемикача SA можна виконувати послідовне або паралельне увімкнення котушок як первинної, так і вторинної обмоток. Паралельне увімкнення відповідає діпазону великих струмів, послідовне – малих. При цьому частина витків первинної обмотки вимикається, і напруга неробочого ходу підвищується, що позитивно впливає на стійкість процесу зварювання при малих струмах.

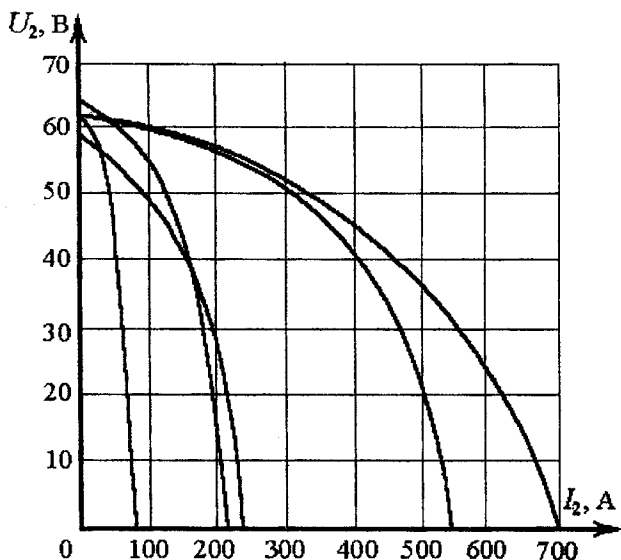


Рис. 2.19. Зовнішні характеристики трансформатора ТДМ-401У2

Подібну конструкцію мають і трансформатори типу ТДМ-317У2, серії ТДМ-503. Різниця між ТДМ-503-1У2 і ТДМ-503-3У2 полягає в тому, що останні споряджені пристроєм зниження напруги неробочого ходу, а ТДМ-503-2У2 – ще і конденсатором для підвищення потужності.

Переносні трансформатори типу ТДМ-165У2 і ТДМ-254У2 призначені для роботи в монтажних умовах, а тому вони мають малі масо-габаритні показники. Діапазон малих струмів отримують при використанні однієї котушки вторинної обмотки, діапазон великих струмів – при паралельному з'єднанні вторинних котушок.

Недоліками трансформаторів з рухомими котушками можна вважати сильну вібрацію рухомих частин (обойми з обмотками, гвинтовий привід), що значно зменшує строк їхньої експлуатації. Крім того, механічне регулювання не забезпечує програмне керування режимів зварювання, неможлива стабілізація за струмом або напругою. Однак, не звертаючи уваги на ці недоліки, ЗТ з рухомими котушками одержали широке розповсюдження при ручному дуговому зварюванні через малу витрату активних матеріалів, високі технологічні властивості, простоту виготовлення та експлуатації.

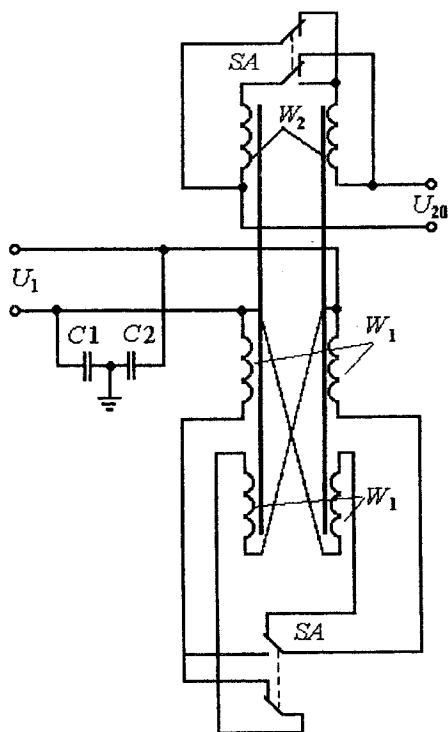


Рис. 2.20. Принципова електрична схема трансформатора ТДМ-401У2

2.5.4. Зварювальні трансформатори з рухомими магнітними шунтами

Трансформатори з рухомими магнітними шунтами виконані на магнітопроводах стрижневого типу і мають дискові обмотки, розміщені симетрично на двох стрижнях осердя-магнітопроводу-3 (рис. 2.21).

У вікні магнітопроводу між первинною-1 і вторинною-2 обмотками встановлено магнітний шунт-4. Між стрижнями осердя і шунтом передбачено повітряні проміжки «а». Розсіяння у трансформаторі створюється за рахунок рознесення первинних і вторинних обмоток одна від одної на певну відстань, що призводить до появи значних потоків розсіяння Φ_{1P} і Φ_{2P} . У конструкціях трансформаторів передбачено

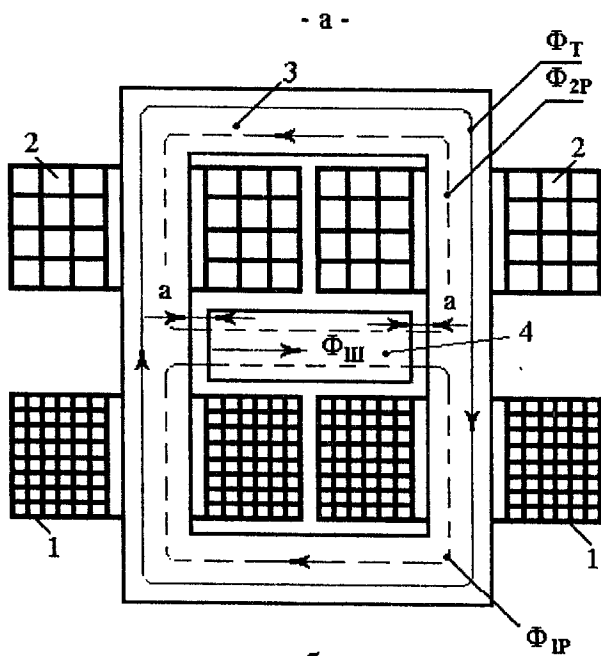


Рис. 2.21. Конструкція трансформаторів з рухомими магнітними шунтами

повне і часткове рознесення обмоток-1 і обмоток-2 стосовно шунта. При повному рознесенні первинні і вторинні обмотки розміщені по різні боки шунта (рис. 2.21а), а при частковому – вторинна обмотка складається з двох секцій: основної-2 з числом витків W_{20} і додаткової-5 з числом витків $W_{2д}$ (рис. 2.21б). Додаткова обмотка розміщена поряд з первинною і має з нею добрий магнітний зв'язок. Трансформатори з повністю рознесеними обмотками доцільно виконувати на струми до 200–250 А. Для подальшого збільшення струму навантаження необхідно знижувати кількість витків первинних і вторинних обмоток. У цьому випадку порушується оптимальне співвідношення витрат обмотувальних матеріалів і сталі, масо-габаритні показники трансформатора зростають. Повному рознесенню відповідає діапазон малих струмів. При переході на діапазон великих струмів вмикається обмотка з числом витків $W_{2д}$ і вмикається частина обмотки з числом витків W_{20} . Більш досконалу схему з'єднання обмоток подано на рис. 2.21б, де діапазону великих струмів відповідає паралельне з'єднання котушок вторинної обмотки. При переході на діапазон малих струмів додаткові котушки-5 вимикаються, а основні-2 вмикаються послідовно, причому в цьому випадку спостерігається збільшення напруги неробочого ходу. Перехід з одного діапазону на другий не вимагає перемикання витків первинної обмотки, що підвищує строк служби трансформатора.

Плавне регулювання струму у трансформаторі здійснюється за рахунок переміщення магнітного шунта вручну або сервоприводом. При виведенні шунта з вікна магнітопроводу, тобто зі збільшенням « δ » (рис. 2.22а), магнітні потоки розсіяння Φ_{1P} і Φ_{2P} значною мірою замикаються на повітрі і, відповідно, зменшуються. Це приводить до збільшення магнітного опору шунта $R_{\mu ш}$, результуючого потоку $\Phi_{\Sigma 2}$, напруги U_2 , зменшенню індуктивного опору X_T і, отже, до зростання зварювального струму I_2 .

$$\delta \uparrow \Rightarrow \Phi_{1P}, \Phi_{2P} \downarrow \Rightarrow R_{\mu ш} \uparrow \Rightarrow \Phi_{\Sigma 2} \uparrow \Rightarrow U_2 \uparrow \Rightarrow X_T \downarrow \Rightarrow I_2 \uparrow$$

Плавне регулювання забезпечує кратність струму рівну 4. Залежність X_T від положення шунта подано на рис. 2.22б.

Швидкість зниження індуктивного опору при виведенні шунта на початку постійна, а потім, при виході шунта за межі вікна магнітопроводу, різко зменшується, далі X_T змінюється незначною мірою.

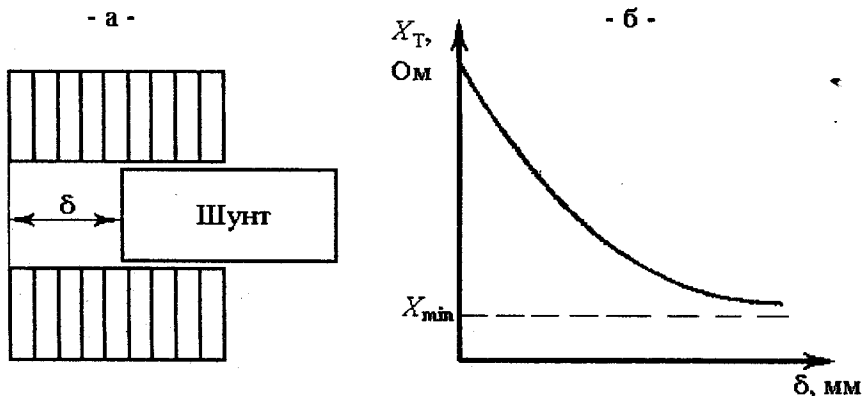


Рис. 2.22. Залежність зміни індуктивного опору трансформатора від переміщення шунта

При виході з вікна осердя шунт зазнає максимального осьового електромагнітного зусилля, яке зтягує його назад у вікно і викликає сильну вібрацію. Вібрація зменшується, якщо застосувати направляючі, якими переміщується шунт, або пружини, які відтискають його від однієї сторони магнітопроводу. Вібрація також значно зменшується, якщо шунт буде складатись із двох однакових частин (половинок), які при регулюванні режиму переміщуються з вікна у протилежні сторони. У цьому випадку осьові зусилля, які діють на шунти, направлені зустрічно.

У промисловості використовуються трансформатори з шунтами типу СТШ-250, СТШ-252, СТШ-500, СТШ-500-80, ТРАНС-3 "СЕЛМА", ТДМ-200 "СЕЛМА". Вони призначені в основному для ручного дугового зварювання покритими електродами. Їхні технічні характеристики подано в табл. 2.1. Трансформатор СТШ-500-80 має пристрій, який вимикає його від мережі під час перерви в роботі.

2.5.5. Зварювальні трансформатори з нерухомим підмагнічувальним шунтом

Такі джерела живлення мають ряд суттєвих переваг у порівнянні з розглянутими раніше. Основна їхня перевага полягає у відсутності рухомих частин, що надає їм більш високої надійності і довговічності. Крім цього, вони мають малу інерційність регулювання і забезпечують простоту дистанційного керування. До недоліків можна віднести

значні витрати активних матеріалів і невисокі енергетичні показники. Трансформатори такого типу застосовуються у вигляді джерел для аргоно-дугового зварювання і автоматичного зварювання під флюсом. На рис. 2.23 наведено функціональну схему зварювального трансформатора для автоматичного зварювання під флюсом, де Т – стрижневий трансформатор з нерухомим шунтом, РС – регулятор зварювального струму, БДА – блок допоміжної і захисної апаратури. До блоку РС входять: VS – тиристорний регулятор струму, СФК – блок системи фазового керування тиристорами і БК – блок керування.

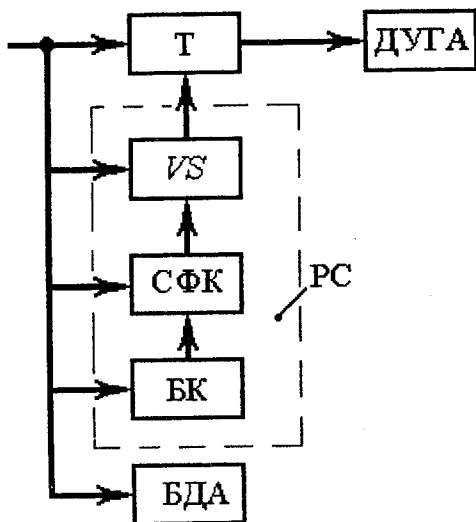


Рис. 2.23. Функціональна схема трансформатора з підмагнічувальним шунтом

Конструкцію і схему розташування обмоток трансформатора з підмагнічувальним шунтом наведено на рис. 2.24.

Магнітна система трансформатора складається з двох магнітопроводів стрижневого типу, один з яких – магнітний шунт-1 – розміщений у вікні осердя-3 перпендикулярно до його бокових стрижнів і ділить вікно на дві частини. Між стрижнями-3 і шунтом є повітряні проміжки « δ », які не регулюються. Силкові обмотки трансформатора розміщені симетрично на обох стрижнях магнітопроводу і частково рознесені. Вторинна обмотка складається з основної котушки з числом витків W_{20} (котушки 4; 5) і додаткової обмотки з числом витків $W_{2д}$

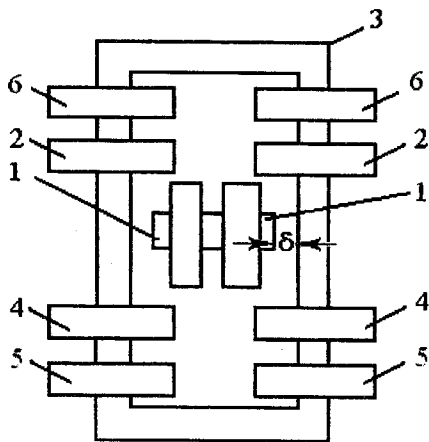


Рис. 2.24. Конструкція трансформатора з підмагнічувальним шунтом

(катушки 2). Основна катушка розміщена з одного боку шунта, додаткова – з другого, поряд із первинною обмоткою з числом витків W_1 (катушки 6). Катушки первинної обмотки на стрижнях з'єднані між собою паралельно. На кожному стрижні катушки вторинних обмоток з'єднані між собою послідовно-паралельно. Основний магнітний потік Φ_T , який створюється первинними і вторинними обмотками, замикається по залізу осердя. Крім Φ_T у магнітній системі утворюються потоки розсіяння Φ_{1P} і Φ_{2P} .

Обмотка керування W_K -8 секціонована і складається з чотирьох катушок, увімкнених зустрічно-послідовно відносно ЕРС, яка утворюється в них потоком шунта Φ_{μ} (рис. 2.25).

Магнітний потік Φ_K , який створюється намагнічувальними силами обмоток керування при живленні їх постійним струмом, замикається в осерді шунта, не проходячи через повітряні проміжки « δ ». Таким чином, змінюючи величину струму I_K в обмотці керування, можна змінювати магнітний опір $R_{\mu\text{ш}}$ заліза осердя шунта, що приводить до зміни магнітних потоків розсіяння Φ_{1P} , Φ_{2P} , індуктивного опору трансформатора X_T і зварювального струму I_2 . Це основний спосіб настроювання режиму, тобто плавне регулювання струму.

$$I_K \uparrow \Rightarrow \Phi_K \uparrow \Rightarrow R_{\mu\text{ш}} \uparrow \Rightarrow \Phi_{1P}, \Phi_{2P} \uparrow \Rightarrow X_T \downarrow \Rightarrow I_2 \uparrow \Rightarrow U_2 \uparrow$$

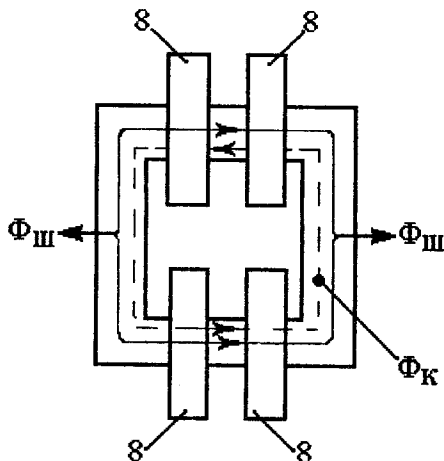


Рис. 2.25. Конструкція підмагнічувального шунта

Величина X_T аналогічна X_T у трансформаторах з рухомими обмотками. Принцип роботи нерухомого магнітного шунта подібний до принципу роботи однофазного дроселя насичення.

Ступінчасте регулювання струму здійснюється у два ступені і забезпечується перемиканням витків вторинної обмотки IIа, IIб і IIв (катушки 2, 4, 5 (рис.2.26)). Для ступенів великих і малих струмів величину зварювального струму обираємо, виходячи із співвідношення:

$$I_{2а6} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_D^2}}{X'_1 + X_{2а} + X_{26}}, \quad I_{26в} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_D^2}}{X'_1 + X_{26} + X_{2в}}$$

Напруга неробочого ходу трансформатора U_{20} при переключенні котушок майже не змінюється, проте суттєво відрізняються їх індуктивні опори. Оскільки частина вторинної обмотки IIа розміщена поряд з первинною обмоткою I, то її опір $X_{2а}$ невеликий і значно менший від $X_{2в}$, тобто в першому випадку величина $I_{2а6}$ буде вища, ніж між клемми «бв». Це і буде ступенем великих струмів.

Для забезпечення зручності регулювання зварювального струму і стабілізації встановленого режиму застосовується тиристорний регулятор струму VS. З його допомогою, за рахунок зворотних зв'язків за напругою живлення мережі і за зміною опору обмотки магнітного шунта можна стабілізувати встановлені режими і забезпечувати ре-

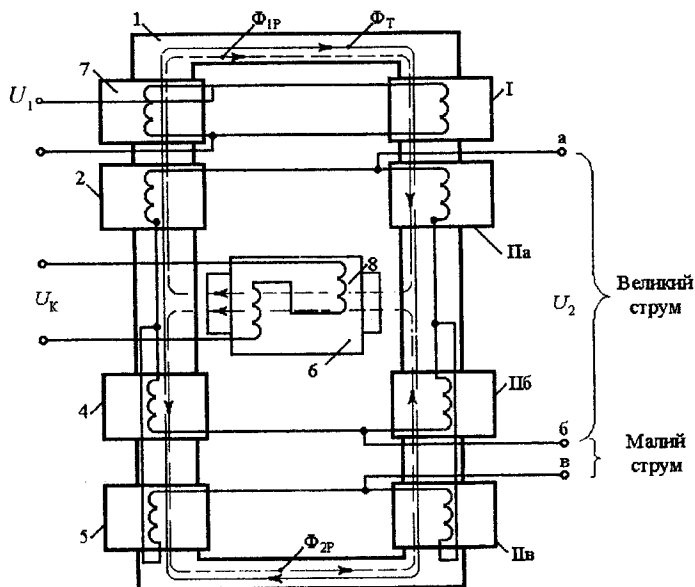


Рис. 2.26. Електромагнітна схема трансформатора з підмагнічувальним шунтом

гулювання струму керування і струму навантаження, витрачаючи незначну потужність на керування. Це значною мірою покращує зварювальні та експлуатаційні властивості трансформаторів і підвищує їх техніко-економічні показники. У промисловості задіяно велику кількість трансформаторів типу ТДФ-1001 і ТДФ-1601, призначених для автоматичного зварювання під флюсом і розрахованих на тривалий режим роботи при $TU\% = 100\%$. Їхні технічні характеристики наведено у табл. 2.1. Електромагнітну схему ТДФ-1001 подано на рис. 2.26. Ступінь малих струмів розрахований на 400–700 А, великих – 700–1200 А. Трансформатор ТДФ-1601 має 8 котушок вторинної обмотки (порівняно з 6 у ТДФ-1001). Котушки первинної обмотки розміщені біля нижнього яра осердя поблизу чотирьох додаткових котушок вторинної обмотки. Ступінь малих струмів у ТДФ-1601 становить 600–1100 А, великих – 1100–1800 А.

Обмотка керування живиться від одноконтактного тиристорного випрямляча. Регулюючи кут відкриття тиристора, можна плавно змінювати величину струму в обмотці керування магнітного шунта в необхідних межах, здійснюючи регулювання і стабілізацію зварюваль-

ного режиму при коливаннях напруги мережі, здійснювати як місцеве, так і дистанційне керування режиму трансформатора. При цьому плавне регулювання зварювального струму можна одержати з кратністю близькою 2. Для отримання відпираючого імпульсу та його фазорегулювання призначена схема на транзисторному логічному елементі, що виконує функцію електронного реле.

2.5.6. Трансформатори з ярмовим розсіянням

Трансформатори такого типу використовуються переважно як малогабаритні і призначені в основному для ручного дугового зварювання на будівельно-монтажних роботах. Осердя магнітопроводу стрижневого типу, на різних стрижнях якого розміщені первинна-1 і вторинна-2 обмотки. Частина потоків розсіяння Φ_{1P} і Φ_{2P} замикаються на повітрі у вікні магнітопроводу, а також по повітрю між верхнім і нижнім ярмом у вигляді потоків $\Phi_{1ЯP}$ і $\Phi_{2ЯP}$ (рис. 2.27).

Регулювання режимів зварювання здійснюється перемиканням числа витків однієї з обмоток трансформатора. При цьому його індуктивний опір в режимі короткого замикання $X_{к.з.}$ змінюється пропорційно квадрату числа витків обмотки, що перемикається. Тому суттєвим недоліком такого регулювання є відсутність плавної зміни індуктивного опору X_T і, відповідно, струму та напруги навантаження. До недоліків можна також віднести і несталість напруги неробочого ходу при витковому регулюванні режимів. Перевагою таких трансформаторів є відсутність рухомих частин (шунтів, обмоток), невеликі розміри і вага магнітопроводу. Раніше промисловістю випускались ЗТ такого типу марки ТСП-1.

Вказані недоліки у трансформаторах з ярмовим розсіянням можна усунути введенням у конструкцію додаткової обмотки-3 з числом витків W_d , яка б охоплювала обидва стрижні. Така обмотка має значний коефіцієнт взаємної індукції з основними обмотками по полях розсіяння і не взаємодіє з ними за потоком неробочого ходу. Тому вмикаючи її узгоджено або зустрічно з вторинною обмоткою, можна змінювати індуктивний опір, не впливаючи на величину вторинної напруги неробочого ходу. Таким чином, додаткова обмотка суттєво розширює межі регулювання зварювального струму. Плавне регулювання струму здійснюється зварювальним кабелем-4, який намотується в той чи інший бік навколо корпусу трансформатора.

У режимі неробочого ходу потоки розсіяння малі, тому ЕРС утворюються тільки в первинній і вторинній обмотках, тобто $U_{20} = E_2$.

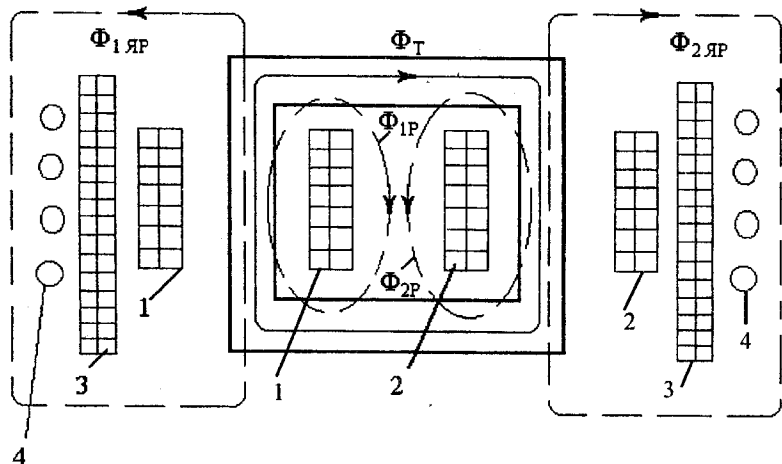


Рис. 2.27. Електромагнітна схема трансформатора з ярмовим розсіюванням

У режимі навантаження ярмові потоки розсіювання створюють у додатковій обмотці ЕРС $E_{\text{ДОД}}$, а в кабельній обмотці $E_{\text{КАБ}}$. Ці ЕРС будуть складатися при узгодженому ввімкненні обмоток із вторинною обмоткою трансформатора або відніматись при зустрічному їх включенні. Аналогічно ж буде додаватися або відніматися ЕРС зварювального кабеля.

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{E}_{2P} \pm \dot{E}_{\text{ДОД}} \pm \dot{E}_{\text{КАБ}} \quad (2.38)$$

З виразу (2.38) знайдемо рівняння вольт-амперної характеристики:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_d = \dot{U}_{20} - \dot{I}_2 (X_T \pm X_{\text{ДОД}} \pm X_{\text{КАБ}})$$

Спадна зовнішня характеристика в трансформаторі з ярмовим розсіюванням створюється за рахунок підвищеного магнітного розсіювання, викликаного розміщенням первинних і вторинних обмоток на різних стрижнях. Нахил ВАХ залежить від узгодженого або зустрічного включення додаткової обмотки і напрямку навивки зварювального кабеля навколо корпусу.

У промисловості застосовуються випущені раніше трансформатори типу ТСМ-250, ТСМ-500 з ярмовим розсіюванням, електромагнітна схема яких подібна до схеми, поданої на рис. 2.27, а технічні характеристики наведені в табл. 2.1. У ТСМ-250 відбувається зміна зварювального струму в межах 90–250 А. Слід зазначити, що зі зрос-

танням потужності трансформатора збільшується ефективність подібного способу регулювання через те, що індуктивний опір трансформатора зменшується повільніше, ніж зростає його потужність. Крім цього, зі зростанням потужності при зміні напруги мережі зменшується кількість витків первинних і вторинних обмоток. Тому для однакової зміни величини X_T потрібна менша довжина зварювального кабеля. Трансформатор ТСМ-500 належить до типу таких трансформаторів, у яких за рахунок перемикачів числа витків додаткової обмотки і трьох витків зварювального кабеля вдається змінювати струм короткого замикання в межах 60–700 А. При цьому його вага у 1,6 разу менша за вагу подібних за потужністю трансформаторів з рухомими обмотками або шунтами.

Додаткова обмотка може також вмикатись послідовно, зустрічно або узгоджено з первинною обмоткою, при цьому у випадку узгодженого ввімкнення струм навантаження зменшується. За такою схемою випускаються пристрої живлення зварювальної дуги «Разряд-160», «Разряд-250», ТДК-315УЗ, які складаються із трансформатора з ярмовим розсіянням та імпульсного стабілізатора горіння дуги (ІСГД) змінного струму з частотою накладання імпульсів 100 Гц.

Розглянемо конструкцію і роботу трансформатора такого типу на прикладі ЗТ «Разряд-160». Його принципову електричну схему подано на рис. 2.28.

Зварювальний трансформатор призначений для ручного дугового зварювання на змінному струмі електродами різних марок як для змінного, так і для постійного струму (типу УОНИ 13/45 і ОЗЛ-8), а також неплавким електродом для зварювання алюмінію та його сплавів у середовищі аргону.

Первинна- I і вторинна- II обмотки трансформатора розміщені на різних стрижнях осердя магнітопроводу. Додаткові обмотки V, VI, VII намотані поверх первинної і вторинної обмоток і включаються через перемикач-S спочатку зустрічно, а потім згідно з первинною обмоткою, що дає можливість одержати сім діапазонів зварювального струму. Обмотка III намотується поверх первинної обмотки, обмотка IV – поверх вторинної, а обмотка VIII – поверх первинної і вторинної. Плавне регулювання струму між ступенями перемикачів проводиться навивкою в той чи інший бік від одного до п'яти витків зварювального кабеля, який іде до електродотримача. Стабілізатор ІСГД монтується на основі, яка встановлюється на 2 рамах корпусу під трансформа-

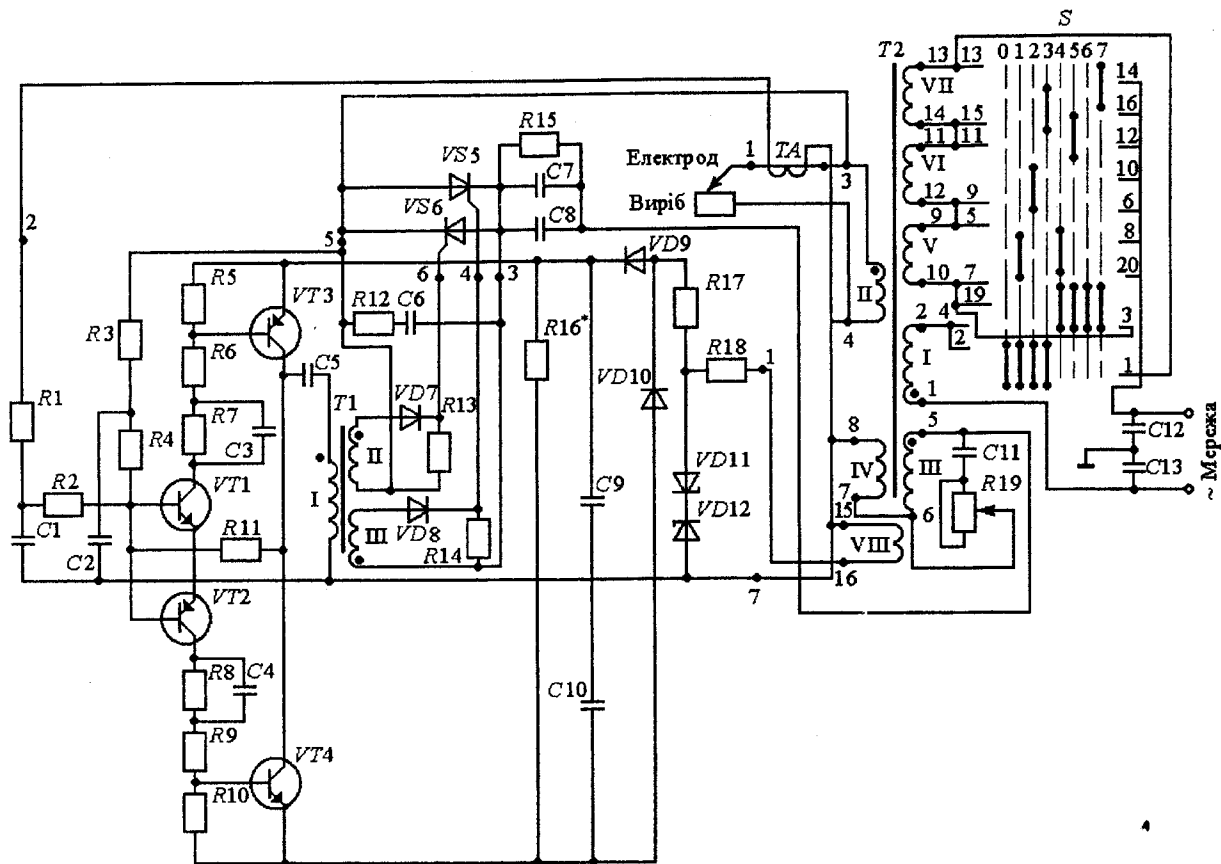


Рис. 2.28. Принципова електрична схема трансформатора "Разряд-160"

тором, і складається зі схеми формування імпульсів керування тиристорами і силової частини, яка формує стабілізуючі імпульси на дуговий проміжок. Трансформатор повинен видавати стабілізуючі імпульси в той момент, коли напруга при навантаженні досягає 60–80% від амплітудного значення на неробочому ході і в момент переходу струму через нуль при зварюванні.

Схема формування імпульсів керування тиристорами складається з двох однакових функціональних груп, зібраних на транзисторах VT_1 , VT_2 , VT_3 , VT_4 . Навантаженням для них слугує імпульсний трансформатор T_1 , у якого:

I – колекторна обмотка;

II – обмотка керування тиристором VS_6 ;

III – обмотка керування тиристором VS_5 .

Бази транзисторів VT_1 , VT_2 підключаються через резистори R_1 – R_4 до дугового проміжку і до датчика струму TA . Конденсатори C_1 , C_2 контролюють вхід схеми, аби не дати перешкодам спричинити, помилкове спрацьовування стабілізатора. Транзистори VT_1 – VT_4 , резистори R_5 – R_{11} і конденсатори C_3 , C_4 утворюють напівпровідникове реле, яке має два сталих стани: VT_1 , VT_3 відкриті, а VT_2 , VT_4 закриті та навпаки. Процес перемикання з одного стану в інший відбувається дуже швидко завдяки дії додатнього зворотного зв'язку, що здійснюється через резистор R_{11} . При додатній напівхвилі на електроді відкриваються транзистори VT_1 , VT_3 , (VT_2 , VT_4 закриваються) і первинна обмотка трансформатора T_1 через конденсатор C_5 підключається до плюса джерела живлення; при від'ємній півхвилі відкриваються VT_2 і VT_4 (VT_1 , VT_3 закриваються), первинна обмотка через C_5 підключається до мінуса джерела живлення. Таким чином, при кожній зміні полярності на електроді відбувається імпульсне перемагнічування первинної обмотки трансформатора T_1 , викликаючи появу імпульсів струму в обмотках II і III, що керують тиристорами VS_5 і VS_6 . Резистори R_2 , R_4 і конденсатор C_2 підібрані так, що перемикання напівпровідникового реле і стабілізуючі імпульси з'являються в той момент, коли напруга на електроді сягає 60–80% від амплітудного значення неробочого ходу зварювального трансформатора. Датчик струму TA , який являє собою диференційований трансформатор, видає керуючі імпульси в момент переходу зварювального струму через нуль, викликаючи тим самим спрацьовування напівпровідникового реле і появу стабілізуючих імпульсів.

Схема формування імпульсів керування живиться від додаткової обмотки VIII трансформатора T_2 , яка охоплює обидва стрижні магнітопроводу і знаходиться на шляху потоку розсіяння. При неробочому ході потік розсіяння малий, і напруга на обмотці не перевищує 3–4 В. При зварюванні потік розсіяння різко збільшується, напруга на обмотці VIII досягає 24–30 В. Ця напруга випрямляється діодами VD_9 , VD_{10} і згладжується конденсаторами C_9 , C_{10} .

Вмикання стабілізатора відбувається через 0,8–0,1 с після закінчення процесу, оскільки стабілізатор живиться за рахунок енергії, накопиченої конденсаторами C_9 , C_{10} . Силова частина схеми ІСГД складається з конденсаторів C_7 , C_8 , C_{11} , резисторів R_{19} , тиристорів VS_6 і VS_5 і обмоток III і IV трансформатора T_2 . Обмотка IV служить для обмеження швидкості наростання струму через тиристири. Конденсатори C_{12} , C_{13} є фільтрами від радіоперешкод.

2.5.7. Зварювальні трансформатори з індуктивно-ємнісною компенсацією

Для покращення стабільності процесу зварювання і підвищення енергетичних показників джерел живлення змінного струму застосовується увімкнення ємності в коло трансформатора. Таке резонансне коло сприяє підвищенню напруги запалювання дуги при переході струму через нуль. Існують поздовжня (послідовне вмикання конденсатора) і поперечна (паралельне включення) компенсації.

У трансформаторах з поперечною компенсацією напруга повторного збудження дуги U_3 не може бути більшою за напругу неробочого ходу трансформатора U_{20} . У джерелах з поздовжною компенсацією величина U_3 залежить від співвідношення реактивних опорів X_L і X_C . У цьому випадку напруга U_2 на вторинних обмотках трансформатора зрівноважується спадом напруги на дузі U_D , індуктивності U_L і ємності U_C (рис. 2.29а).

$$U_2 = U_D + U_L + U_C \quad (2.39)$$

Для визначення стійкості горіння дуги розглянемо осцилограми струму і напруги у вторинному колі трансформатора (рис. 2.29б).

При $X_L > X_C$ струм i_2 відстає від напруги U_2 на кут φ , як і у випадку відсутності ємності. Якщо початок координат сумістити з переходом струму через нуль, то:

$$i_2 = I_{2m} \sin \omega t$$

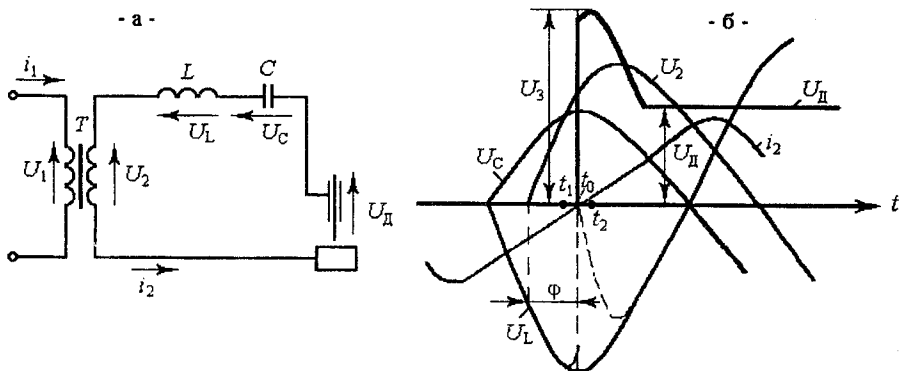


Рис. 2.29. Спрощена електрична схема (а) і осцилограми (б) трансформатора з індуктивністю і ємністю

$$U_2 = U_{2m} \sin(\omega t + \varphi)$$

$$U_L = -eL = L \frac{di_2}{dt} = \omega LI_{2m} \cos \omega t = U_{Lm} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$U_C = \frac{1}{C} \int i_2 dt = \frac{1}{\omega C} I_{2m} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = U_{Cm} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Для з'ясування процесу повторного запалювання дуги розглянемо закон зміни напруг у ході перехідного процесу (рис. 2.29б).

У момент t_0 напруга дуги $U_D = 0$, тому з рівняння (2.39) $U_L = U_2 - U_C$. У цей час напруга на індуктивності досягає амплітудного значення:

$$U_L = U_{Lm} = \omega LI_{2m},$$

напруга на ємності

$$U_C = -U_{Cm} = -\frac{1}{\omega C} I_{2m},$$

а напруга джерела

$$U_2 = U_{2m} \sin \varphi$$

Тому в момент t_0

$$U_{Lm} = U_{2m} \sin \varphi - (-U_{Cm}) = U_{2m} \sin \varphi + U_{Cm} \quad (2.40)$$

При наступному різкому зниженні швидкості наростання струму до моменту t_2 напруга на індуктивності стрибком знизиться майже до 0 (показано пунктиром), і сумарна напруга,

$$U_2 - U_C = U_{2m} \sin \varphi + U_{Cm}$$

яка практично не змінилась з моменту t_0 , прикладається до міжелектродного проміжку. Ця напруга для надійного повторного запалювання дуги повинна бути більшою за напругу запалювання U_3 .

$$U_{2m} \sin\varphi + U_{Cm} \geq U_3 \quad (2.41)$$

Із співвідношень (2.40) і (2.41) одержимо умову надійного повторного запалювання дуги в колі з індуктивністю і ємністю:

$$U_{Lm} = U_{2m} \sin\varphi + U_{Cm} \geq U_3$$

Стійкість горіння дуги, яка живиться від трансформатора з поздовжно-ємнісною компенсацією висока, оскільки повторне запалювання здійснюється за рахунок як трансформатора, у якого напруга дуги досягла значної величини, так і зарядженого до амплітудної напруги конденсатора.

Для повторного запалювання дуги в колі з індуктивністю і ємністю потрібна менша напруга джерела U_2 , ніж у колі з самою індуктивністю. Особливо це помітно при $X_L = X_C$, тобто коли виникає резонанс напруг. При цьому величина U_{Lm} може перевищувати U_{20} в 2–3 рази. Зниження напруги неробочого ходу U_{20} веде за собою збільшення коефіцієнта трансформації і, відповідно, зменшення струму в первинній обмотці трансформатора при незмінному значенні струму навантаження.

Зовнішня характеристика трансформатора з індуктивністю і ємністю має такий вигляд:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{20} - j\dot{I}_2(X_L - X_C)$$

Крутоспадна характеристика одержується як при індуктивному ($X_L > X_C$), так і при ємністному ($X_L < X_C$) характері навантаження. При сумарному опорі $X = X_L - X_C$ утворюється пологоспадна характеристика.

Регулювання струму навантаження виконується як зміною індуктивності так і зміною ємності:

$$i_2 = \frac{\dot{U}_{20} - \dot{U}_2}{j(X_L - X_C)}$$

Для зниження величини U_{20} і струму в первинній обмотці I_1 розроблений і виготовляється зварювальний трансформатор побутового призначення типу ТСБ-90, який живиться від освітлювальної мережі напругою 220 В. Конденсаторна батарея ємністю 100 мкФ

встановлена послідовно первинній обмотці, що також корисно відображається на повторному запалюванні дуги. Технічні характеристики джерела ТСБ-90 наведені у таблиці 2.1.

2.6. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ВЕНТИЛІ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ І ВИПРЯМЛЯЧАХ

У зварювальних трансформаторах і випрямлячах використовуються в основному такі кремнієві силові вентиля, як діоди, тиристори і транзистори. Принцип роботи діода (некерованого вентиля) можна розглянути на прикладі найпростішої схеми однопівперіодного випрямлення (рис. 2.30), коли в позитивному півперіоді синусоїдної напруги мережі живлення діод VD увімкнено в прямому напрямку (рис. 2.30а).

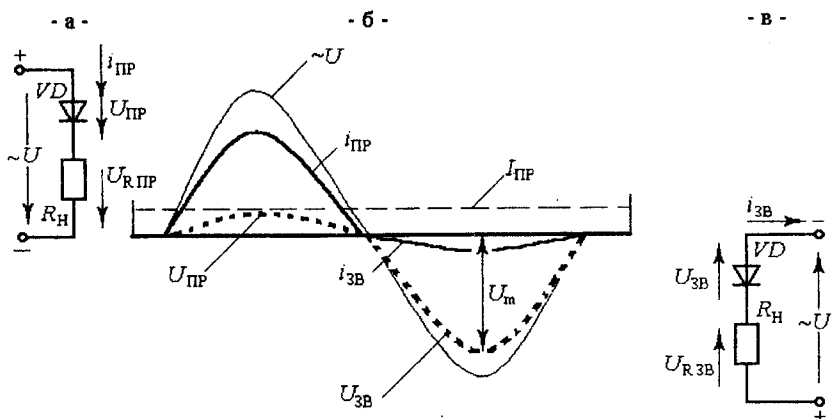


Рис. 2.30. Осцилограми (б) і робота діода при прямому (а) і зворотному (в) вмиканні в коло змінного струму

У цьому випадку його опір малий, а прями́й струм i_{DP} порівняно великий. Практично вся напруга мережі прикладена до навантаження R_n , тобто $U_{R,DP} \approx \sim U$, а спад напруги U_{DP} на VD не перевищує 1–2 В. У від'ємному півперіоді (рис. 2.30в) діод увімкнено у зворотному напрямку, і його опір різко зростає, а i_{3B} знижується майже до 0. На навантаження напруга майже не подається, оскільки практично напруга мережі прикладена до розриву кола, який утворений закритим

діодом ($U_{зв} \approx U$). Таким чином, якщо знехтувати струмом $i_{зв}$, по навантаженню піде переривчастий струм одного напрямку, який і вважається як випрямлений постійний струм, середнє значення якого $I_{пр}$ показано на рис. 2.30б. За осцилограмою (рис. 2.30б) можна одержати динамічну вольт-амперну характеристику діода (рис. 2.31).

Пряме зменшення напруги на вентилі $U_{пр}$ на прямій гілці характеристики невелике. Основним параметром, за котрий з довідників обирається діод, є його граничний струм $I_{пред}$, котрий характеризується як максимально допустиме середнє значення тривалого струму синусоїдної форми при частоті 50 Гц і однопівперіодному випрямленні. У зварювальних випрямлячах застосовуються діоди з $I_{пред}$ на 200, 320, 400, 500 А.

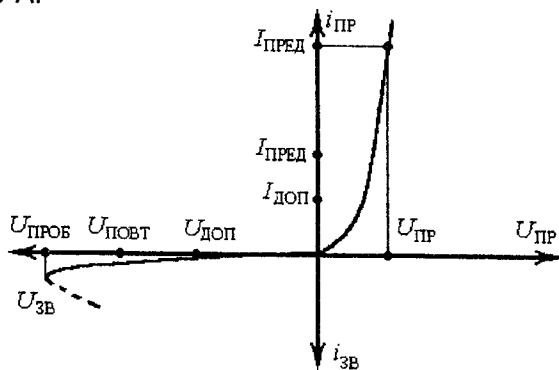


Рис. 2.31. Вольт-амперна характеристика діода

Другою важливою характеристикою діода є пряме падіння напруги $U_{пр}$ на вентилі при амплітудному значенні найбільшого струму. Величина $U_{пр}$ характеризує втрату потужності на нагрівання вентилів і, відповідно, ККД випрямляча.

Параметр, при значенні якого відбувається незворотне руйнування напівпровідникової структури вентиля, є $U_{проб}$. Величина повторюваної напруги $U_{повт}$ характеризується невеликою миттєвою напругою, яка прикладається до діода у зворотному напрямку. При цьому мається на увазі не лише амплітудне значення синусоїдної напруги U_m (рис. 2.30б), але й кидки напруги, що часто повторюються при перехідних процесах, які повинні бути нижчі $U_{проб}$ не менше ніж у 2 рази. У зварювальних випрямлячах використовуються вентиля 2...8 класів ($U_{повт}$ від 200 до 800 В). Допустима зворотна напруга діода

$U_{\text{доп}}$ з урахуванням кидків напруги при перехідних процесах повинна бути в 1,5 разу нижчою від $U_{\text{повт}}$. При виборі вентилів необхідно врахувати короточасні, але досить значні перевантаження по струму, які супроводжують роботу випрямляча. При технологічних перевантаженнях у режимі короткого замикання допускається перегрів кремнієвих діодів до температури 160°C . З паспортної перевантажної характеристики можна встановити, що таке 4-кратне перевантаження може тривати не більш 1,0 с. Із цієї ж характеристики випливає, що аварійне 8-кратне перевантаження, яке викликане коротким замиканням усередині випрямляча, допустиме при тривалості менше 0,03 с, тобто часу спрацьовування швидкодіючого автоматичного вимикача. Якщо $I_{\text{перед}}$ нижче необхідного, застосовують паралельне з'єднання 2—3 однакових вентилів. Послідовне з'єднання кремнієвих вентилів не застосовується, оскільки для зварювальних випрямлячів можна підібрати вентиля з будь-яким високим значенням $U_{\text{повт}}$.

Основні властивості тиристора наочно відображає його динамічна вольт-амперна характеристика (рис. 2.32).

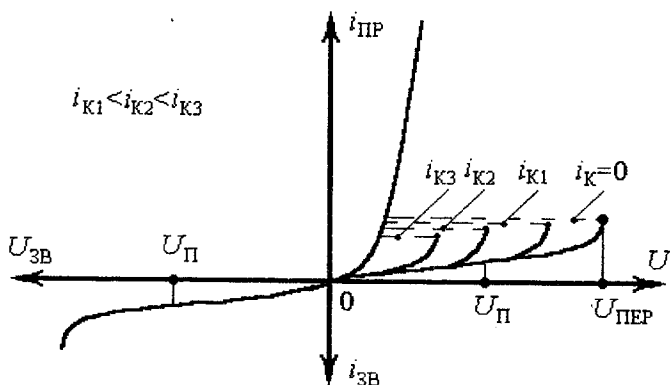


Рис. 2.32. Вольт-амперна характеристика тиристора

Якщо коло керуючого електрода тиристора розімкнуте, а пряма напруга між анодом і катодом не перевищує певного значення, яке називається напругою перемикавання $U_{\text{пер}}$, у силовому колі проходить дуже незначний струм. Тиристор при цьому закритий. Переведення тиристора із закритого стану у відкритий може бути здійснене двома способами:

- прикладенням до кола анод–катод прямої напруги, яка перевищує напругу перемикання $U_{\text{пер}}$. Таке перемикання є аварійним;
- подачею на керуючий електрод позитивного імпульсу керуючої напруги за умови вмикання тиристора в прямому напрямку, тобто коли потенціал його анода вищий за потенціал катода.

У відкритому стані тиристор має дуже малий опір. Параметри прямої гілки ВАХ відкритого тиристора схожі на аналогічні параметри діода. Спад напруги на відкритому тиристорі при проходженні прямого струму мале, і значення струму практично визначається лише параметрами зовнішнього кола. Процес відкриття тиристора відбувається дуже швидко. Час вмикання залежить від параметрів керуючих імпульсів і характеру навантаження. При збільшенні струму керування час вмикання знижується. Закриття тиристора відбувається при зміні полярності напруги між анодом і катодом. При роботі в колі змінного струму тиристор заблоковується під час проходження негативної півхвилі напруги. При роботі в колі постійної напруги він може заблоковуватися тільки з допомогою спеціальних пристроїв, які короткочасно створюють на аноді від'ємну напругу. Час вимикання тиристора або час відновлення його властивостей у прямому напрямку визначають як час від моменту зниження прямого струму до моменту, коли клапан відновлює здатність витримати прикладену до нього пряму напругу визначеної амплітуди і швидкості наростання. Напруга $U_{\text{п}}$, яка повторюється – це найбільша миттєва напруга, що прикладається до тиристора у зворотному і прямому закритому напрямках, з урахуванням усіх перехідних напруг, які повторюються і виникають, наприклад, при відновленні заблокованих властивостей клапанів. Принцип роботи тиристора можна розглянути на прикладі найпростішої схеми (рис. 2.33).

При подачі на керуючий електрод позитивного відносно катода імпульсу напруги, тиристор VS відкривається із затримкою на електричний кут « α », який відповідає моменту подачі імпульсу керування. Середнє значення випрямленого струму $I_{\text{пр}}$, пропорційне заштрихованій площі частини додатного півперіоду для тиристора менше ніж для діода і знижується зі збільшенням затримки вмикання (кута відкриття) « α ». На час від'ємного півперіоду VS закритий. Таким чином, тиристор може використовуватись не лише для випрямлення, а й для регулювання струму і напруги.

У джерелах живлення для зварювання застосовують і силові транзистори. Найбільш перспективною є схема із загальним емітером (рис. 2.34).

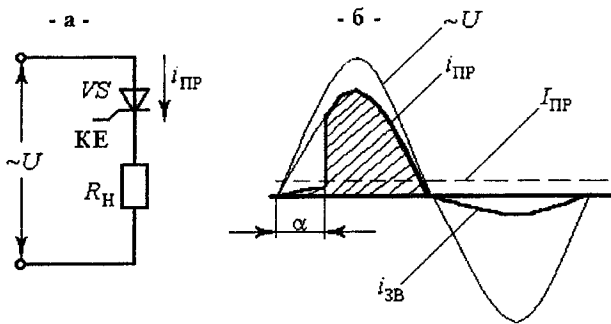


Рис. 2.33. Тиристор у колі змінного струму (а) і осцилограма його параметрів (б)

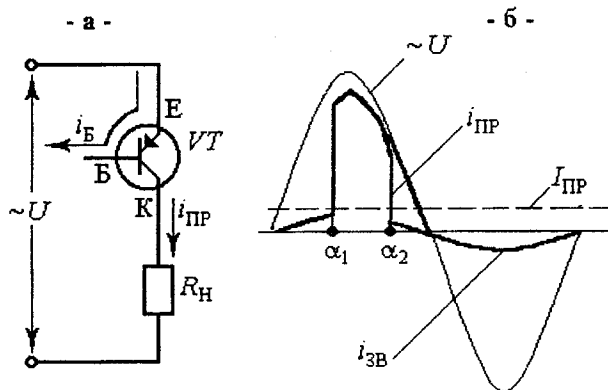


Рис. 2.34. Транзистор у колі змінного струму (а) і осцилограма його параметрів (б)

Зазвичай транзистор VT використовують у режимі ключа. У додатному півперіоді (поки в режимі відсічки до моменту « α_1 » на базу B не подано струму i_B) практично відсутній і прями́й струм $i_{ПР}$ колектора K , а отже, і струм у навантаженні. При подачі струму i_B достатньої величини транзистор у момент « α_1 » одразу перейде в режим насичення, в якому прями́й струм колектора $i_{ПР}$ різко збільшується до величини, обмеженої тільки напругою живлення і опором навантаження R_H . При зніманні струму бази в момент « α_2 » різко знизиться і прями́й струм $i_{ПР}$. У від'ємному півперіоді струм у навантаженні практично відсутній. Середнє значення струму $I_{ПР}$ залежить від величин « α_1 » та « α_2 » і може регулюватись у широких межах. Транзистор може також використовуватися для регулювання випрямленого струму.

2.6.1. Структура умовного позначення вентилів

Умовне позначення вентилів складається з позначення їх типу, класу, кліматичного виконання, категорії розміщення і стандарту. Додатково можуть бути обумовлені межі за імпульсним прямим падінням напруги (імпульсною напругою у відкритому стані), для діодів – група за часом зворотного відновлення, для тиристорів – група за критичною швидкістю зростання напруги, група за часом вмикання.

Позначення складаються з літер і цифр, які вказують на вид і підвид, його модифікацію, значення струму в амперах, у разі необхідності – літеру, яка позначає зворотну полярність. Для позначення виду використовуються літери В, Д (діоди), Т (тиристори). Для діодів і тиристорів, котрі мають лавинні вольт-амперні характеристики, в позначення виду додатково входить літера Л. До буквеного позначення виду можуть додаватись літери Ч (швидковмикаючий або високочастотний), Б (швидкодіючий), И (швидкозмикаючий або імпульсний), які характеризують підвид вентиля залежно від його комутаційних параметрів.

Діод уніфікованої серії, штирового виконання з гнучким виводом, першої модифікації, з розміром шестигранника “під ключ” 32 мм, на середній струм 200 А, зворотної полярності (індекс Х), на напругу, що повторюється (800 В) позначається таким чином:

Д 161-200 Х-8, ГОСТ 20859-79

Аналогічно діод високочастотний, I модифікації, з розміром “під ключ” 27 мм, штирової конструкції з гнучким виводом, максимально досяжний середній струм 100 А, напруга, що повторюється, – 700 В, час зворотного відновлення не > 1,6 мкс.

Тиристор уніфікованої серії швидкодіючий, таблеточний, першого конструктивного виконання, розмір шестигранника “під ключ” 27 мм на струм 63 А, напруга, що повторюється, – 600 В, із критичною швидкістю наростання напруги за четвертою групою 200 В/мкс, з часом вимкнення за четвертою групою не > 32 мкс, включення – не > 1,6 мкс (5 група) позначається таким чином:

ТБ 151 63-6-445, ГОСТ 20859-79

Аналогічно тиристор лавинний першої модифікації, розмір шестигранника “під ключ” 41 мм, конструктивне виконання – штирове з гнуч-

ким виводом, середній струм у відкритому стані 320 А, напруга, що повторюється, – 1000 В (10 клас), критична швидкість наростання напруги в закритому стані 500 В/мкс позначається так:

ТЛ 171-320-10-6

Кремнієвий транзистор штировий, виконання на найбільший струм колектора 100 А і максимально допустиму напругу кола «колектор–база» 300 В позначається так:

ТК 152-100-3У2.

2.7. ТИРИСТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

2.7.1. Призначення і конструкція тиристорних трансформаторів

Тиристорні трансформатори (ТТ) – це джерела живлення дуги змінного струму, в основу конструкції яких покладено спосіб фазового регулювання струму або напруги.

Основним вузлом ТТ є тиристорний фазорегулятор, який працює із силовим трансформатором і складається із двох зустрічно-паралельно включених тиристорів і системи їх керування. Функціональну схему тиристорного трансформатора подано на рис. 2.35.

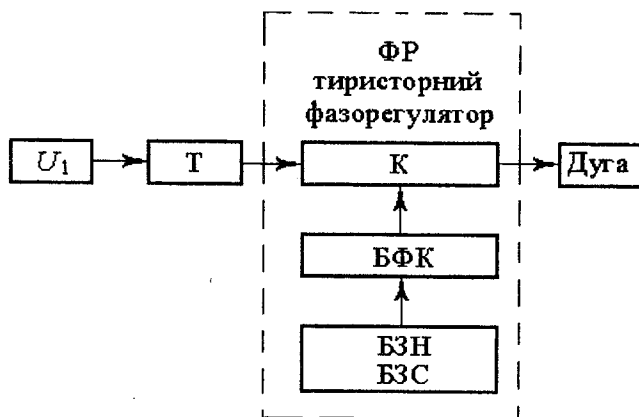


Рис. 2.35. Функціональна схема тиристорного трансформатора

Блок фазового керування (БФК), який здійснює регулювання змінного струму, побудований на перетворенні синусоїдного струму у знаковмінні імпульси, амплітуда і тривалість яких визначається кутом (фазою) ввімкнення тиристорів. Трансформатор T слугує для зниження напруги мережі до необхідної при зварюванні і має магнітопровід стрижневого типу з фіксованим підвищеним магнітним розсіянням. Відсутність рухомих частин і шунтів, які вимагають високої якості складання і схильних до вібрації, дозволяють зробити силовий трансформатор простим у виготовленні і довговічним в експлуатації. Тиристорний фазорегулятор ФР, котрий вміщує в себе комутатор K , блок БФК і блок завдання напруги БЗН або струму БЗС, виконує функції регулювання режиму і формування зовнішньої характеристики. Причому ФР може встановлюватись як у колі первинної, так і вторинної обмотки трансформатора. Блок завдання БЗН або БЗС призначений для встановлення необхідного (опорного) значення зварювального струму або напруги.

Тиристорні трансформатори належать до джерел живлення з електричним керуванням і мають ряд суттєвих переваг порівняно із трансформаторами з механічним регулюванням. У них легко здійснюються дистанційне і програмне керування процесом зварювання і регулювання параметрами режиму. З допомогою зворотних зв'язків за струмом або за напругою створюються вольт-амперні характеристики різного вигляду, забезпечується стабілізація вихідних параметрів у випадку зміни напруги мережі живлення.

2.7.2. Принципові силові схеми тиристорних трансформаторів

Силові схеми тиристорних трансформаторів поділяються в основному за способом забезпечення безперервності процесу зварювання і діляться на такі групи:

- трансформатори з переривністю струму навантаження та імпульсною стабілізацією;
- трансформатори з колом підживлення.

Розглянемо роботу комутатора, який включений у вторинну обмотку трансформатора і складається із зустрічно-паралельно включених тиристорів $VS1$ і $VS2$ на активне навантаження (рис. 2.36).

У позитивному півперіоді осцилограми струму і напруги з моменту t_1 струм почне пропускати тиристор $VS1$, увімкнений із запізненням

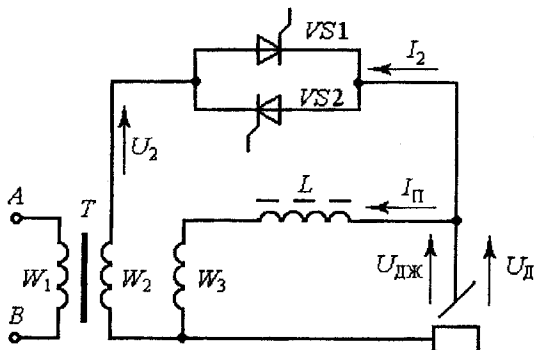


Рис. 2.36. Спрощена електрична схема трансформатора з тиристорним регулятором у вторинному колі

на електричний кут « α » відносно часу t_0 , тобто коли на його керуючий електрод від БФК надійде розблокований імпульс (рис. 2.37). Вимкання $VS1$ відбудеться в момент часу t_2 , що пов'язано зі зникненням позитивного потенціалу на аноді тиристора. У негативному півперіоді з таким же запізненням на кут « α » з моменту t_3 увімкнеться $VS2$ і вимкнеться в момент t_4 .

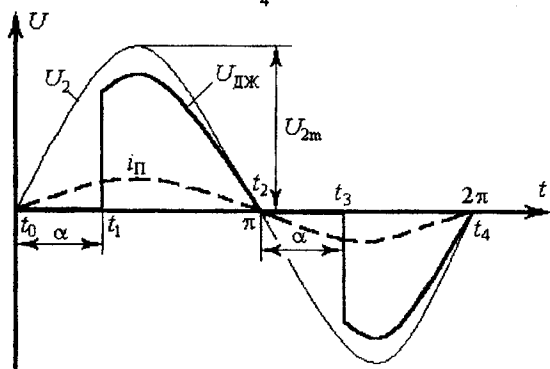


Рис. 2.37. Осцилограма струму і напруги трансформатора з тиристорним регулятором у вторинному колі

Напруга на навантаженні $U_{Дж}$ відрізняється від U_2 , і її середнє значення за півперіод буде дорівнювати:

$$U_{Дж} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{2m} \sin \alpha d\alpha = \frac{U_{2m}}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (2.42)$$

Середнє значення U_{2cp} за півперіод:

$$U_{2cp} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin \alpha d\alpha = \frac{2U_{2m}}{\pi} \quad (2.43)$$

З рівнянь (2.42) і (2.43) видно, що середнє значення напруги на навантаженні $U_{дж}$ становить частину середнього значення вторинної напруги U_{2cp} :

$$U_{дж} = \frac{1 + \cos \alpha}{2} U_{2cp}$$

Регулювання струму і напруги навантаження залежить від кута відкриття тиристора « α », тобто від моменту часу подачі відпираючого імпульсу на керуючий електрод VS. Зі збільшенням « α » напруга $U_{дж}$ і I_2 спадають.

$$\alpha \uparrow \Rightarrow U_{дж} \downarrow \Rightarrow I_2 \downarrow$$

Осцилограма зварювального струму I_2 при горінні дуги від тиристорного трансформатора дещо відрізняється від поданої на рис. 2.37.

З моменту t_1 струм зростає більш плавно, і його протікання триває до моменту дещо пізніше t_2 . Тому реальна крива струму навантаження наближається до синусоїди, особливо при малих кутах відкриття тиристора « α ».

Система фазового регулювання при всіх її перевагах (плавність регулювання струму і навантаження, низькі масо-габаритні показники і т. д.) має ряд суттєвих недоліків, основним серед яких є зниження стійкості горіння дуги змінного струму. Із рис. 2.37 видно, що в інтервалах t_0-t_1 , t_2-t_3 утруднене повторне запалювання дуги, оскільки цей час переривання в горінні дуги створює умови для охолодження міжелектродного проміжку. Причому, чим більший кут відкриття тиристора, тим нижча стійкість. Для усунення цього недоліку в схему ТТ вводиться коло підживлення, яке підтримує горіння малопотужної дуги в час переривання горіння основної зварювальної дуги. Такі ТТ відносяться до трансформаторів з колом підживлення, окремі електричні схеми силової частин яких подані на рис. 2.38а, б.

Струм підживлення i_n поданий на рис. 2.37 пунктирною лінією, і величина його може становити від 10 до 30 А залежно від призначення трансформатора. Фазорегулятор може бути увімкнений в коло первинної або вторинної обмотки трансформатора, залежно від його номінальної потужності (рис. 2.38а, б).

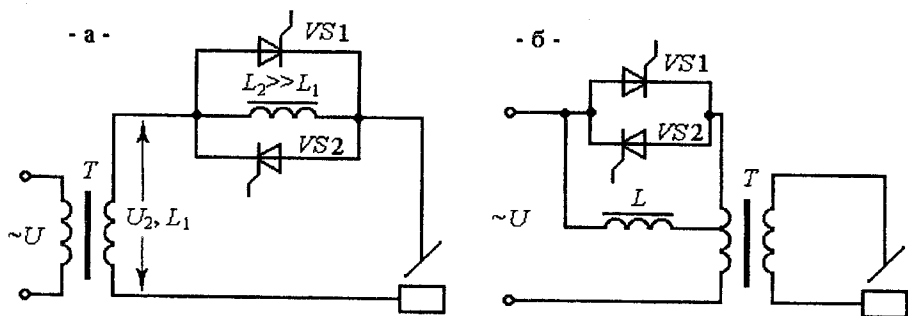


Рис. 2.38. Спрощені електричні схеми (а,б) тиристорних трансформаторів з колом підживлення

При встановленні ФР у вторинну обмотку, у зв'язку з більшою величиною комутованого (зварювального) струму, необхідно застосовувати потужні дорогі тиристири або збільшувати їх число для встановлення на паралельну роботу. При включенні ФР у первинну обмотку відпадає необхідність застосовування потужних тиристорів, але принцип регулювання параметрів такий самий. Крива струму навантаження має вигляд спотвореної синусоїди. Підживлення в цьому випадку створюється за рахунок шунтування тиристорного регулятора ФР дроселем L з індуктивним опором X_L , що значно перевищує величину X_T .

У трансформаторах з переривчастим живленням дуги коло підживлення виключене, і горіння дуги носить перервний характер. У схемі, поданій на рис. 2.39, паралельно первинній обмотці силового трансформатора включена ємність і додаткова слабкострумна обмотка, яка розміщена у зоні вторинної обмотки трансформатора для забезпечення належного магнітного зв'язку.

При вмиканні одного з тиристорів ФР конденсатор заряджається до поточкового значення напруги мережі. Його зарядний струм проходить по додатковій обмотці, трансформується у вторинній обмотці, викликаючи на дуговому проміжку імпульс напруги, достатній для впевненого повторного запалювання дуги. По закінченні періоду провідності тиристора дуга гасне і конденсатор розряджається на первинну обмотку. У наступний півперіод напруги мережі вмикається другий тиристор фазорегулятора, конденсатор заряджається у зворотному напрямку, його зарядний струм викликає стабілізуючий імпульс у міжелектродному проміжку і повторно збудження дуги. Па-

раметри стабілізуючого імпульсу визначаються підбором співвідношення витків імпульсної і вторинної обмоток, а також ємністю конденсатора.

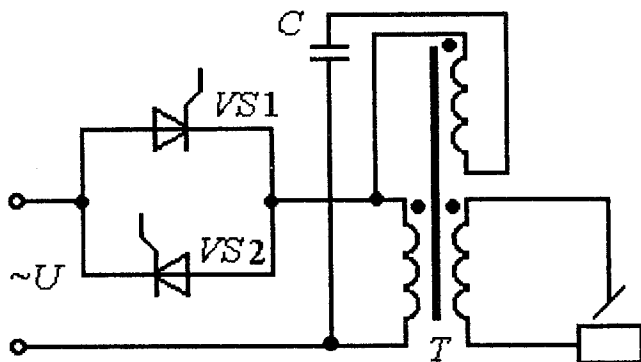


Рис. 2.39. Спрощена електрична схема трансформатора з переривчастим живленням дуги

2.7.3. Схема імпульсно-фазового керування (СФК) тиристорних трансформаторів

До СФК входить фазозсувний пристрій (ФП), який здійснює прив'язку СФК до мережі змінного струму, від якої живиться тиристорний трансформатор. Він також забезпечує формування керуючих імпульсів і плавну зміну їх фаз відносно напруги мережі живлення. Для керування двома протифазними тиристорами зазвичай використовується один ФП. До СФК входить також і вихідний пристрій (ВП), який формує імпульси, що забезпечують гарантоване включення будь-якого тиристора даного типу в обраній силовій схемі трансформатора. СФК повинна бути перешкодостійкою, надійною, мати високу швидкодію, забезпечувати діапазон зміни фаз імпульсів, їх симетрію в обох півперіодах і т. д.

Принцип дії фазозсувного пристрою (рис. 2.40) побудований на зарядженні конденсатора $C3$ до визначеного рівня з подальшим його розрядженням на первинну обмотку імпульсного трансформатора $T1$. Зарядне коло живиться трапецеїдальною випрямленою напругою, яка знімається зі стабілітрона $VD5$, увімкненого на виході випрямного блоку $VD1$ - $VD4$.

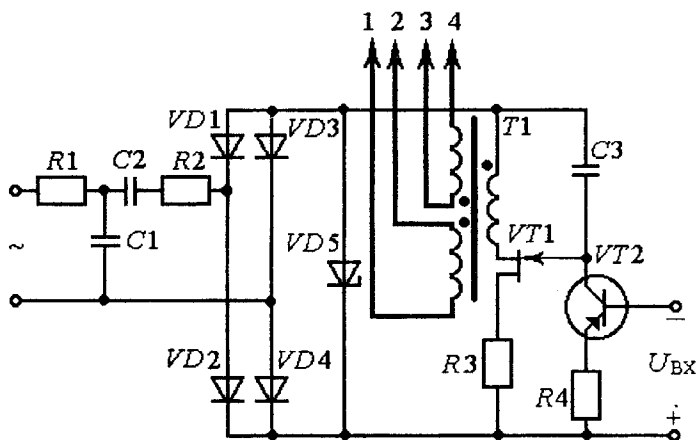


Рис. 2.40. Спрощена електрична схема фазозсувного пристрою системи імпульсно-фазового керування тиристорних трансформаторів

Інтегродиференціюючий фільтр $C1$, $C2$, $R1$, $R2$ зменшує вплив спотворень напруги мережі живлення. Конденсатор $C3$ заряджається колекторним струмом транзистора $VT2$, включеного по схемі із загальним емітером, до моменту, поки напруга заряду не досягне значення $U_c = kU_1$, де k – коефіцієнт переключення одноперехідного транзистора $VT1$, рівний $0,65-0,9$, а U_1 – напруга живлення схеми, рівна напрузі стабілізації стабілітрона $VD5$. Після цього $VT1$ відкривається, і $C3$ розряджається на первинну обмотку $T1$. Утворені імпульси тривалістю близько 10 мкс надходять через вторинні обмотки імпульсного трансформатора $T1$ на вихідний пристрій (клеми 1–4).

Після розрядження $C3$ відбувається відновлення запираючої здатності $VT1$ і повторне зарядження $C3$. Цей процес утворення пілкоподібної напруги завершується в кінці півперіоду напруги живлення при спаданні трапецеїдальної напруги стабілітрона $VD5$ до 0 і відновлюється на початку наступного півперіоду. При нульовому значенні напруги живлення конденсатор $C3$ розряджається, що забезпечує синхронізацію роботи фазозсувного пристрою з напругою мережі.

Вихідний пристрій ВП формує імпульси керування силових тиристорів і може бути збудований за схемою з використанням анодної напруги самих тиристорів або напруги допоміжного трансформатора. Схему з використанням допоміжного трансформатора подано на рис. 2.41.

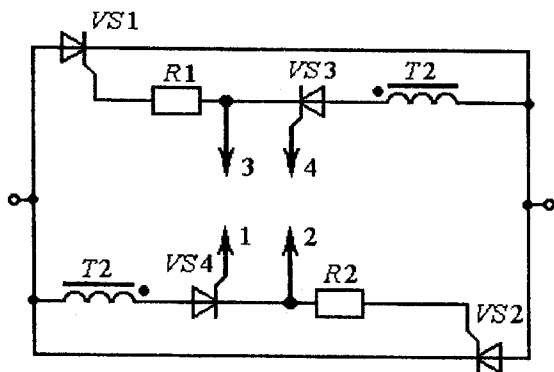


Рис. 2.41. Спрощена електрична схема вхідного пристрою з використанням допоміжного трансформатора з імпульсною стабілізацією

Малопотужні тиристри $VS3$ ($VS4$) є комутаторами в колі допоміжного трансформатора $T2$, струмообмежуючого резистора $R1$ ($R2$) і керуючого переходу силових тиристорів $VS1$ ($VS2$). Тиристри $VS3$ ($VS4$) включені в протифазні кола, і тому, незважаючи на те, що імпульси на їх увімкнення з ФП надходять в обидва півперіоди, кожний з них відкривається тільки в той півперіод, коли анодна напруга на ньому позитивна. Робота СФК з даним вихідним пристроєм ілюструється на діаграмі напруг, яку подано на рис. 2.42.

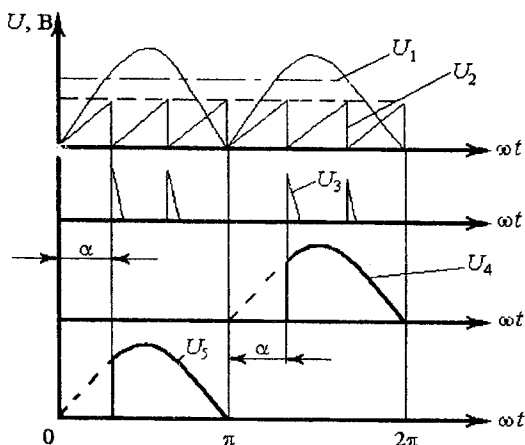


Рис. 2.42. Діаграма напруг на елементах системи фазозсувного блоку

Трапецеїдальна напруга живлення фазозсумного пристрою U_1 формується із синусоїдної випрямленої напруги. Пилкоподібна напруга U_2 характеризує зарядження конденсатора $C3$. Утворені при розрядженні конденсатора імпульси напруги U_3 на вторинних обмотках трансформатора ФП керують моментами спрацьовування (кут « α ») малопотужних тиристорів $VS3$ і $VS4$. Імпульси напруги U_4 і U_5 , які керують протифазними силовими тиристорами $VS1$ і $VS2$, надходять з обмоток допоміжного трансформатора $T2$ через тиристори $VS3$ і $VS4$. Тривалість імпульсів керування рівна « $\pi - \alpha$ ».

Схему вихідного пристрою з увімкненням тиристорів $VS1$ і $VS2$ від своєї анодної напруги подано на рис. 2.43.

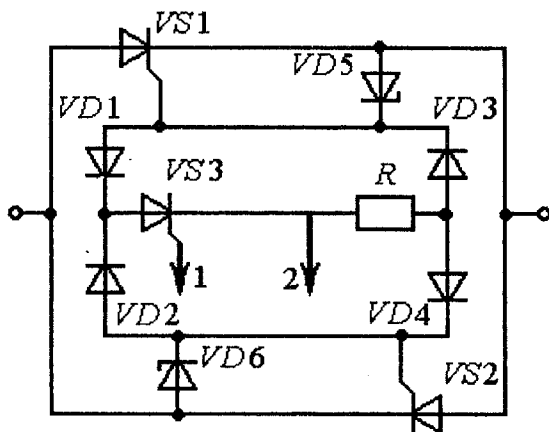


Рис. 2.43. Спрощена електрична схема вхідного пристрою з використанням анодної напруги тиристорів

Малопотужний тиристор $VS3$ включений послідовно зі струмообмежуючим резистором R у діагональ мосту $VD1 - VD4$. На керуючий електрод $VS3$ надходять імпульси із затискачів 1 і 2 фазозсумного пристрою. Силовий тиристор $VS1$ вмикається від своєї анодної напруги по колу: стабілітрон $VD6$, діод $VD2$, тиристор $VS3$, резистор R , діод $VD3$, керуючий електрод тиристора $VS1$.

Вимикання $VS1$ або $VS2$ відбувається за наявності на ньому позитивної анодної напруги в момент вмикання $VS3$ від імпульса з ФП.

Вимикаючись, силовий тиристор $VS1$ або $VS2$ шунтує міст $VD1 - VD4$, і струм керування припиняється. Стабілітрони $VD5$, $VD6$ обмежують напругу на керуючих електродах силових тиристорів.

2.7.4. Формування зовнішніх характеристик у тиристорному трансформаторі

Якщо кут регулювання в СФК задавати вручну і не змінювати у процесі навантаження, то тиристорний трансформатор буде працювати на природних зовнішніх характеристиках, наведених на рис. 2.44. При цьому нахил характеристик залежатиме від величини X_T . Коло підживлення має високу напругу неробочого ходу та крутоспадну нерегульовану зовнішню характеристику-1.

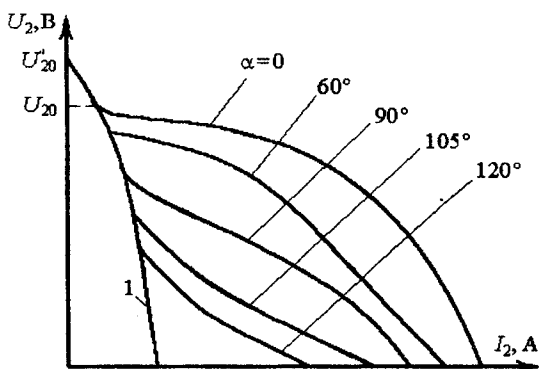


Рис. 2.44. Зовнішні природні характеристики тиристорного трансформатора

У трансформаторах, призначених для конкретних видів зварювання, вдаються до формування зовнішніх характеристик з потрібною крутизою. У випадку роботи тиристорного трансформатора у складі зварювального автомата з незалежною від дугової напруги швидкістю подачі електродного дроту ТТ повинен мати жорстку або плого-спадну зовнішню характеристику. Для цього застосовують ТТ з від'ємним зворотним зв'язком за напругою. Для формування спадних ВАХ використовуються ТТ з від'ємним зворотним зв'язком за струмом. Таким чином, для отримання заданих характеристик, а також для стабілізації режиму зварювання в тиристорному трансформаторі застосовують замкнуті системи автоматичного регулювання. Функціональну схему ТТ зі зворотним зв'язком за струмом як об'єкта автоматичного регулювання подано на рис. 2.45.

Датчик струму формує сигнал, пропорційний зварювальному струму $U_{ДС} = kI_2$, який порівнюється у блоці порівняння БП з сигналом, пропорційним заданому значенню струму $U_{ЗС} = kI_{ЗС}$. Різниця двох

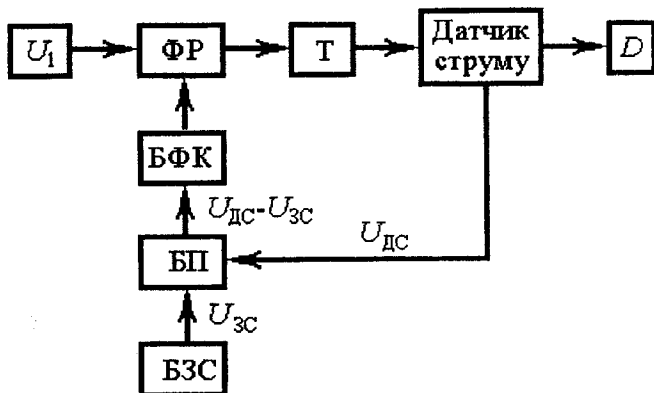


Рис. 2.45. Функціональна схема тиристорного трансформатора зі зворотним зв'язком за струмом

сигналів $U_{ДC} - U_{3C} = k(I_2 - I_{3C})$ подається до блоку БФК і, змінюючи кут керування « α » тиристорів вихідного пристрою, діє на величину вторинної напруги U_2 трансформатора T . Таким чином, при збільшенні зварювального струму I_2 кут « α » зростає, що призводить до зменшення U_2 .

$$I_2 \uparrow \Rightarrow U_{ДC} \uparrow \Rightarrow (U_{ДC} - U_{3C}) \uparrow \Rightarrow \alpha \uparrow \Rightarrow U_2 \downarrow$$

На рис. 2.46 показано, як із природних пологоспадних характеристик трансформатора формується штучна крутоспадна зовнішня характеристика.

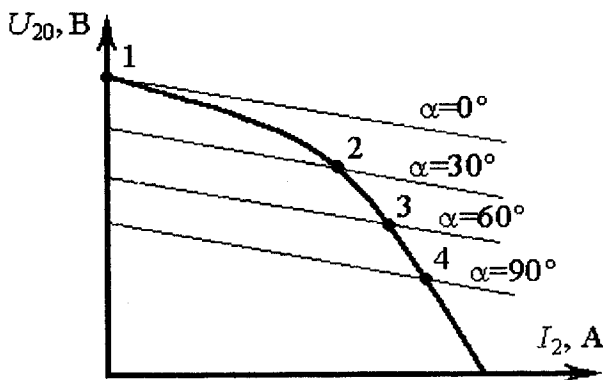


Рис. 2.46. Зовнішня характеристика тиристорного трансформатора зі зворотним зв'язком за струмом

У режимі неробочого ходу струм $I_2=0$, і тому зворотний зв'язок не діє, тобто кут відкриття тиристора « α » дорівнює 0, а величина U_2 максимальна (точка 1). У режимі навантаження зі зростанням I_2 кут « α » збільшується, а U_2 знижується. В такому разі режим роботи трансформатора відображується робочими точками 2,3,4 залежно від величини кута керування « α ». При введенні зворотних зв'язків за напругою дуги або мережі отримують стабілізовані (незалежні від коливання напруги мережі) жорсткі зовнішні характеристики.

2.7.5. Конструкція тиристорних трансформаторів Трансформатори типу ТДФЖ

Трансформатори типу ТДФЖ-1002УЗ і ТДФЖ-2002УЗ призначені для автоматичного зварювання під флюсом. Їхні номінальні параметри наведені в табл. 2.1. Вони мають тиристорне регулювання і забезпечують імпульсну стабілізацію процесу зварювання. Магнітопровід силового трансформатора-4 стрижневого типу, набірний і виготовлений зі сталі марки 3414, товщина листів 0,35 мм (рис. 2.47).

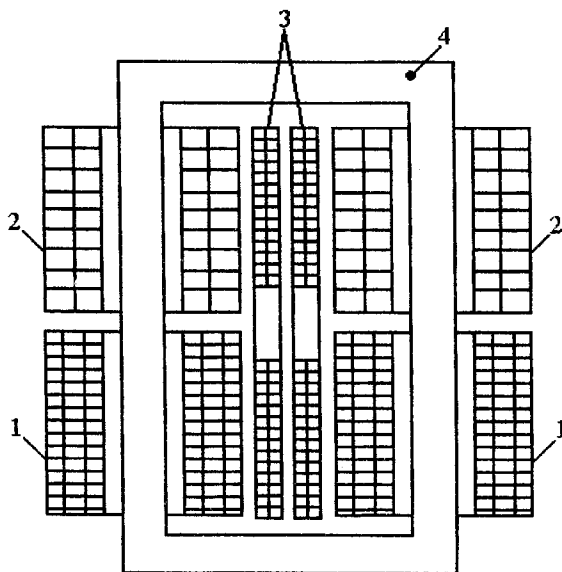


Рис. 2.47. Конструкція магнітопроводу і розміщення котушок трансформатора ТДФЖ-1002УЗ

Обмотки виконані шиною, намотаною на ребро, і встановлені на стрижнях на заданій відстані один від одного. Тому природні характеристики трансформатора – спадні. Первинна-1 і вторинна-2 обмотки складаються кожна з двох котушок, розділених на дві послідовно з'єднані секції. Між секціями котушок вторинної обмотки встановлені обмотки імпульсної стабілізації. У вікні трансформатора розміщені дві котушки реакторної обмотки-3, які дозволяють проводити ступінчасте регулювання струму.

Трансформатор ТДФЖ-1002 має два діапазони зварювального струму, причому для роботи на ступенях малих струмів котушки реакторної обмотки включені послідовно і узгоджено по відношенню до первинної обмотки. У трансформаторі ТДФЖ-2002 котушки реакторної обмотки увімкнені послідовно для зварювання в діапазоні малих струмів і паралельно – в діапазоні середніх струмів. При зварюванні на ступенях великих струмів реакторні обмотки вимикаються. Регулювання зварювальної напруги і формування штучної пологоспадної характеристики виконується з допомогою пари зустрічно-паралельно з'єднаних силових тиристорів. Спрощену принципову схему трансформатора ТДФЖ-1002У3 подано на рис. 2.48.

Регулятором напруги на первинній обмотці силового трансформатора $T1$ слугують тиристири $VS1$ і $VS2$. При зварюванні в діапазоні великих струмів обмотки 7, 8 реакторної котушки вимикаються. Імпульси керування надходять на тиристири з блоку фазозсувного керування БФК, на вхід якого подано різницю сигналів завдання робочої (опорної) напруги і зворотного зв'язку. Коло завдання робочої напруги живиться від обмотки $T2.3$ допоміжного трансформатора $T2$. Після випрямлення мостом $VD1$ і згладжування конденсатором $C4$ напруга подається на стабілітрон $VD2$. Для стабілізації робочої напруги трансформатора використовується поділювач із резисторів $R5$ і $R6$. На потенціометр завдання робочої напруги $R7$ подається різниця стабілізованої напруги – на стабілітроні $VD2$ і не стабілізованої – на резисторі $R5$. Таким чином, у випадку підвищення напруги мережі сигнал завдання на $R7$ зменшується, а при зниженні напруги мережі – збільшується. Напруга завдання з потенціометру $R7$ порівнюється з сигналом зворотного зв'язку за робочою напругою. Коло зворотного зв'язку складається з випрямного блоку $VD3$, резисторів поділювача напруги зворотного зв'язку $R10$, $R11$ і згладжувального конденсатора $C6$. У повністю сформованому вигляді напруга зворотного зв'язку

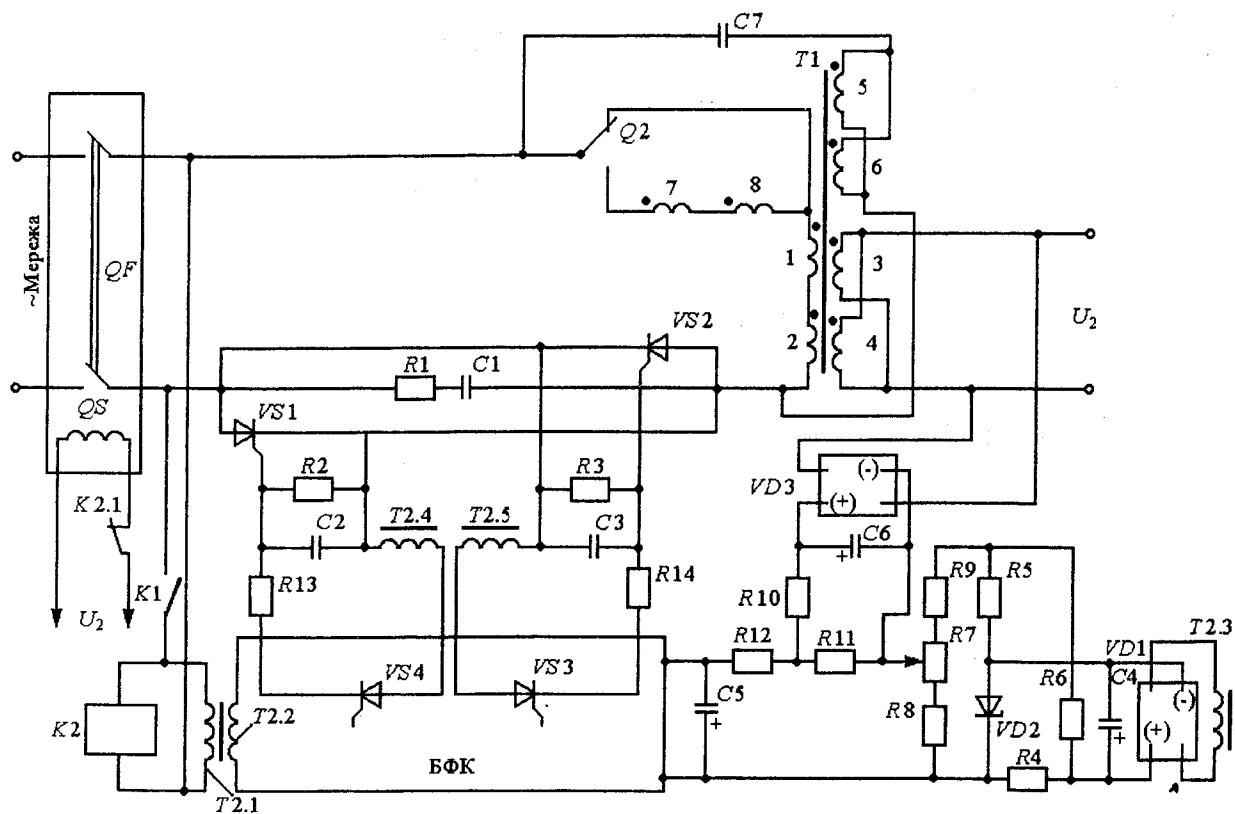


Рис. 2.48. Спрощена принципова електрична схема трансформатора ТДФЖ-1002У3

виділяється на $R11$. Резистори $R8$ і $R9$ слугують для встановлення мінімального і максимального значень робочої напруги трансформатора. Різниця між напругою завдання і зворотного зв'язку через R - C фільтр ($R12$, $C5$) подається на вхід БФК. Зменшення напруги на виході трансформатора в результаті дії будь-яких збурень (наприклад, зменшення вольоту електрода) призводить до зниження сигналу зворотного зв'язку. Оскільки напруга завдання залишається постійною, то зростає різницевий сигнал на вході БФК. Заряд конденсатора, який задає час, фазозсувного пристрою прискорюється, зменшується час від початку півперіоду напруги мережі живлення до моменту розряду конденсатора і надходження імпульсів керування на силові тиристори. Усе це приводить до підвищення напруги трансформатора до попереднього значення. Захист силових тиристорів від комутаційних перенапруг здійснюється з допомогою кола $R1$ - $C1$, захист керуючих переходів тиристорів від випадкових сигналів відбувається з допомогою $R2$, $R3$ і $C2$, $C3$. Імпульсна стабілізація процесу зварювання здійснюється за рахунок конденсатора $C7$ і слабкострумних обмоток 5, 6 трансформатора. При увімкненні вимикача $K1$ напруга мережі надходить на блок БФК, вузол завдання робочої напруги (обмотка $T2.3$) і на вихідний пристрій БФК (обмотки $T2.4$ і $T2.5$). На вторинній обмотці 3, 4 встановлюється напруга неробочого ходу, відповідна установці потенціометра $R7$. У випадку пробією силових тиристорів при відсутності навантаження на зварювальних клеммах з'являється повна напруга неробочого ходу. Тому для створення умов безпечної роботи оператора передбачено автоматичний захист у вигляді автоматичного вимикача QF . Виводи незалежного розщеплювача QS вимикача QF через нормально-замкнутий контакт магнітного пускача $K2$ підключені на вихідні затискачі трансформатора. Це забезпечує миттєве відмикання вимикача-розщеплювача від мережі у разі появи високої напруги неробочого ходу при налагоджувальних роботах.

Зовнішні характеристики для діапазонів великих і малих струмів трансформатора ТДФЖ-2002УЗ подано на рис. 2.49, а ТДФЖ-1002УЗ – на рис. 2.50.

Вигляд таких пологоспадних ВАХ дає можливість забезпечити підтримку постійної напруги на дузі. Величина зварювального струму визначається швидкістю подачі електродного дроту.

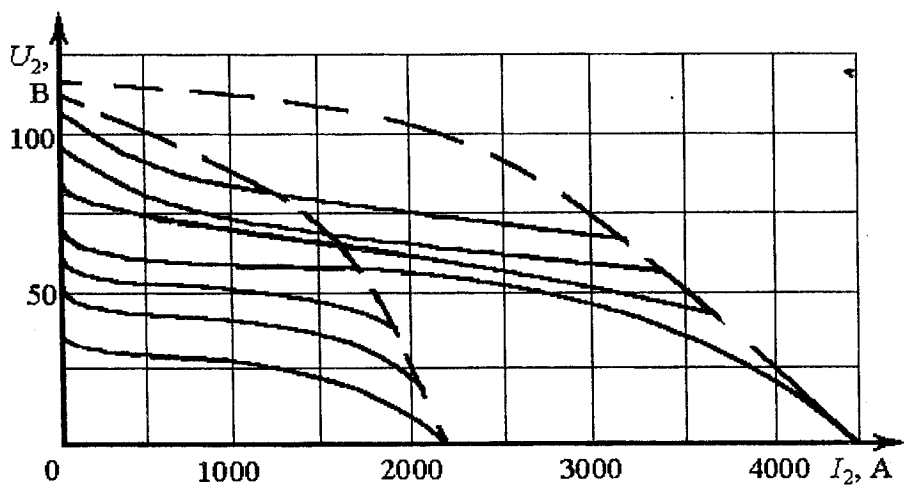


Рис. 2.49. Зовнішні характеристики трансформатора ТДФЖ-2002УЗ

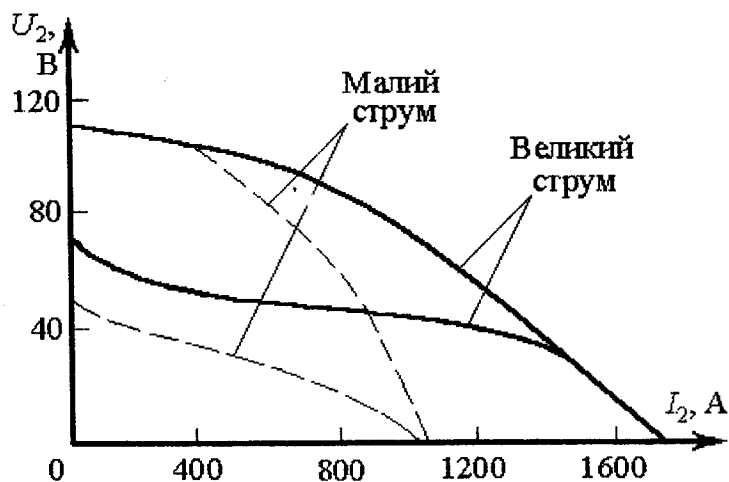


Рис. 2.50. Зовнішні характеристики трансформатора ТДФЖ-1002УЗ

2.7.6. Тиристорні трансформатори для ручного дугового зварювання, різання і наплавлення. Трансформатор типу ТДЕ-402

Тиристорний трансформатор ТДЕ-402 живить зварювальну дугу переривчастим струмом з імпульсною стабілізацією, виконаний за схемою, наведеною на рис. 2.39. Має два діапазони регулювання струму. Струм утворюється при плавному регулюванні всередині діапазону за рахунок зміни кута відкриття силових тиристорів, увімкнених зустрічно-паралельно в коло первинної обмотки трансформатора. Функціональну схему наведено на рис. 2.51.

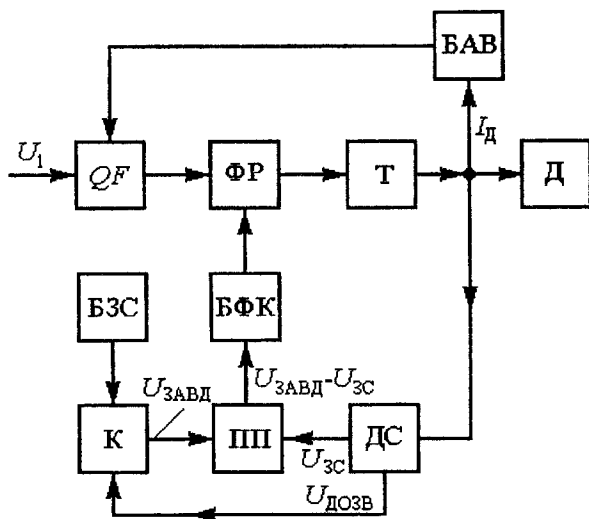


Рис. 2.51. Структурна схема зварювального трансформатора ТДЕ-402

Тиристорний фазрегулятор ФР поряд з функцією регулятора зварювального струму виконує також функцію пристрою зниження напруги неробочого ходу. Він виконаний на тиристорах ТЛ-200, керування якими відбувається від власної анодної напруги за схемою, наведеною на рис. 2.43.

Ключ K пропускає сигнал завдання U_{3ABD} із блоку завдання струму БЗС на порівнюючий пристрій ПП тільки за наявності сигналу дозволу $U_{ДОЗВ}$ з датчика зворотного зв'язку за струмом ДС зварювальної дуги Д. При роботі трансформатора в режимі навантаження ключо-

вий елемент K закритий і різниця сигналів $U_{\text{ЗАВД}}$ і $U_{\text{ЗС}}$ (зворотного зв'язку за струмом) надходить на вхід блока фазового керування БФК, визначаючи тим самим величину кута відкриття тиристорів і зварювального струму. Приблизно через 1 с після відриву дуги ключ K відкривається і на вторинній обмотці трансформатора T встановлюється напруга неробочого ходу 12 В, тобто на вхід БФК подається сигнал $U_{\text{ЗАВД}}$ без віднімання $U_{\text{ЗС}}$. Це забезпечує повне відкриття тиристорів фазорегулятора і, відповідно, легке повторне збудження дуги. В аварійному режимі, наприклад, у разі пробою одного з тиристорів, з'являється повна напруга неробочого ходу $U_{20}=80$ В. У цьому випадку автоматичне відімкнення трансформатора від мережі здійснюється блоком аварійного відмикання БАВ, який подає команду на незалежний розщеплювач автоматичного вимикача QF . Зовнішні характеристики наведено на рис. 2.52.

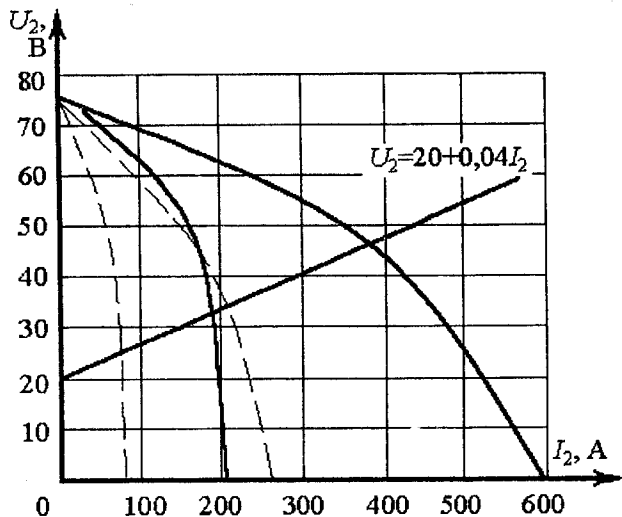


Рис. 2.52. Зовнішні характеристики трансформатора ТДЕ-402

ТРАНСФОРМАТОР ТИПУ ИП-1601УЗ

Даний трансформатор поряд зі зварюванням покритими електродами діаметром до 4 мм може виконувати функції пристрою для зарядки автомобільних акумуляторних батарей, а також запуску холодного двигуна автомобілів. Його технічні характеристики наведено у табл. 2.1.

Тиристорний трансформатор виконаний за схемою з колом підживлення дуги і фазорегулятором, включеним у первинну обмотку силового трансформатора. Підживлення в цьому випадку здійснюється завдяки шунтуванню фазорегулятора дроселем з опором, що значно перевищує X_T трансформатора. Плавна зміна струму здійснюється за принципом фазового регулювання тиристорного комутатора. Перемикання режимів роботи в положення «зварювання», «різання», «пуск» і «зарядка» проводиться з допомогою магазину з чотирьох гнізд, в які вставляються штирі залежно від необхідного режиму.

ТРАНСФОРМАТОР ТИПУ ЦС-200

Трансформатор живиться 3-фазною напругою мережі 380 В промислової частоти. Принцип дії ЦС-200 побудований на принципі помноження частоти, тому на вторинній обмотці силового трансформатора створюється напруга потроєної частоти 150 Гц, що відбивається на покращенні масо-габаритних показників джерела і стабільності горіння дуги. Спрощену принципову електричну схему ЦС-200 наведено на рис. 2.53.

При підключенні клем *A*, *B*, *C* до мережі живлення напруга подається на випрямний блок *VD8-VD13* через керуючі електроди оптронних тиристорів *VS1-VS6* і *R-C* кіл *R7-R9*, *C7-C9*. Живлення схеми запуску такого тиристорного трансформатора циклоконверторного типу здійснюється від випрямного мосту *VD8-VD13* через обмежуючі резистори *R12-R14*, резистор *R16* плавного регулювання зварювального струму, резистор *R15*, шунтуючий оптронний тиристор *VS7*, кнопку «Стоп» *SR*. Пуск джерела проводиться кнопкою «Пуск» *SQ*. При проходженні струму через керуючі електроди оптронного тиристора *VS7* він розблоковується, силові оптронні тиристори *VS1-VS6* вмикаються і на вторинну обмотку трансформатора *T1* подається напруга частотою 150 Гц. Зовнішні характеристики спадні через значний індуктивний опір X_T . До недоліків ЦС-200 можна віднести відсутність стабілізації вихідних параметрів і можливість живлення джерела тільки від трифазної мережі живлення.

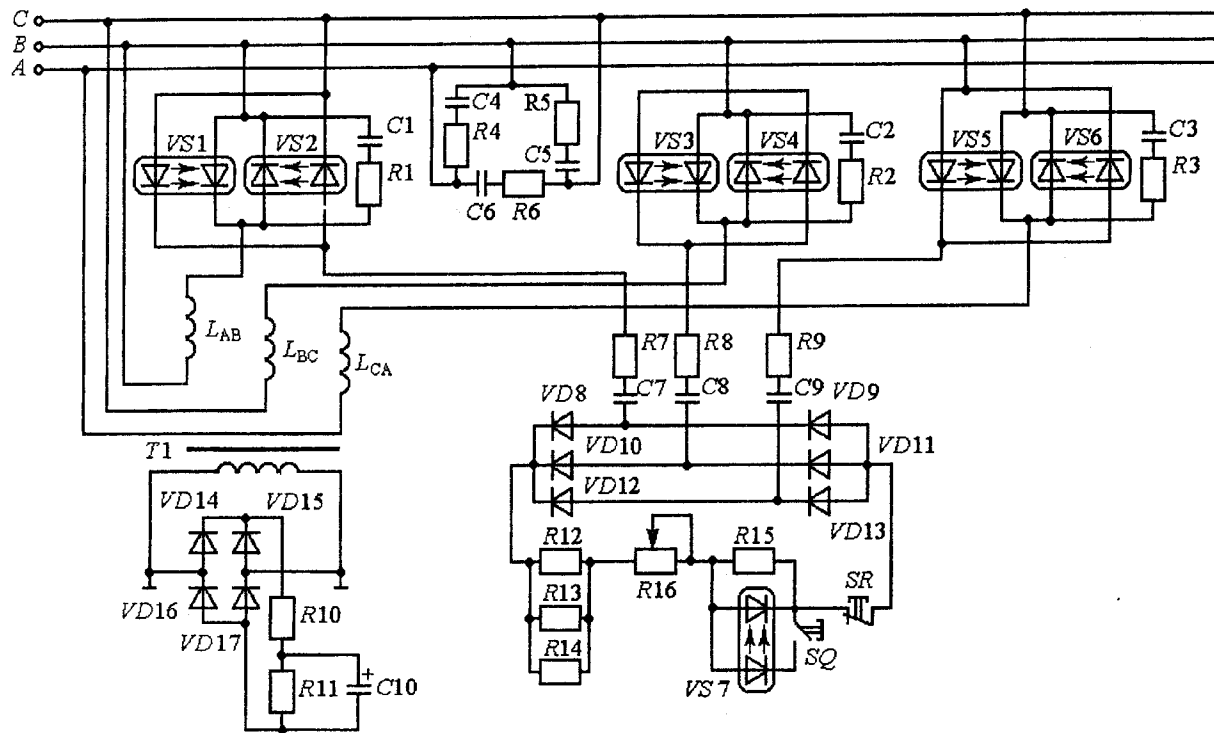


Рис. 2.53. Принципова електрична схема трансформатора ЦС-200

ТРАНСФОРМАТОР ІЗ ПІДЖИВЛЕННЯМ

У переносному трансформаторі ТДЕ-254 для ручного дугового зварювання (рис. 2.54) тиристорний регулятор VS1-VS2 встановлено у колі первинної обмотки, яка складається з двох котушок. Паралельно комутатору встановлено дросель L , який, крім підживлення, формує спадну характеристику. При вимкнених тиристорах первинна обмотка живиться через дросель з великим індуктивним опором, подібно до того, як працює трансформатор у колі зі вторинною обмоткою. При цьому формується крутоспадна характеристика 1 (рис. 2.54б). При увімкненому тиристорному регуляторі більша частина первинного струму йде по ньому, тому одночасно зі збільшенням напруги неробочого ходу спостерігається зменшення нахилу характеристики 2. В цьому випадку струм по дроселю йде тільки в інтервалі до включення тиристорів і підживлює основну дугу. Трансформатор може працювати як при напрузі мережі живлення 220, так і 380 В. Для цього секціонують обидві котушки первинної обмотки.

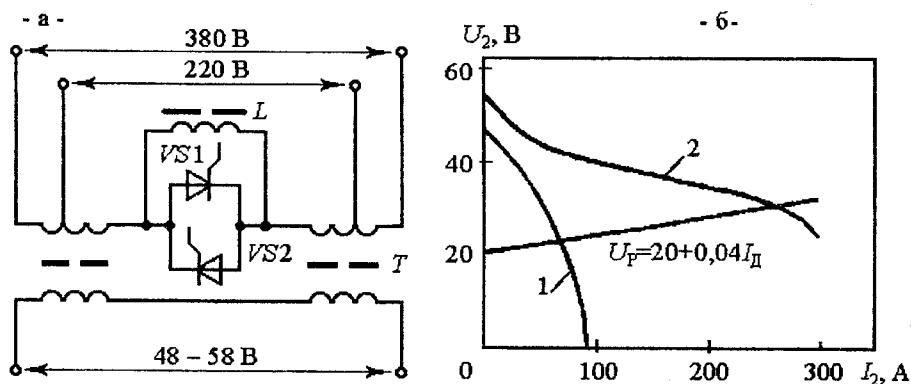


Рис. 2.54. Спрощена принципова електрична схема (а) і зовнішні характеристики (б) трансформатора ТДЕ-254

2.8. Джерела живлення для зварювання трифазною дугою

2.8.1. Особливості горіння трифазної дуги

При зварюванні трифазною дугою використовують два електроди. Третім електродом є зварювальний виріб. Дві фази джерела живлення підключають до електродів, третю – до виробу (рис. 2.55).

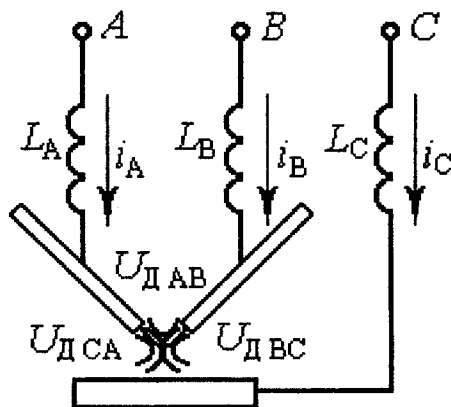


Рис. 2.55. Схема зварювання трифазною дугою

Горіння дуг відбувається у спільному плавильному просторі, причому їхня послідовність і тривалість горіння залежить від чергування фаз і параметрів кіл. Для стійкого горіння трифазної дуги, так само як і при зварюванні однофазною дугою, потрібний зсув фаз між струмом та напругою у колі кожної дуги. За наявності великої різниці в теплофізичних властивостях електродів і виробу в дугах електрод-виріб з'являється постійна складова.

При однакових умовах у кожний момент часу буде горіти не більше двох дуг. Насправді, може горіти і одна дуга, але тільки за несприятливих умов повторного запалювання. Варіант, коли не горить жодна дуга, неможливий. Повторне запалювання відбувається з високою надійністю, практично без піку запалювання ($U_3 = U_D$) в умовах, коли дуговий проміжок достатньо іонізований дугою, яка ще горить, і температура активних плям досить велика. Тому напруга

неробочого ходу U_{20} джерела живлення може бути знижена до величини $1,2U_D$. Стійкість горіння трифазної дуги дуже висока.

Другою її особливістю є можливість роздільного регулювання потужності, яка витрачається на плавлення електродів та виробу.

Крім того, можна роздільно змінювати співвідношення між струмами в окремих електродах, змінюючи довжину дуг або опір регуляторів L_A, L_B, L_C у лінійних дроселях. При зміні, наприклад, X_{LC} вдається змінювати відношення струму у виробі до струмів в електроді I_C/I_A від 0 до 1,7. При малому значенні I_C горить переважно незалежна дуга між електродами, які в основному і плавляться. Плавлення основного металу виробу при цьому незначне, що добре позначається при наплавленні. При великому значенні I_C плавлення основного металу відбувається більш інтенсивно, ніж електродів. У цьому випадку доцільно проводити зварювання виробів великої товщини, оскільки забезпечується глибоке проплавлення основного металу. Таке роздільне регулювання струму у виробі і на електродах свідчить про перевагу використання трифазної дуги порівняно з однофазною дугою змінного або постійного струму. Крім того, відбувається більш рівномірне завантаження фаз трифазної дуги.

2.8.2. Схеми живлення трифазної дуги з використанням трансформаторів

Спеціальні трифазні трансформатори для трифазного дугового зварювання сьогодні не випускаються. Раніше випускався спеціальний трансформатор типу ТТСД-1000 для живлення двоелектродних зварювальних автоматів, який виконаний на базі двох однофазних трансформаторів ТСД-1000-3. Ці трансформатори складені в одному корпусі і включені за схемою відкритого «трикутника», що забезпечувало однакову напругу на всіх трьох дугах (рис. 2.56).

Для отримання спадної зовнішньої характеристики та налагодження напруги на дугах послідовно вторинній обмотці вмикались два окремих дроселя $L1$ і $L2$ з регульованою індуктивністю. Для налагодження режимів спочатку встановлювалась задана швидкість подачі електрода, а потім, змінюючи одночасно опори обох дроселів і відстань між електродами, встановлювались відповідні напруги на усіх трьох дугах. Струм у виробі приблизно в 1,73 рази перевищував струм в електродах.

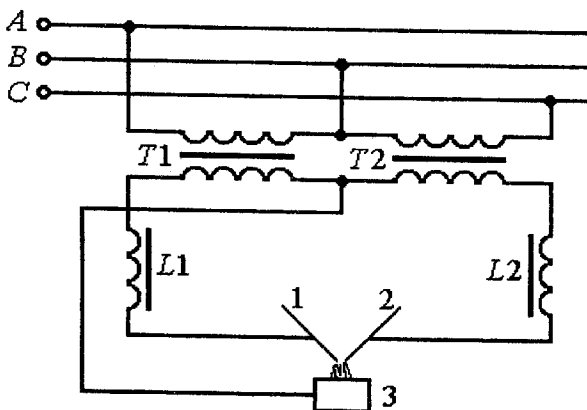


Рис. 2.56. Електрична схема живлення трифазної дуги при двоелектродному зварюванні

Для трифазного зварювання можна також використовувати схему, яка складена з трьох однофазних трансформаторів, що можуть бути з'єднані "зіркою" чи "трикутником" (рис. 2.57а).

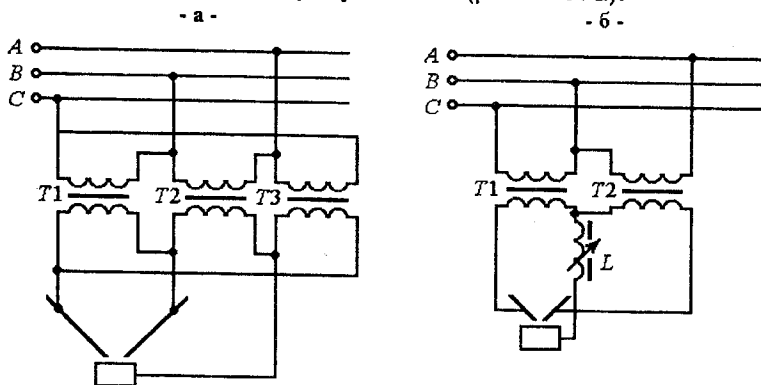


Рис. 2.57. Електричні схеми живлення трифазної дуги

Номінальна потужність кожного трансформатора повинна бути не меншою $1/3$ потужності трифазної дуги. При цьому продуктивність поста трифазного зварювання буде вищою, ніж однофазного приблизно у два рази, тобто трансформатори за цією схемою працюватимуть у режимі навантаження. Можна також використовувати схему живлення трифазної дуги, яка складається з двох трансформаторів, включених за схемою відкритого "трикутника" (рис. 2.57б).

При цьому забезпечується однакова напруга усіх трьох дуг. У схемі передбачено дросель L для роздільного регулювання струму.

Для зварювання плавкими електродами можна також застосовувати схеми джерел живлення трифазної дуги, які наведено на рис. 2.58.

Трифазні трансформатори з рухомими обмотками (рис. 2.58а) мають недоліки, що пов'язані з наявністю рухомих частин та їх вібрацією, особливо при зварюванні на великих струмах. Трансформатори із трифазним дроселем насичення достатньо прості та надійні, але не дозволяють регулювати напругу неробочого ходу (рис. 2.58б). Трансформатори зі складною магнітною комутацією більш досконалі, оскільки дозволяють регулювати нахил зовнішніх характеристик, змінювати напругу неробочого ходу і стабілізувати вихідні параметри за рахунок зворотного зв'язку за напругою (рис. 2.58в).

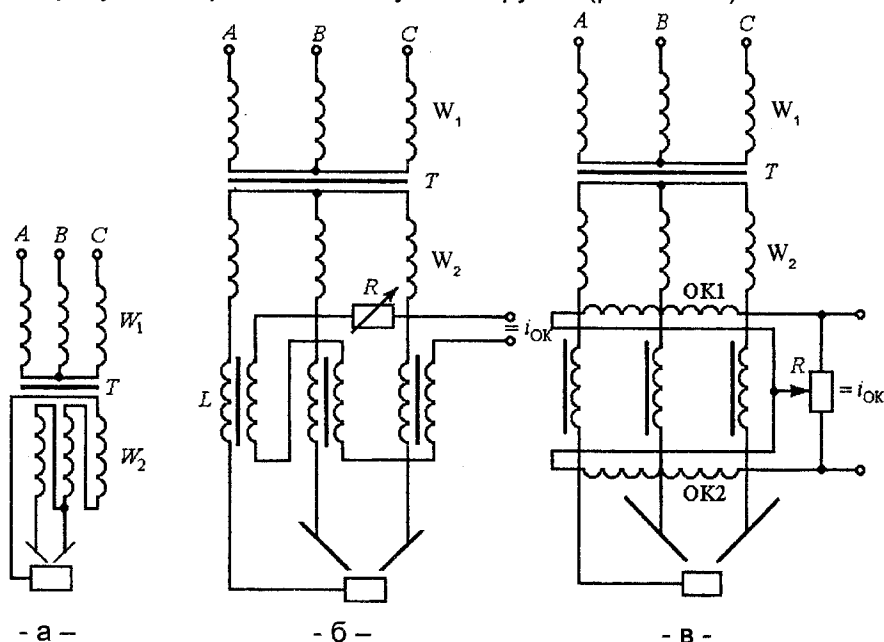


Рис. 2.58. Електричні схеми джерел живлення трифазної дуги: з рухомими котушками (а), із трифазним дроселем насичення (б), з магнітною комутацією (в)

Умови горіння трифазної дуги при використанні неплавких електродів більш сприятливі, оскільки є можливість роздільного регулювання струму в кожній із дуг. У промисловості набули розповсюдження

джерела живлення трифазної дуги для зварювання неплавким електродом алюмінію та його сплавів (рис. 2.59).

Завдяки підвищеному магнітному розсіянню трансформатора зовнішня характеристика джерела крутоспадна. Обмотками керування ОК1 і ОК2 проводиться плавне регулювання струму в кожній із дуг. Конденсаторна батарея C призначена для пригнічення постійної складової струму в півперіоди зворотної полярності в дугах, які горять між електродом та виробом. Для стабілізації дуги у ці ж півперіоди застосовується стабілізатор дуги (ІСГД). Збудження дуги здійснюється осцилятором G з допомогою дугового реле K .

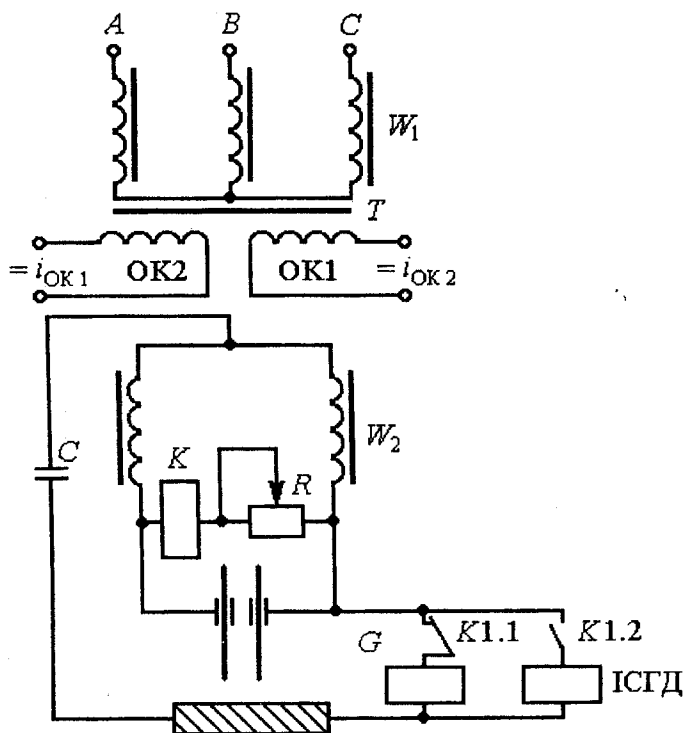


Рис. 2.59. Спрощена електрична схема джерела живлення трифазної дуги неплавким електродом для зварювання алюмінію

Багатопостова система складається зі зварювального трансформатора-1 з мінімальним внутрішнім опором. До вихідних клем трансформатора під'єднаний шинопровід-2, до якого ввімкнені постові регулятори-3, кожен з яких містить дросель-*L*. На осерді дроселя розташовані силова-4 і додаткова-5 обмотки, кінці яких з'єднані в загальну точку з електродом-6. У пристрої ІСГД є силові тиристри- VS1 і VS2, конденсатор-С і блок керування ІСГД-7. Багатопостова система працює наступним чином. При подачі напруги мережі на трансформатор зварювальна напруга надходить на шинопровід, потім на постові регулятори, чим і забезпечується протікання процесу зварювання. Електрична розв'язка між постами здійснюється за рахунок використання постових дроселів. Висока надійність початкового і повторного запалювання досягається завдяки застосуванню ІСГД, який забезпечує подачу стабілізуючих горіння дуги імпульсів тільки в момент переходу кривої зварювального струму через нуль. Такі багатопостові джерела живлення є енерго- і ресурсозберігаючим технологічним устаткуванням. Так, на виготовлення такого чотирьох постового джерела витрачається в 2–2,5 разу менше активних матеріалів (електротехнічної міді і сталі), а експлуатація такої системи потребує в 2–3 рази менше електроенергії, ніж для чотирьох окремих джерел живлення з номінальним струмом 500 А.

Технічні характеристики зварювальних трансформаторів

Таблиця 2.1

Тип трансформатора	Номінальний зварювальний струм	Номінальна потужність, кВт	Напруга неробочого ходу, В	Межі регулювання струму, А	ТН, % ТВ, %	Маса, кг	Габарити, L, B, H, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
Трансформатори з механічним регулюванням							
ТД-101-УХЛ4	50	2,1	60	30± 3 40± 3 50± 3	55 30 20	20	405, 200, 375
ТСБ-90	90	3,3	36	55-100	20	30	340 180, 360
ТСБ-90-1-У3	90	3,3	42	60-100	20	30	340, 190, 390
ТСБ-102	100	5	-	40-100	20	22	320, 180, 450
ТСБ-101	100	8	70	65-100	20	40	470, 290, 400
ТСБ-103	100	8	70	65-100	20	23	190, 320, 310
ТДМ "Селма"	125	7,5	49	40-140	20	26,6	430, 270, 185

Таблица 2.1 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
ТДМ - 121	125	7,5	49	40-140	20	25	270, 185, 430
ТДМ-140/1	140	7,5	-	40-140	20	28	270, 185, 415
ТДС-140	140	8	70	80-140	40	27	340, 350, 195
ТДС-180У2	180	9,9	55	90-180	20	23	356, 231, 335
ТСБ-145	145	-	-	60-145	-	20	350, 220, 340
ТС-152	150	9,7	70	40-150	20	40	290, 470, 400
ТД-102	160	11,4	70	60-175	20	43	435, 290, 535
ТДМ-160	160	12	-	50-160	20	38	475, 264, 362
ТДМ-163	160	-	60	60-180	20	18	195, 200, 355
ТДМ-165У2	160	11,4	62	55-170	20	38	450, 290, 510
ТДМ-166	160	11	72	50-175	20	31	435, 365, 205
ТДМ-167	160	8,1	55	50-160	20	29	240, 280, 420
ТДМ-168	160	5,3	73	45-190	20	31	205, 365, 450
ТДМ-1612	160	8,8	60	60-160	20	32	240, 310, 420
ТДМ-180У2	180	7	50	44-190	20	27	270, 225, 415
“РАЗРЯД”- 160	160	9,6	60	60-160	20	42	350, 310, 480
ТДМ-169	170	8,5	-	18-170	60	40	386, 225, 406
ТДБ-200	200	12,5	-	70-200	20	39	400, 280, 540
ТДМ-200У2	200	7	59	45-195	20	31	300, 220, 440
ТДМ-201	200	6,5	60-65	50-200	20	45	300, 300, 450
ТДМ-250У2	250	18	70	54-250	20	50	360, 360, 940
ТДМ-251	200	20	61	80-250	20	75	500, 500, 450
ТДМ-253Г	250	12	70	50-250	60	65	300, 900, 450
ТДМ-258	200	-	65	100-250	35	60	410, 385, 500
ТДМ-257	250	9,5	65	90-250	20	47	290, 190, 390
ТДМ-252У2	250	12,0	51	40-275	40	63	478, 321, 518
ТДМ-254У2	250	17,0	62	85-250	25	50	450, 390, 510
ТДМ-2510	250	-	-	100-250	20	65	480, 420, 650
ТДМ-259У2	250	20	75	90-250	20	75	430, 400, 455
ТСМ-250	250	6,2	60	90-250	20	38	418, 360, 400
СТШ-250	250	15,3	60	90-260	20	44	420, 310, 425
СТШ-251У2	250	16,3	65	70-260	40	58	545, 400, 560
СТШ-254У2	250	16,3	65	18-260	40	68	655, 454, 630
СТШ-315У2	315	-	60	60-315	60	100	575, 570, 620
“РАЗРЯД”- 250	250	26	60	90-250	20	44	350, 310, 490,
ТДМ-300	300	18	70	70-325	60	65	370, 390, 530
ТДМ-317У2	315	21	80	60-360	60	130	585, 555, 818
ТДК-315У2	315	19	45	100-340	20	60	420, 350, 480
ТДМ-401 У2	400	26,6	79	70-460	60	140	555, 585, 848
ТДМ-411У2 “Транс”	400	-	50, 80	50-420 140-420	10	80	330, 380, 950

Таблиця 2.1 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
ТДМ-403У2	400	-	70	80-420	60	150	650, 550, 750
ТДМ-450У2	450	30	73	80-490	10	55	480, 380, 470
ТДМ-503- У2	500	36	80	90-560	60	175	600, 555, 890
ТДМ-504	500	-	-	90-500	40	-	520, 590, 810
ТДМ-505У2	500	41	75	45-530	60	177	650, 530, 835
ТДМ-506Т У2	500	35	70	100- 500	60	165	450, 550, 850
СТШ-500	500	-	60	145- 650	60	220	670, 666, 753
ПАТОН СТШ-500	500	26,5	55	35-500	25	110	670, 685, 680
СТШ-500- 80	500	44,5	80	60-800	60	323	980, 765, 766
КИ-002-500	500	-	63	100- 500	60	200	670, 665, 700
Трансформатори з електричним регулюванням							
ИП-1601У3	160	7,6	48	50-160	25	40	400, 280, 540
ЦСЕ-201У3	200	-	70	50-200	20	70	645, 322, 425
ТДЕ-254	250	13,2	55	80-270	20	43	400, 280, 540
ТДЕ-251 У3	250	16	80	50-250	35	60	360, 360, 940
ТДЕ-254У2	250	13,2	55	80-270	20	43	400, 280, 540
ТДЕ-400	400	-	77	100- 400	-	50	325, 300, 750
ТДЕ-402У3	400	28	80	80-400	60	180	590, 595, 820
ТДЕ-600	600	-	80	90-600	-	70	370, 345, 160
ТДФЖ- 1002У3	1000	125	120	300- 1200	100	520	1400, 760, 1220
ТДФ-1001У3	1000	82	80	400- 1200	400	-	-
ТДФ-160У4	1600	182	110	600- 1800	100	1000	1200, 830, 1200
ТДФЖ- 2002У3	2000	240	120	600- 2200	100	790	1400, 760, 1220

3. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

3.1.1. Пристрої, елементи конструкції і класифікація

Зварювальні випрямлячі є найпоширенішими джерелами живлення постійного струму, що мають значні переваги перед електромашинними перетворювачами. Вони мають більш високі зварювальні властивості за рахунок підвищеної стабільності горіння дуги і зменшення розбризкувань електродного металу, високий ККД і менші втрати неробочого ходу, які особливо важливо для джерел, що працюють зі знизженими характеристиками ТН % або ТУ %. Випрямлячі мають широкі межі регулювання струму і напруги, можливість автоматизації та програмування зварювального процесу, характеризуються меншими масо-габаритними показниками і відсутністю масивних частин, що обертаються, високими санітарно-гігієнічними властивостями через низький рівень шуму та вібрації, малою швидкістю повітряних потоків у зоні вентиляційних ґрат.

До недоліків слід віднести чутливість до перевантажень за струмом та температурою нагріву.

Сьогодні випускаються випрямлячі однопостової та багатопостової системи.

Однопостові випрямлячі поділяються на такі групи:

- зі спадними зовнішніми характеристиками для ручного дугового зварювання штучними електродами і механізованого зварювання під флюсом;
- із жорсткими (пологоспадними) характеристиками для механізованого зварювання плавким електродом у захисних газах;
- з універсальними зовнішніми характеристиками (крутоспадними та жорсткими) для усіх видів зварювання.

Багатопостові випрямлячі поділяються на групи:

- зі спадними зовнішніми характеристиками зварювального посту для ручного дугового зварювання плавким електродом;
- із жорсткими зовнішніми характеристиками зварювального посту для механізованого зварювання плавким електродом у вуглекислому газі;

– з універсальними (крутоспадними і жорсткими) характеристиками.

За конструкцією силової частини зварювальні випрямлячі можна поділити на такі групи:

Випрямлячі, які регулюються трансформатором (рис. 3.1а).

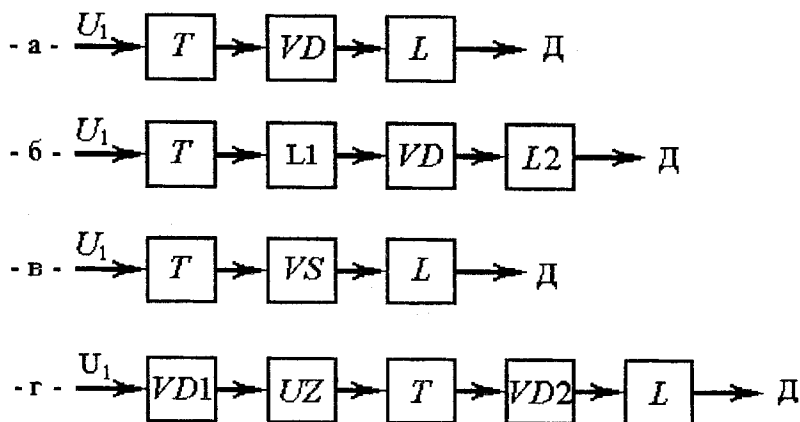


Рис. 3.1 Функціональні схеми зварювальних випрямлячів

Вони складаються із силового знижувального трифазного трансформатора T , випрямного блоку VD на некерованих вентилях і згладжувального дроселя L . Трансформатор використовується для формування зовнішньої характеристики і регулювання режиму, дросель L – для згладжування пульсацій випрямленого струму та зменшення розбризкування електродного металу.

Випрямлячі, які регулюються дроселями насичення (рис. 3.1б).

Дросель насичення $L1$ слугує для формування зовнішньої характеристики і регулювання режиму зварювання. Дросель $L2$ – для згладжування пульсацій випрямленого струму і зменшення розбризкування електродного металу.

Тиристорні випрямлячі (рис. 3.1в).

Тиристорний випрямний блок VS забезпечує регулювання режиму та формування зовнішніх характеристик. Регулювання струму та напруги здійснюється за рахунок фазового керування моментом відкриття тиристорів, а формування ВАХ – за рахунок зворотних зв'язків за струмом або напругою.

Інверторні випрямлячі (рис. 3.1г).

Інвертор *UZ* перетворює постійну напругу, що утворюється випрямним блоком *VD1* шляхом випрямлення напруги мережі, у високочастотну змінну напругу, яка потім знижується силовим трансформатором *T* і випрямляється блоком *VD2*. Випрямлена напруга через згладжувальний дросель *L* подається на дугу. Впливаючи на параметри інвертора, можна регулювати режим зварювання і формувати зовнішні характеристики джерела.

Для комплектування апаратів, що працюють за принципом саморегулювання дуги при механізованому зварюванні у вуглекислому газі та під флюсом, застосовуються випрямлячі з жорсткими або пологонаростальні ВАХ. Регулювання напруги в такому випадку забезпечується регуляторами, які виконують функції секціонування обмоток трансформатора, магнітного керування у випрямлячах зі складною магнітною комутацією або струму керування у дроселях насичення. Застосовується також і фазове керування у випрямлячах тиристорного типу і частотне – в інверторних випрямлячах.

Для ручного дугового зварювання з автоматичним регулюванням напруги призначені випрямлячі з крутоспадними зовнішніми характеристиками, у яких ВАХ формуються за рахунок збільшеного індуктивного опору трансформатора або зворотного зв'язку за струмом (у випрямлячах тиристорного або інверторного типу).

У зварювальних випрямлячах поряд з такими основними елементами, як силовий трансформатор і випрямний блок є також система охолодження та пускорегулювальна апаратура. Силовий трифазний трансформатор призначений для отримання вихідної зварювальної напруги. Випрямний блок здійснює перетворення змінного струму в постійний і складається з керованих або некерованих кремнієвих (рідше селенових) вентилів.

Система охолодження здійснює тепловідвід від елементів випрямляча, підтримуючи їх робочу температуру. Часто в якості носія використовують потік повітря, який створюється вентилятором (примусова вентиляція). У малопотужних установках можуть використовуватись і конвективні потоки. Передача тепла від частин, які нагріваються потоком повітря, відбувається обдувом або через спеціальні деталі зі значною поверхнею радіатора. Потужні установки можуть мати систему примусового водяного охолодження. Надійність її роботи забезпечується пускорегулювальними і захисними пристроями,

датчиками наявності потоку теплоносія (парус або реле тиску води), аварійним реле, що вимикає випрямляч від мережі у випадку відмови системи охолодження. Пускорегульовальна і захисна апаратура забезпечує нормальне вимикання випрямляча на неробочий хід і вимикання його від мережі. Захисні пристрої вимикають випрямляч у випадку перевантаження, виходу з ладу основних вузлів установки. Вмикання і вимикання здійснюється магнітними контакторами або схемами захисту, які вміщують відповідні датчики і реле. Схеми захисту можуть мати також релейні, магнітні або електронні підсилювачі.

3.1.2. Схеми випрямлення

При розробці зварювальних випрямлячів особлива увага приділяється вибору раціональної схеми випрямлення. При цьому враховуються такі фактори, як тип і параметри вентилів, вимоги до розрахункової потужності та конструкції трансформатора, тип зовнішніх характеристик джерела живлення. Більшість зварювальних випрямлячів випускають з живленням від трифазної мережі змінного струму. Перевагою їх у порівнянні з випрямлячами, які живляться від однофазної мережі, є рівномірне завантаження мережі, більш згладжена форма кривих струму і напруги, більш раціональне використання вентилів.

Розглянемо роботу широкозастосовуваних у зварювальній техніці схем випрямлення на активне навантаження. Загальне правило аналізу схем одне: в будь-який момент струм пропускає той вентиль, до аноду якого прикладений максимальний позитивний потенціал, або до катоду якого – максимальний негативний потенціал.

Однофазна мостова схема випрямлення складається з трансформатора і вентилів $VD1$, $VD2$, $VD3$, $VD4$ (рис. 3.2а).

Змінна напруга підводиться до однієї діагоналі мосту, а навантаження підключається до другої – між точкою з'єднання катодів двох вентилів, які утворюють катодну групу ($VD1$, $VD3$), і точкою з'єднання анодів двох вентилів, які утворюють анодну групу ($VD2$, $VD4$).

Вентилі, які пропускають струм попарно ($VD1$ - $VD2$ і $VD3$ - $VD4$), з'єднані між собою і з навантаженням послідовно. До кожної пари входить один вентиль з катодної групи і один з анодної. Пропускає струм та пара, у якій в даний момент часу анод вентиля катодної групи має більш високий потенціал, а катод вентиля анодної групи –

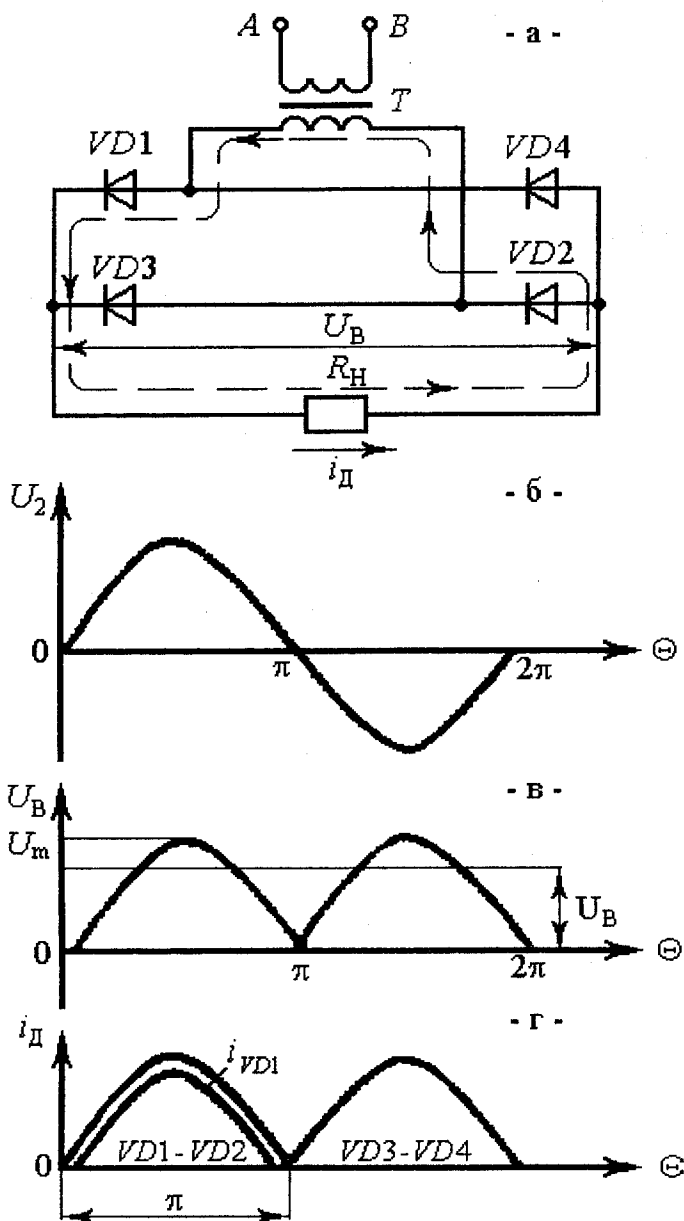


Рис. 3.2. Однофазна двопівперіодна схема випрямлення і лінійні діаграми напруг і струмів

більш низький, тобто в півперіоді при позитивній полярності клеми А вторинної обмотки трансформатора струм пропускають діоди VD1 і VD2, у другому півперіоді – VD3 і VD4. Випрямлений струм i_d проходить під час обох півперіодів і має постійний напрямок. Випрямлена крива має пульсуючу форму зі зміною параметрів за напругою і струмом від 0 до максимуму, що негативно впливає на стійкість процесу зварювання (рис. 3.2в, г).

Трифазна мостова схема складається з трифазного трансформатора і шести вентилів, де VD1, VD3, VD5 мають загальні катоди і утворюють катодну групу, а VD2, VD4, VD6 – анодну групу. Роботу схеми проілюстровано на рис. 3.3, де показано криві фазних напруг u_a, u_b, u_c вторинних обмоток трансформатора (вісь 1), випрямленої напруги u_d (вісь 2), анодних струмів i_1-i_6 (осі 3, 5) і фазного струму i_{2a} вторинних обмоток трансформатора (осі 4, 6). Криві на осях 3, 4 відповідають активному характеру навантаження ($X_d=0$), криві на осях 5, 6 – індуктивному навантаженню ($X_d=\infty$).

У будь-який момент часу з катодної групи струм пропускає вентиль, до анода якого прикладена більша позитивна напруга. Так, у проміжку $\Theta-\Theta_2$ з катодної групи пропускає струм вентиль VD1. Оскільки аноди вентилів анодної групи мають однаковий потенціал, у будь-який момент часу струм пропускає вентиль, до катода якого прикладена більш негативна напруга. Так, у проміжку $\Theta_1-\Theta_3$ з анодної групи пропускає струм VD2. У будь-який момент часу відкриті два вентиля – один з катодної, другий з анодної групи. Тривалість проходження струму через кожний вентиль 120 електричних градусів.

У проміжку $\Theta-\Theta_1$ до навантаження підводиться позитивна напруга u_a і негативна u_b через відкриті вентиля VD1 і VD6, тому випрямлена напруга $u_d = u_a - u_b$. У проміжку $\Theta_1-\Theta_2$ $u_d = u_a - u_c$.

Аналогічну картину маємо для інших проміжків часу. Амплітуда випрямленої напруги $U_{dm} = \sqrt{6} \cdot E_2$, де E_2 – діюча фазна напруга вторинної обмотки трансформатора.

Число пульсацій випрямленої напруги за період $m=6$, тому крива випрямленої напруги містить крім постійної складової U_d , вищі гармоніки кратні шести.

$$u_d = U_d + \sum_k u_{dk}; \quad k=6,12,18\dots$$

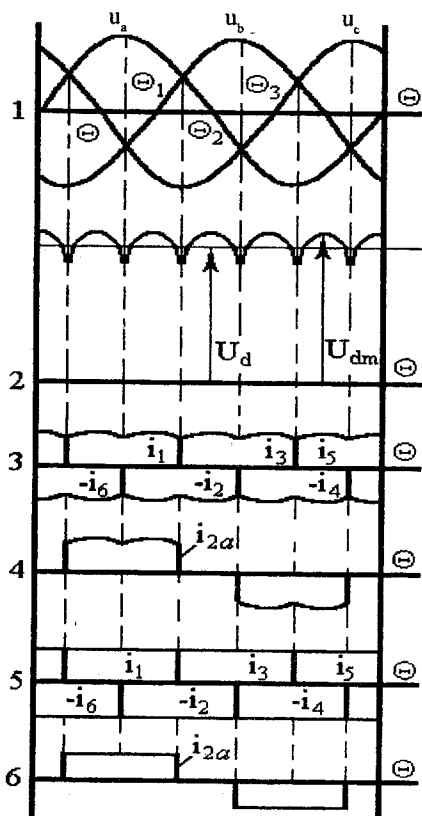
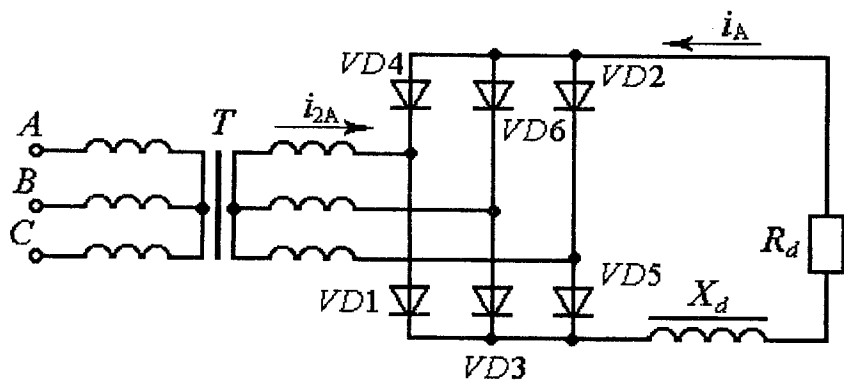


Рис. 3.3. Трифазна мостова схема і лінійні діаграми напруг та струмів

Якщо вісь ординат збігається з амплітудою кривої випрямленої напруги, для u_d можна записати:

$$u_d = U_{dm} \cos \Theta = \sqrt{6} \cdot E_2 \cos \Theta.$$

Постійна складова випрямленої напруги:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} U_{dm} \cos \Theta d\Theta = \frac{3}{\pi} \sqrt{6} \cdot E_2 = 2.34 \cdot E_2$$

Тоді:

$$E_2 = \frac{\pi}{3} \cdot \frac{U_d}{\sqrt{6}} = 0.428 U_d$$

Коли індуктивний опір $X_d=0$, крива випрямленого струму за формою збігається з кривою напруги u_d .

У цьому випадку

$$i_d = I_d + \sum_k i_{dk}, \quad k=6,12,18\dots$$

де $I_d = U_d / R_d$, $i_{dk} = u_{dk} / R_d$.

Амплітуда анодного і випрямленого струму:

$$I_{vm} = I_{dm} = U_{dm} / R_d = 1.045 \cdot I_d$$

При $X_d=\infty$ випрямлений струм не містить вищих гармонік, тобто $i_d = I_d$. Середнє діюче і амплітудне значення анодного струму дорівнюють відповідно (рис. 3.3, вісь 5)

$$I_{в.сп} = \frac{1}{3} I_d; \quad I_B = \frac{1}{\sqrt{3}} I_d = 0.578 I_d; \quad I_{vm} = I_d$$

Зв'язок між випрямленим струмом і діючим фазним струмом вторинної обмотки трансформатора (вісь 6) виражаються у вигляді:

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d$$

Струм первинної обмотки $I_1 = I_2 / k$, де k – коефіцієнт трансформації.

Розрахункова потужність трансформатора S_T складає:

$$S_T = 3 I_2 E_2 = 3 \sqrt{\frac{2}{3}} I_d \cdot \frac{\pi U_d}{3\sqrt{6}} = \frac{\pi}{3} P_d = 1.05 P_d \quad (3.1)$$

Як видно із співвідношення (3.1) розрахункова потужність трансформатора у трифазній мостовій схемі мало відрізняється від потужності споживача, що свідчить про добре використання трансформатора. Конструкція такого трансформатора проста, але оскільки витрати на трансформатор завжди переважають у загальній вартості випрямляча, то трифазна мостова схема знайшла широке застосування в конструкціях серійних випрямлячів.

Шестифазна схема зі зрівняльним реактором складається із трифазного трансформатора, зрівняльного дроселя L і шести вентилів (рис. 3.4). Трансформатор має дві групи вторинних обмоток (a' , b' , c' і a'' , b'' , c''), кожна з яких з'єднана в зірку.

Нульова точка однієї зірки утворена кінцями обмоток, другої зірки – початками обмоток, у результаті чого два трифазних випрямляча з нульовою точкою зсунуті за фазою один відносно одного на 180 градусів. Фазні напруги цих випрямлячів (u_a' , u_b' , u_c' , u_a'' , u_b'' , u_c'') подані у вигляді суцільних і штрихових ліній (вісь 1). У кожній групі струм пропускає той вентиль, у якого в даний момент найбільша анодна напруга, наприклад, $VD1$ у проміжку $\Theta - \Theta_1$.

Зрівняльний дросель (реактор) виконаний на замкнутому сталевому магнітопроводі і має дві обмотки, увімкнені між нульовими точками обох трифазних зірок. Він здійснює паралельну роботу зірок випрямляча і приводить до вирівнювання миттєвих напруг трифазних груп. Випрямлений струм проходить паралельно через дві фази вторинних обмоток трансформатора, які розміщені на різних стрижнях осердя, і через відповідні їм вентиля.

У будь-який проміжок часу працюють два вентиля – по одному з кожної групи, почерговість роботи яких показана на рис. 3.4 (вісь 2).

Випрямлена напруга у схемі дорівнює півсумі напруг працюючих фаз. У проміжку $\Theta' - \Theta_1$, коли проводять вентиля $VD1$ і $VD2$, напруга:

$$u_d = (u_a' + u_c'') / 2$$

Крива випрямленої напруги u_d , показана лінією (вісь 1) має шість пульсацій за період.

Амплітуда випрямленої напруги

$$U_{dm} = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot E_2$$

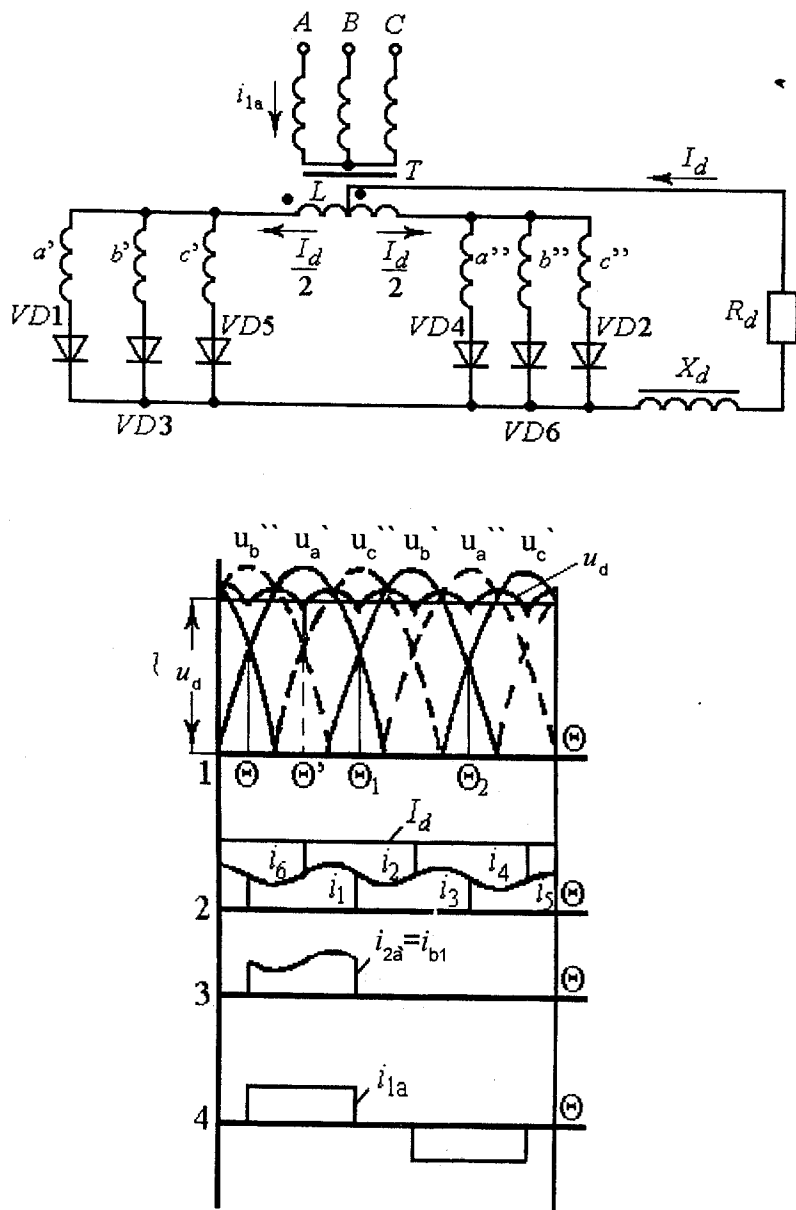


Рис. 3.4. Шестифазна схема випрямлення із зрівняльним реактором і лінійні діаграми напруг та струмів

Постійна складова випрямленої напруги

$$U_d = \frac{3}{\pi} \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot E_2 = 1.17 \cdot E_2, \text{ звідси } E_2 = 0,855 \cdot U_d$$

При $X_d = \infty$ для середнього, діючого і амплітудного значення анодного струму одержимо такі вирази (вісь 3):

$$I_{в.ср} = \frac{1}{6} I_d; I_{в} = \frac{1}{2\sqrt{3}} I_d = 0.289 I_d; I_{вм} = \frac{1}{2} I_d$$

Фазний струм вторинної обмотки трансформатора:

$$I_2 = \frac{1}{2\sqrt{3}} I_d$$

Струм первинної обмотки трансформатора (вісь 4):

$$I_1 = \frac{1}{k} \sqrt{2} \cdot I_2 = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot I_d$$

Максимальне значення зворотної напруги на вентилі дорівнює амплітудному значенню лінійної напруги, оскільки будь-який непровідний вентиль під'єднаний через провідний вентиль до вихідних застискувачів вторинних обмоток трансформатора.

Розрахункова потужність первинних обмоток трансформатора:

$$S_1 = 3 I_1 U_1 = 3 \frac{1}{k\sqrt{6}} I_d k \frac{\pi}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} U_d = 1.05 P_d$$

Розрахункова потужність вторинних обмоток:

$$S_2 = 6 \cdot I_2 \cdot E_2 = 1,48 P_d$$

Розрахункова потужність трансформатора:

$$S_T = \frac{S_1 + S_2}{2} = 1.26 P_d,$$

тобто на 26 % вища за потужність споживача.

Шестифазна кільцева схема випрямляча складається з трифазного трансформатора і шести вентилів. Трансформатор має дві групи вторинних обмоток (a', e', c' і a'', e'', c''), кожна з яких з'єднана в зірку, причому нульові точки кожної зірки утворені кінцями обмоток. Вентилі замкнуті в «кільце» (рис. 3.5).

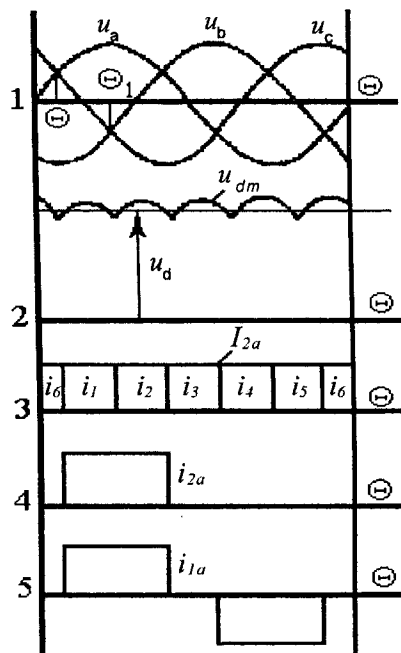
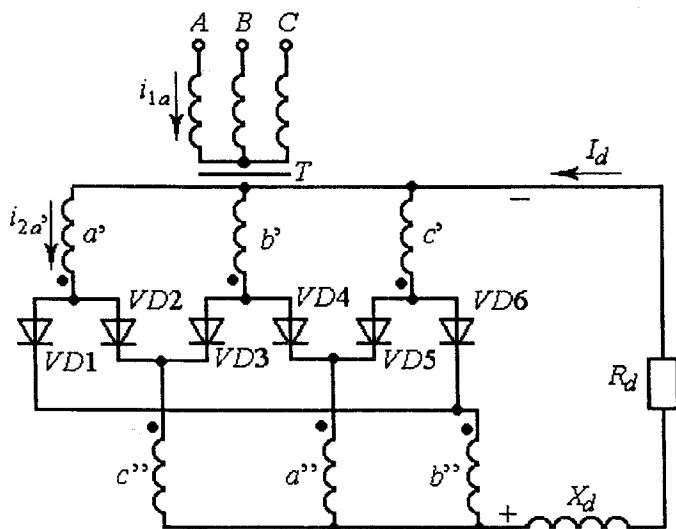


Рис. 3.5. Шестифазна кільцева схема випрямлення і лінійні діаграми напруг та струмів

До точок з'єднання анодів вентилів під'єднані початки обмоток однієї групи, а до катодів – початки обмоток другої групи. Випрямлена напруга знімається з нульових точок двох груп вторинних обмоток.

Криві фазних напруг u_a, u_b, u_c , випрямленої напруги u_d , анодних струмів i_1-i_6 , фазного струму вторинних i_{2a} і первинних i_{1a} обмоток трансформатора подані, відповідно, на осях 1, 2, 3, 4, 5. У будь-який проміжок часу струм у схемі проводить той вентиль, який має вищий потенціал аноду і нижчий потенціал катоду. Наприклад, у проміжку $\Theta-\Theta_1$ струм проводить вентиль VD1, який з'єднує обмотки а' і в". Тривалість проходження струму через кожний вентиль 60 град., а по вторинній обмотці трансформатора – 120 град. У проміжку $\Theta-\Theta_1$ до навантаження підводиться випрямлена напруга $u_d = u_a - u_b$, тобто випрямлена напруга дорівнює лінійній напрузі працюючих обмоток. Амплітуда випрямленої напруги

$$U_{dm} = \sqrt{6} \cdot E_2$$

Постійна складова випрямленої напруги:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \sqrt{6} \cdot E_2 = 2.34 \cdot E_2, \text{ звідси } E_2 = 0.428 \cdot U_d$$

При $X_d = \infty$ середнє діюче і амплітудне значення анодного струму будуть рівні:

$$I_{a, \text{ф}} = \frac{1}{6} I_d; I_b = \frac{1}{\sqrt{6}} I_d = 0.41 I_d; I_{bm} = I_d$$

Фазний струм вторинної обмотки трансформатора (вісь 4):

$$I_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot I_d$$

Струм первинної обмотки трансформатора (вісь 5):

$$I_1 = \frac{1}{k} \sqrt{2} \cdot I_2 = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d$$

Так як струми у вторинних обмотках різних груп проходять в зустрічному напрямку, вимушене підмагнічування магнітопроводу трансформатора відсутнє.

Розрахункова потужність первинних обмоток трансформатора

$$\rightarrow S_1 = 3 \cdot I_1 \cdot U_1 = 3 \frac{1}{k \sqrt{6}} I_d k \frac{\pi}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} U_d = 1.05 P_d$$

Розрахункова потужність вторинних обмоток

$$S_2 = 6I_2E_2 = 1.475P_d$$

Розрахункова потужність трансформатора

$$S_T = \frac{S_1 + S_2}{2} = 1.26P_d,$$

тобто S_T у шестифазній кільцевій схемі на 26 % вища за потужність споживача.

3.1.3. Порівняння схем випрямлення

Основні розрахункові співвідношення у відносних одиницях для розглянутих схем випрямлення наведені у табл. 3.1.

Базовими величинами є випрямлений струм I_d , випрямлена напруга U_d , потужність приймача енергії P_d , частота мережі f .

Порівняння наведених схем показує:

Таблиця 3.1

Розрахунковий показник	Схеми випрямлення		
	Трифазна мостова	Шестифазна зі зрівняльним дроселем	Шестифазна кільцева
Середнє значення анодного струму вентиля $I_{в,ср}/I_d$	0,333	0,167	0,167
Діючий анодний струм I_a/I_d	0,578	0,289	0,41
Амплітудне значення анодного струму $I_{вм}/I_d$	1,0	0,5	1,0
Коефіцієнт форми анодного струму $I_a/I_{в,ср}$	1,73	1,73	2,46
Діючий струм вторинних обмоток трансформатора I_2/I_d	0,815	0,289	0,578
Діюча вторинна напруга E_2/U_d	0,428	0,855	0,428
Амплітудне значення зворотної напруги на вентилях $U_{вм}/U_d$	1,045	2,09	2,09
Розрахункова потужність первинних обмоток трансформатора S_1/P_d	1,05	1,05	1,05
Розрахункова потужність вторинних обмоток трансформатора S_2/P_d	1,05	1,48	1,48
Розрахункова потужність трансформатора S_T/P_d	1,05	1,26	1,26
Частота пульсацій випрямленої напруги f_d/f	6	6	6

– розрахункова потужність трансформатора найменша у трифазній мостовій схемі і найбільша у схемі зі зрівняльним реактором. У мостовій схемі спостерігається найбільш просте і дешеве конструкторське рішення трансформатора, оскільки відсутній зрівняльний дросель;

– краще використання вентилів у схемі зі зрівняльним реактором, гірше – у трифазній мостовій схемі. Подвійне падіння напруги у вентилях при проходженні прямого анодного струму в трифазній мостовій схемі приводить до підвищення втрат у блоці та до зниження ККД випрямляча;

– кільцева схема займає проміжне положення як за розрахунковою потужністю устаткування, так і за використанням вентилів;

– в усіх наведених схемах відсутнє примусове підмагнічування магнітопроводу силового трансформатора.

3.1.4. Трифазна мостова схема з використанням тиристорів

Розглянемо роботу трифазної мостової схеми в якій показано використання керованих вентилів VS замість VD (рис. 3.3) при індуктивному навантаженні, тобто $X_d = \infty$.

На рис. 3.6 наведено криві фазних напруг (вісь 1) і струму (вісь 3), випрямленої напруги (вісь 2) і напруги на вентилі $VS1$ (вісь 4) при двох кутах регулювання « α_1 »=30 град і « α_2 »=60 град.

У точці \ominus потенціал анода вентиля $VS1$ стає більшим за потенціал катода, проте в проміжку $\ominus - \ominus_1$ вентиль $VS1$ залишається закритим. У момент часу, що відповідає точці \ominus_1 , на керувальний електрод $VS1$ подається імпульс і тиристор відкривається.

Відкривання кожного вентиля здійснюється один раз на період. Моменти їх відкривання зсунуті один відносно одного на 60 град. Фази між моментами відкривання повинні бути фіксовані й у процесі нормальної експлуатації не повинні змінюватись. І навпаки, фаза всієї системи моментів відкривання відносно фазних напруг трансформатора може змінюватись вручну або автоматично. У цьому й полягає процес регулювання випрямляча. Затримка відкривання чергового вентиля відносно точки перетину фазних напруг на кут « α » впливає на форму кривої випрямленої напруги.

► У проміжку $\ominus - \ominus_1$ струм навантаження продовжує протікати фазою з меншою миттєвою фазною напругою. Чим більший кут « α »,

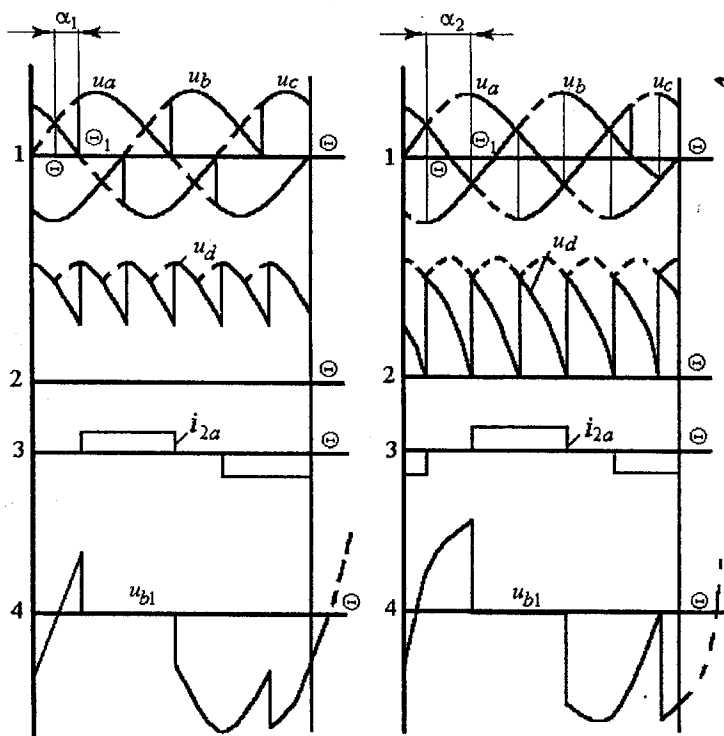


Рис. 3.6. Лінійні діаграми напруг і струмів трифазної мостової схеми на керованих вентилях

тим пізніше відбувається перехід струму навантаження на фазу з більш високою напругою. При цьому зменшується середнє значення випрямленої напруги U_d .

Випрямляч вважається повністю закритим, коли середнє значення випрямленої напруги дорівнює нулю.

Позначивши середнє значення випрямленої напруги за відсутності регулювання ($\alpha=0$) через U_{d0} , отримаємо для випрямленої напруги при регулюванні вираз:

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cos \alpha = \frac{\pi}{3} \sqrt{6} \cdot E_2 \cos \alpha$$

У цій схемі випрямлення при індуктивному навантаженні $U_d=0$ при $\alpha=90$ град. Для струмів вентиля і фазних струмів трансформа-

тора справедливі ті ж співвідношення, що і для схеми з некерованими вентилями. Суттєвим параметром схеми випрямлення є зворотна напруга на вентилях, під якою розуміють напругу анода вентиля відносно його катода в ту частину періода, коли вентиль закритий.

Розглянемо, як утворюється зворотна напруга на VS1 (рис. 3.6).

Суцільною лінією (вісь 1) подано криву потенціалу (відносно нульової точки трансформатора) додатного полюса схеми випрямлення. До цього полюса приєднаний катод вентиля VS1. Анод VS1 з'єднаний з кінцем обмотки фази А, отже, потенціал анода завжди рівний потенціалу фази А. Крива на осі 4 (рис. 3.6) побудована як різниця потенціалів додатного полюса та фази А. Під час роботи вентиля напруга на ньому при прийнятих допущеннях відсутня. У проміжку $\Theta - \Theta_1$ напруга на вентилі додатна, в інший час – від'ємна. Найбільше значення зворотної напруги на вентилі при некерованій та керованій схемі дорівнює амплітудному значенню лінійної напруги трансформатора:

$$U_{\text{вм}} = \sqrt{6} \cdot E_2 = 1.045 \cdot U_d$$

3.1.5. Робота випрямляча на зварювальну дугу

Роботу випрямляча з трифазною мостовою схемою випрямлення на зварювальну дугу проілюстровано на рис. 3.7. При цьому опір фази трансформатора $X = X'_1 + X_2$, де X'_1 – наведений індуктивний опір первинної обмотки до вторинної; а X_2 – індуктивний опір вторинної обмотки трансформатора. У режимі неробочого ходу такий випрямляч працює так само, як і на активне навантаження, тому $U_B = U_{20} = 2,34U_2$.

При навантаженні можливі три режими роботи.

У I режимі при високій напрузі дуги U_d запалювання відбувається тільки при перевищенні випрямленою напругою напруги дуги ($U_B > U_d$). У кожний момент часу струм протікає по двох вентилях або зовсім відсутній (рис. 3.7а). Коливання струму при цьому значні. Якщо індуктивний опір трансформатора великий, то горіння дуги може відбуватися без переривів.

Двовентильний режим (режим I) спостерігається при $U_d = (0,95 - 1,0)U_{20}$ і при зварюванні практично не зустрічається.

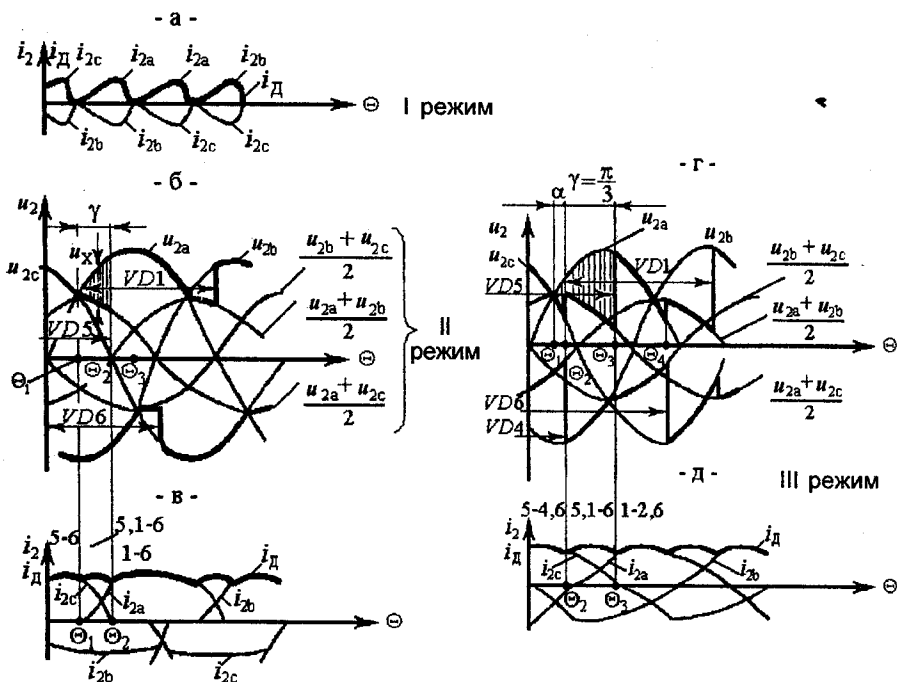


Рис. 3.7. Робота випрямляча із трифазною мостовою схемою випрямлення. Осцилограми струмів у I режимі (а), напруги і струмів у II режимі (б, в), напруги і струмів у III режимі (г, д)

При зниженні напруги дуги і збільшенні струму навантаження випрямляч переходить у II режим роботи, при якому $U_D = (0,7-0,9)U_{20}$.

При роботі в цьому режимі у разі, якби обмотки трансформатора не мали індуктивності розсіяння, то у момент Θ_1 струм з фази С миттєво перейшов би на фазу А, яка має більш високий потенціал, а вентиль VD5 закритися б одразу після відкриття VD1 (рис. 3.7б, в). Однак трансформатор має певну індуктивність, і тому струм не може миттєво зростати у фазі А і зникнути у фазі С. Отож в інтервалі $\Theta_1 \dots \Theta_2$ одночасно працюватимуть вентиля VD1 та VD5. При цьому в VD5 струм i_{2c} буде спадати від i_D до 0, а у вентилі VD1 струм i_{2a} зростатиме від 0 до i_D (рис. 3.7в). Такий процес називається затягнутою комутацією, а кут $\gamma = \Theta_2 - \Theta_1$ – кутом комутації. В інтервалі $\Theta_1 \dots \Theta_2$ працюють три вентиля VD5, VD1, VD6, а з моменту Θ_2 будуть працювати тільки два вентиля VD1 та VD6. Таким чином, II режим характерний позмінною дво-тривентильною роботою випрямляча. В інтервалі комутації

$\Theta_1 \dots \Theta_2$ потенціал позитивного полюса випрямного блоку має середнє значення $(u_{2a} + u_{2c}) / 2$ між потенціалами фаз А та С, тому випрямлена напруга при знятій комутації є меншою, ніж при миттєвій на величину u_x (рис. 3.7б). Втрати напруги u_x викликані появою проти ЕРС у комутуваних вторинних обмотках, коли струм у них зростає. Ці втрати особливо великі при значному індуктивному опорі фаз трансформатора.

Зі зростанням середнього значення випрямленого струму I_D збільшується інтервал комутації « γ », а отже, і втрати напруги u_x . Тому випрямлена напруга U_B знижується, тобто зовнішня характеристика при роботі випрямляча в режимі II спадна внаслідок значних втрат напруги при знятій комутації, які викликані високим індуктивним опором обмоток трансформатора.

$$I_D \uparrow \Rightarrow \gamma \uparrow \Rightarrow U_x \uparrow \Rightarrow U_B \downarrow$$

При подальшому зниженні напруги на дузі, коли $U_D = (0-0,7)U_{20}$, випрямляч переходить у III режим роботи. У цьому випадку кут « γ » досягає величини $\pi/3$ і потім залишається постійним, але при цьому затримується початок комутації на кут « α » (рис. 3.7г). Вентиль VD1 у такому разі починає пропускати струм не в момент Θ_1 , як це було в режимі II, а в момент Θ_2 , і пояснюється це тим, що до моменту Θ_2 ще проходить комутація в анодній групі з вентиля VD4 на вентиль VD6. Через цю причину потенціал анода VD1 дорівнює потенціалу катода VD4 (вентилі підключені до однієї фази) і змінюється не за кривою фазної напруги u_{2a} , а за кривою $(u_{2a} + u_{2b})/2$. Отже, потенціал анода VD1 в інтервалі $\Theta_1 \dots \Theta_2$ нижчий, ніж потенціал вентиля VD5 (крива u_{2c}), і комутація струму з вентиля VD5 на VD1 неможлива. Комутація з VD5 на VD1 починається тільки після закінчення комутації в анодній групі з VD4 на VD6 і закінчується в момент Θ_3 , тому момент початку комутації в одній групі вентилів збігається з кінцем комутації в іншій. Таке позмінне чергування при 6-ти комутаціях за період можливе тільки в тому випадку, коли кут комутації дорівнює $\pi/3$, тобто в режимі III можлива тільки тривентильна робота випрямляча.

Рівняння зовнішньої характеристики випрямляча у III режимі:

$$U_B = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} U_{20}\right)^2 - \left(\frac{3\sqrt{3}}{\pi} X \cdot I_D\right)^2}$$

3.2. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ, ЯКІ КЕРУЮТЬСЯ ТРАНСФОРМАТОРОМ

3.2.1. Випрямлячі зі ступінчастим регулюванням випрямленої напруги

Такі випрямлячі призначені для механізованого зварювання у вуглекислому газі, де дуга має наростальну вольт-амперну характеристику. Для забезпечення стабільності процесу і стійкої роботи енергетичної системи зовнішня характеристика випрямляча має бути жорсткою або положоспадною. Регулювання вихідної напруги у випрямлячах зі ступінчастою зміною напруги здійснюється за рахунок секціонування первинних обмоток трифазного трансформатора з нормальним магнітним розсіянням, тобто зміною коефіцієнта трансформації. Так, наприклад, при незмінній напрузі мережі U_1 вторинна напруга U_2 буде визначатись співвідношенням числа витків первинних і вторинних обмоток трансформатора W_2/W_1 , тобто $U_2 = U_1 \cdot W_2/W_1$.

Основними вузлами таких випрямлячів поряд з трансформатором є випрямний діодний блок, зібраний за трифазною мостовою схемою випрямлення (рідше – за шестифазною зі зрівняльним реактором) і згладжувальний лінійний дросель. Кожна із трьох первинних обмоток складається із секцій з виведеними відпайками для регулювання напруги. Зміна числа витків первинних обмоток здійснюється з допомогою триполюсних перемикачів або трифазних контакторів. Таких перемикачів може бути декілька, тоді загальне число ступенів регулювання визначається множенням числа ступенів окремих перемикачів $n = n_1 \cdot n_2$. Іноді застосовується секціонування вторинної обмотки.

Конструкція випрямлячів із секціонуванням обмоток проста і надійна, а тому вона отримала застосування в таких зварювальних випрямлячах, як ВС-300, ВС-400, ВС-500, ВС-600М.

До недоліків можна віднести неможливість регулювання вихідної напруги під навантаженням і відсутність її стабілізації при зварюванні в умовах коливань напруги мережі живлення. Крім цього, зміна числа витків W_1 викликає збільшення магнітного розсіяння, що впливає на нахил зовнішніх характеристик.

Зварювальні властивості випрямлячів задовольняють вимогам процесу. Напруга неробочого ходу невелика і за своїм значенням

близька до робочої напруги. При низьких напругах дуги перенесення електродного металу відбувається з короткими замиканнями, при цьому швидкість зростання струму короткого замикання dI_k/dt сягає 750 кА/с, а коефіцієнт розбризування електродного металу – до 20 %. Зниження розбризувань до 10 % і швидкості наростання струму досягається шляхом вмикання у коло випрямленого струму загладжувального дроселя з індуктивністю 0,2...0,5 мГн, використанням схем випрямлення з більш низькою пульсацією випрямленої напруги.

Тепер серійно випускаються тільки випрямлячі типу ВС-300Б та ВС-400. Їхні технічні дані наведені в табл. 3.2.

Спрощену принципову електричну схему ВС-300Б подано на рис. 3.8.

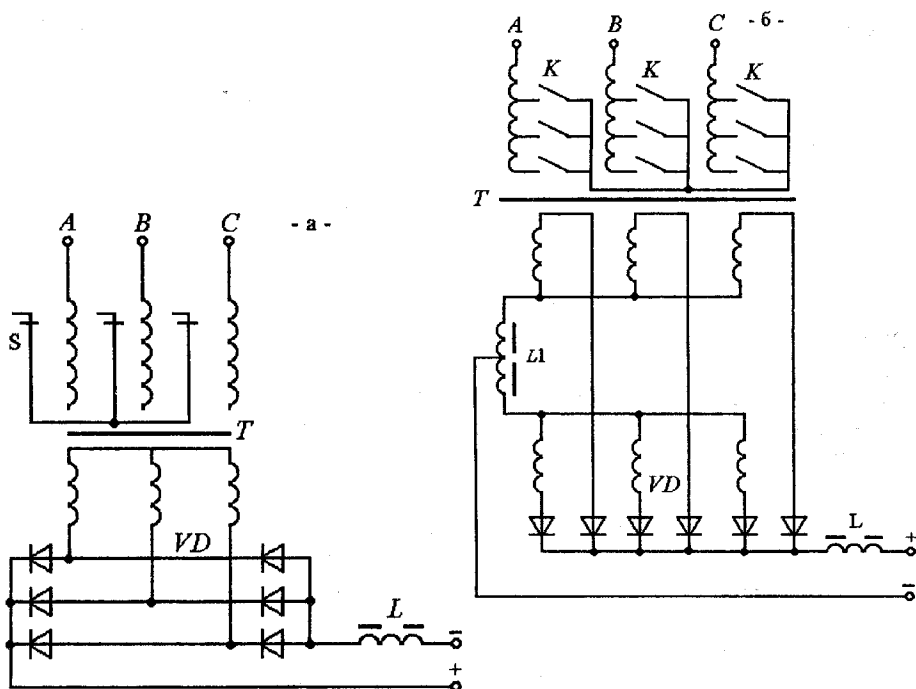


Рис. 3.8. Спрощені електричні схеми випрямлячів із секціонуванням обмоток із трифазною (а) і шестифазною (б) схемами випрямлення

Два перемикачі в колі первинних обмоток створюють 32 ступеня регулювання вихідної напруги (4 ступеня грубого настроювання і 8 - точного).

Крім того, грубе регулювання може здійснюватися ще і секціонуванням вторинної обмотки, що дає 2 ступеня настроювання режиму за рахунок перемикання обмоток трансформатора в положення «зірка» або «трикутник». Згладжувальний дросель має 2 діапазони зміни індуктивності. У схемі випрямлення, зібраній за трифазною мостовою схемою, може бути передбачений додатковий діод, при вмиканні якого підвищується пульсація напруги. Це дає можливість використовувати випрямляч для імпульсно-дугового зварювання.

3.2.2. Зварювальний випрямляч, який керується трансформатором зі складною магнітною комутацією

Такий випрямляч (рис. 3.9а) призначений для механізованого зварювання у вуглекислому газі і містить трансформатор зі складною магнітною комутацією (рис. 3.9б).

Магнітопровід трансформатора має середнє СЯ і верхнє ВЯ ярма, магнітний стан яких може змінюватись за рахунок підмагнічування їх постійним струмом, який протікає по обмоткам керування ОК1 і ОК2. У вікні трансформатора під середнім ярмом розміщені котушки первинних обмоток W_1 і основна нерегульована частина вторинних обмоток $W_{2\alpha}$. Регульована менша частина вторинних обмоток у вигляді обмоток $W_{2\beta}$ розташована між середнім та верхнім ярмами і з'єднана з основними вторинними обмотками послідовно і узгоджено. Співвідношення регульованих та нерегульованих частин вторинних обмоток забезпечує заданий діапазон регулювання вихідної напруги.

При підмагнічуванні верхнього ярма магнітним потоком обмотки ОК1 і насиченні його магнітний потік трансформатора Φ_T майже повністю замикається через середнє ярмо, пронизуючи основні нерегульовані обмотки $W_{2\alpha}$, утворюючи в них ЕРС. В обмотках $W_{2\beta}$ ЕРС не утворюється, і на випрямний блок подається мінімальна напруга. У випадку підмагнічування середнього ярма обмоткою ОК2 його магнітний опір R_μ зростає, і потік Φ_T відхиляється до верхнього ярма, пронизуючи обмотки $W_{2\alpha}$ і $W_{2\beta}$. При цьому напруга трансформатора зростає, а випрямлена напруга неробочого ходу випрямляча збільшується, тобто:

$$I_{\text{ОК2}} \uparrow \Rightarrow \Phi_{\text{ОК2}} \uparrow \Rightarrow R_{\mu\text{СЯ}} \uparrow \Rightarrow \Phi_\alpha \downarrow \Rightarrow \Phi_\beta \uparrow \Rightarrow U_{2\beta} \uparrow \Rightarrow U_2 \uparrow \Rightarrow U_{20} \uparrow$$

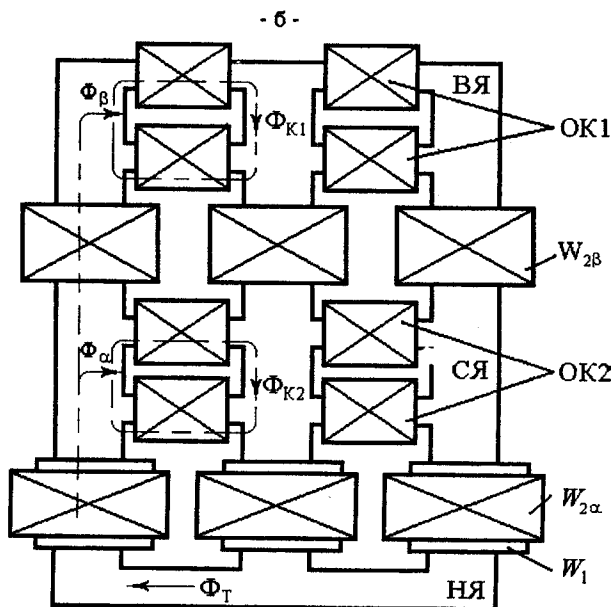
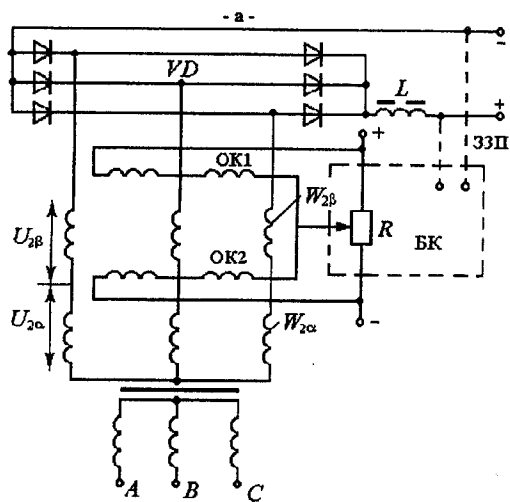


Рис. 3.9. Спрощена електрична схема випрямляча, керованого трансформатором із магнітною комутацією (а), і конструкція трансформатора (б)

Таким чином, регулювання напруги у випрямлячі здійснюється шляхом почергового вмикання обмоток керування, тобто за рахунок магнітної комутації потоку трансформатора.

Зовнішні характеристики випрямляча пологоспадні з $\rho_{дж} = -0,03 \dots -0,06$ В/А. Крутизну характеристик можна змінювати при введенні зворотного зв'язку за струмом (ЗЗС). При введенні зворотного зв'язку за напругою (ЗЗН) створюється стабілізація вихідної напруги випрямляча. Так, при зниженні U_1 і, отже, випрямленій напрузі U_B схема зворотного зв'язку перерозподілить струми в обмотках керування та відновить випрямлену напругу.

$$U_1 \downarrow \Rightarrow U_B \downarrow \Rightarrow I_{OK1} \downarrow \Rightarrow I_{OK2} \uparrow \Rightarrow U_{2B} \uparrow \Rightarrow U_{20} \uparrow \Rightarrow U_B \uparrow$$

У промисловості застосовувався зварювальний випрямляч конструкції типу ВСЖ-303УЗ. Функціональну і спрощену принципову електричну схему його подано на рис. 3.10 і рис. 3.11.

Блок корекції за зварювальним струмом БКС призначений для зміни нахилу зовнішніх характеристик, а блок порівняння напруг БПН – для порівняння заданої напруги з фактичною на виводах випрямляча, а також для стабілізації напруги, яка подається на обмотки керування.

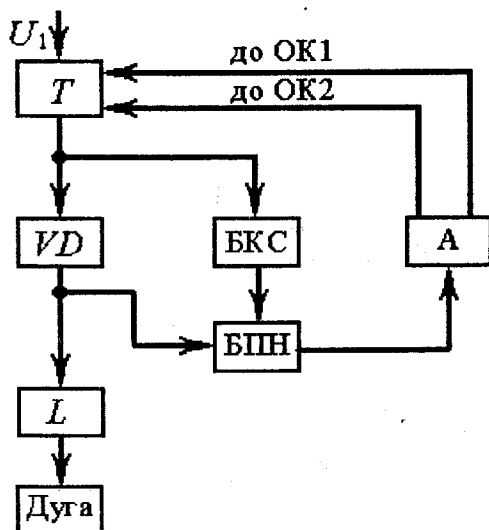


Рис. 3.10. Функціональна схема випрямляча ВСЖ-303

Блок БПН є нелінійним мостом, у плечі якого (рис. 3.11) увімкнені резистори $R1$, $R2$, стабілітрони $VD1$ і $VD2$. При розбалансі мосту на його виводах "а" і "в" виникає напруга, яка подається на блок підсилювання А. У блоці А відбувається підсилення струмів для живлення обмоток керування підмагнічувальних ярем трансформатора. До блоку А входять безконтактні напівпровідникові реле на транзисторах $VT4$, $VT5$, $VT6$, проміжний транзистор $VT7$ і диференційний вихідний підсилювач на транзисторах $VT8$ і $VT9$. Проміжний транзистор $VT7$ керує вихідним підсилювачем. У колекторні кола $VT8$ і $VT9$ увімкнені обмотки керування ОК1 і ОК2. Якщо напруга на вході БПН відповідає заданій, то нелінійний міст перебуває у рівновазі, і напруга на виводах "а" і "б" дорівнює нулю. У цьому випадку безконтактні реле електронного підсилювача А вимикаються, $VT8$ відкривається, і магнітний потік обмотки ОК1 підмагнічує верхнє яро. При цьому фазна напруга трансформатора і вихідна напруга ВСЖ-303 зменшується. Якщо порушується рівновага мосту (на виводах "а" і "б" виникає різниця потенціалів), то безконтактні реле вимикаються, $VT8$ закривається, а $VT9$ відкривається. Обмотка ОК2 отримує живлення, і відбувається підмагнічування середнього ярма. Напруга на виводах випрямляча зростає, безконтактні реле і $VT9$ вимикаються, обмотка ОК1 отримує живлення, і вихідна напруга випрямляча починає зменшуватись. Завдяки інерційності обмоток керування, яка визначається їх великими індуктивностями, задана напруга підтримується стабільною. Таким чином, за рахунок почергового увімкнення ОК1 і ОК2 автоматично утримується задана вихідна напруга.

Зовнішні характеристики випрямляча, відповідно до трьох ступенів регулювання напруги, подані на рис. 3.12, технічні дані – у табл. 3.2.

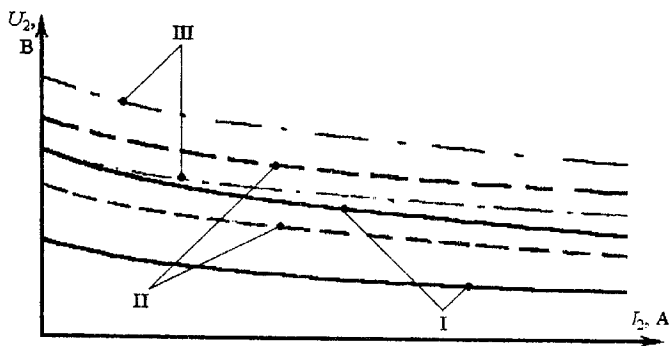


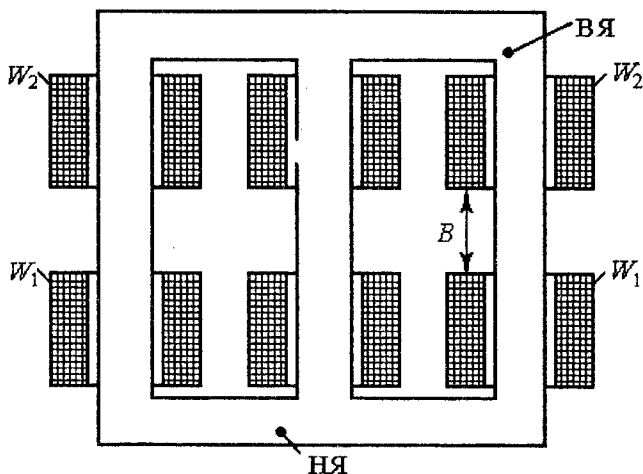
Рис. 3.12. Зовнішні характеристики випрямляча ВСЖ-303

Ступінчасте регулювання напруги здійснюється секціонуванням за рахунок відводів у вторинній обмотці, плавне – в межах кожного ступеня з допомогою потенціометра R_3 .

3.2.3. Зварювальні випрямлячі з рухомими обмотками

Випрямлячі з рухомими обмотками призначені для ручного дугового зварювання, різання і наплавлення. Вони можуть застосовуватись і для механізованого зварювання під флюсом. До складу випрямлячів входить трифазний зварювальний трансформатор з розвиненим магнітним розсіянням, випрямний блок, зібраний за трифазною мостовою схемою випрямлення на кремнієвих вентилях, пускова і захисна апаратура. Конструкція осердя та розміщення обмоток на ньому подані на рис. 3.13.

Обмотки трансформатора мають високу індуктивність розсіяння за рахунок потоків, що утворюються внаслідок рознесення первинних і вторинних обмоток на визначену відстань одна від одної. Завдяки збільшеному магнітному розсіянню трансформатора забезпечується утворення спадної зовнішньої характеристики випрямляча. Силовий трансформатор має три нерухомі вторинні обмотки, закріплені біля верхнього ярма магнітопроводу, і три рухомі первинні обмотки, які встановлені в обоймі і переміщуються вертикально вручну з допомогою ходового гвинта.



Фиг. 3.13. Конструкція осердя трансформатора і розміщення обмоток випрямляча з рухомими котушками

Плавне регулювання зварювального струму здійснюється за рахунок зміни індуктивного опору трансформатора X_T шляхом переміщення рухомих котушок, тобто зміни відстані між обмотками. При зменшенні відстані між ними зменшуються потоки розсіяння і опір X_T , відповідно зварювальний струм збільшується, і навпаки. Кратність регулювання за струмом невелика і досягає порядку 3. Для підвищення величини $I_{\text{ДМАХ}}/I_{\text{ДМИН}}$ доводиться застосовувати ступінчасте регулювання струму за рахунок перемикання обмоток в положення Y/Y або Δ/Δ . У протилежному випадку, довелося б значно збільшувати хід рухомих котушок, що призвело б до збільшення масо-габаритних показників трансформатора. Для отримання діапазону малих струмів первинні і вторинні обмотки перемикаються в положення «зірка-зірка», а для отримання великих струмів – «трикутник-трикутник». При цьому різко змінюється індуктивний опір трансформатора при незмінній напрузі неробочого ходу. Вторинну лінійну напругу трансформатора для схеми Y/Y знаходимо з рівняння:

$$U_{2л}^Y = U_{2\Phi} \sqrt{3} = U_{1\Phi} \frac{W_2}{W_1} \sqrt{3} = U_{1л} \frac{W_2}{\sqrt{3} \cdot W_1} \sqrt{3} = U_{1л} \frac{W_2}{W_1} \quad (3.2)$$

Для схеми Δ/Δ $U_{2л}$ складе:

$$U_{2л}^\Delta = U_{2\Phi} = U_{1\Phi} \frac{W_2}{W_1} = U_{1л} \frac{W_2}{W_1} \quad (3.3)$$

Аналізуючи рівняння (3.2) і (3.3), бачимо, що при перемиканні обмоток з Y/Y на Δ/Δ напруга трансформатора не змінюється, тому і напруга неробочого ходу випрямляча $U_{20} = 1,35 U_{1л} (W_2/W_1)$ не зазнає змін. Водночас, величина зварювального струму і загальний опір випрямляча змінюється. Це можна розглянути на прикладі короткого замикання вторинних обмоток трансформатора. Величину струму при з'єднанні обмоток Y/Y знаходимо з рівняння:

$$I_{2лк}^Y = I_{2\Phi к} = \frac{U_{2\Phi}}{X} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}X} = \frac{U_{1л} \cdot W_2}{\sqrt{3}X \cdot W_1} \quad (3.4)$$

При з'єднанні Δ/Δ :

$$I_{2лк}^\Delta = \sqrt{3} \cdot I_{2\Phi к} = \frac{\sqrt{3}U_{2\Phi}}{X} = \frac{\sqrt{3}U_{2л}}{X} = \frac{\sqrt{3}U_{1л} \cdot W_2}{X \cdot W_1} \quad (3.5)$$

Порівнюючи рівняння (3.4) і (3.5), бачимо, що зварювальний струм при перемиканні обмоток в положення Δ/Δ збільшується в тричі.

Загальна кратність плавно-ступінчастого регулювання досягає порядку 7, і тому такі способи регулювання, як перемикання схеми на Y/Δ і Δ/Y або секціонування обмоток не використовуються внаслідок їх малої ефективності.

Перевагою таких випрямлячів є простота, низька вартість виготовлення, високі зварювальні властивості. Вони мають велику розривну довжину, добре запалювання і стійкість горіння дуги. Завдяки наявності крутоспадної характеристики струм при коливаннях дуги досить стабільний. При значній індуктивності трансформатора піковий струм короткого замикання при великокрапельному переносі перевищує зварювальний струм не більш ніж на 50 %, тому коефіцієнт розбризкувань незначний і становить максимум 3,5 %. До недоліків випрямляча можна віднести відсутність стабілізації зварювального струму при коливаннях напруги мережі.

У промисловості широко застосовуються випрямлячі з рухомими обмотками типу ВД-201УЗ, ВД-301УЗ, ВД-306УЗ, ВД-401УЗ. Принципову спрощену електричну схему ВД-306УЗ подано на рис. 3.14а.

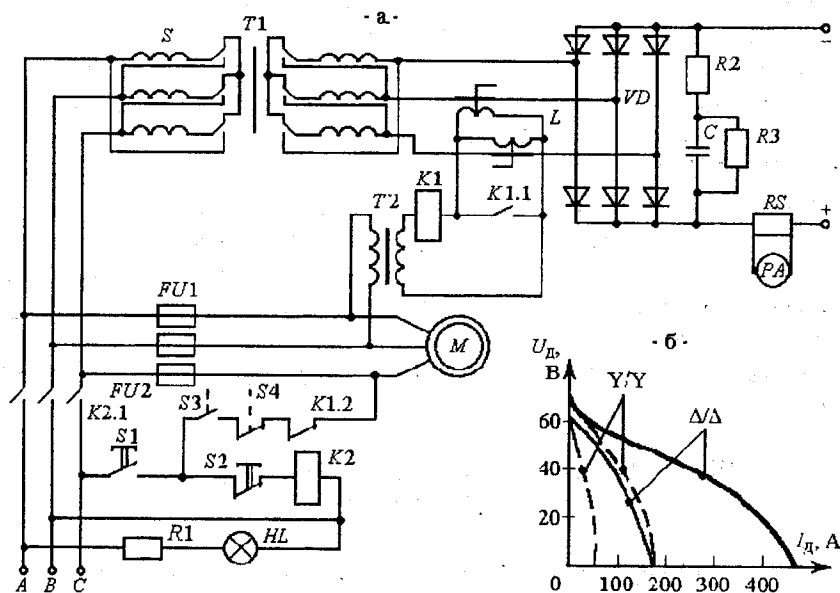


Рис. 3.14. Принципова електрична схема випрямляча ВД-306УЗ (а) і зовнішні характеристики (б)

Випрямний блок *VD* виконаний за трифазною мостовою схемою випрямлення і складається із 6 кремнієвих вентилів В200 класу 3. Нормальна робота схеми повітряної вентиляції контролюється повітряним реле – “парусом” *S3*. Перемикання діапазонів зварювального струму відбувається перемикачем *S*. Випрямляч має захист, який вимикає його від мережі при виході з ладу одного з вентилів випрямного блоку або при пробі на корпус вторинної обмотки трансформатора. До складу захисту входить магнітний підсилювач *L*, поляризоване реле *K1* з контактами *K1.1* та *K1.2*, допоміжний трансформатор *T2*, який живить обмотки підсилювача напругою 36 В. Магнітний підсилювач має два осердя тороїдального типу, дві робочі обмотки які увімкнені в коло реле *K1*. Обмоткою керування є фазні проводи трансформатора, пропущені через вікна магнітопроводу. У випадку аварії відбувається коротке замикання всередині випрямляча, різко зростає зварювальний струм і в фазних проводах у вікні осердя силового трансформатора з'являється постійна складова струму. Це приводить до насичення магнітопроводу магнітного підсилювача, різкого зниження індуктивного опору робочих обмоток і підвищення в них струму. В результаті реле *K1* спрацьовує і розмикає коло магнітного пускача *K2*. Контакти пускача *K2.1* розмикаються і знімають живлення з трансформатора і двигуна вентилятора. Зварювальний випрямляч відмикається від мережі. У схемі передбачено самоблокування реле *K1* з допомогою контактів *K1.1*. У результаті блокування можливість вмикання випрямляча до повного усунення аварії виключена. Для захисту випрямного блоку від комутаційних перенапруг, які виникають при зміні стану вентилів від закритого до провідного, між виводами фаз вторинної обмотки трансформатора увімкнені захисні розрядні *R-C* кола.

Зовнішні характеристики випрямляча подані на рис. 3.146, технічні дані – у табл. 3.2.

3.3. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ З ДРОСЕЛЕМ НАСИЧЕННЯ

3.3.1. Конструкція і принцип дії дроселя насичення

Дросель насичення найпростішої конструкції з магнітопроводом стрижневого або тороїдального типів має обмотку керування – ОК,

яка живиться постійним струмом, і роботу обмотку – РО, що живиться змінним струмом (рис. 3.15).

Принцип роботи дроселя насичення у півперіод, коли магнітні потоки Φ_K утворені ОК і Φ_P , які утворюються обмоткою РО, співпадають за напрямком, наведений на рис. 3.15.

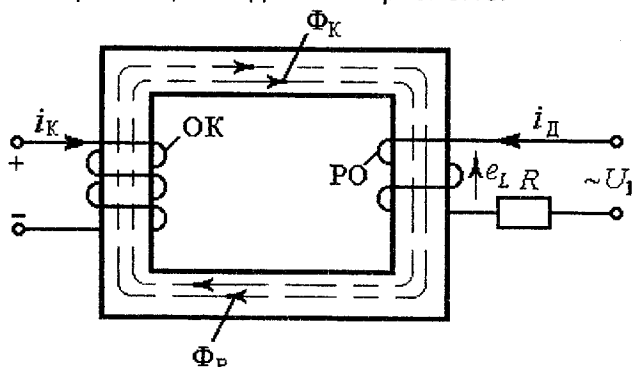


Рис. 3.15. Конструкція найпростішого дроселя насичення

Постійна намагнічувальна сила $I_K W_K$ обмотки ОК приводить магнітопровід дроселя у стан, який відображається точкою Д на ненасиченій ділянці кривої намагнічування. Під дією змінного струму робочої обмотки утворюється змінна намагнічувальна сила $i_D W_P$, яка за півперіод переміщує робочу точку по шляху DEFED (тонка лінія на рис. 3.16а). При цьому зростання сумарного магнітного потоку $\Phi = \Phi_K + \Phi_P$ спостерігається тільки на ненасиченій ділянці DE кривої намагнічування. Зміна Φ з часом в інтервалі від 0 до α_1 показана на рис. 3.16б суцільною лінією.

Цей змінний потік індуктує в обмотці РО проти ЕРС e_L , приблизно рівну напрузі мережі живлення u_c (рис. 3.16в). Тому на навантаженні R напруга мала, а струм навантаження i_D дуже незначний (рис. 3.16г), тобто в інтервалі від 0 до α_1 обмотка РО має великий індуктивний опір. З моменту α_1 робоча точка переміщується по насиченій ділянці EF кривої намагнічування і магнітний потік Φ від α_1 до π практично постійний, відповідно проти ЕРС в обмотці РО не наводиться, а напруга мережі живлення $U_{ж}$ прикладена до навантаження R і по ньому проходить струм великої сили. При збільшенні струму керування I_K дроселя насичення початкова робоча точка на кривій намагнічування зсунеться в положення D1 і магнітопровід насититься раніше (пунктирні лінії на рис. 3.16б). При цьому струм дуги I_D буде збільшу-

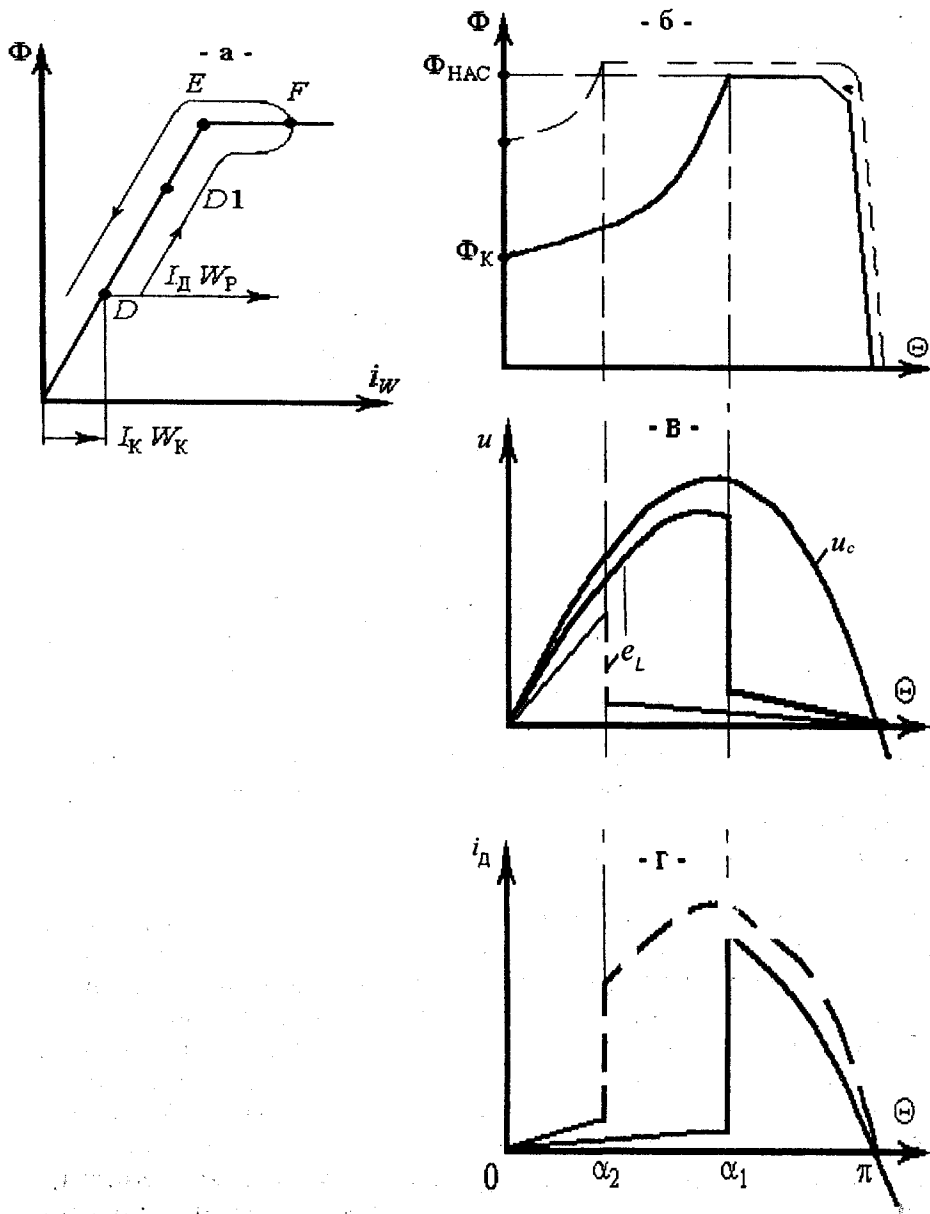


Рис. 3.16. Криві намагнічування (а), магнітного потоку (б), напруги змінного струму (в), струму навантаження (г) дроселя насичення

ватись раніше, в момент α_2 , тобто середній за період струм навантаження збільшується. Регулювання навантаження визначається величиною « α » – кутом керування, тому дросель насичення у колі змінного струму подібний до тиристора і його можна використовувати як для регулювання струму і напруги, так і для формування нахилу вольт-амперних характеристик. Якщо у дроселі передбачено зустрічний напрямок магнітних потоків обмоток ОК і РО, то він працює в режимі з компенсованими намагнічувальними силами. При цьому формуються крутоспадні зовнішні характеристики з регулюванням їх нахилу.

Зварювальні випрямлячі на дроселях насичення не знайшли широкого застосування при зварюванні через великі масо-габаритні показники і вартість дроселей. Однак ряд джерел у вигляді випрямлячів з компенсованими намагнічувальними силами (ВД-502 УЗ) із самопідмагнічуванням (ВДГ-303УЗ) у зварювальній техніці мають застосування.

3.3.2. Зварювальний випрямляч із самопідмагнічуванням із жорсткою ВАХ

Спрощену електричну схему такого випрямляча подано на рис. 3.17.

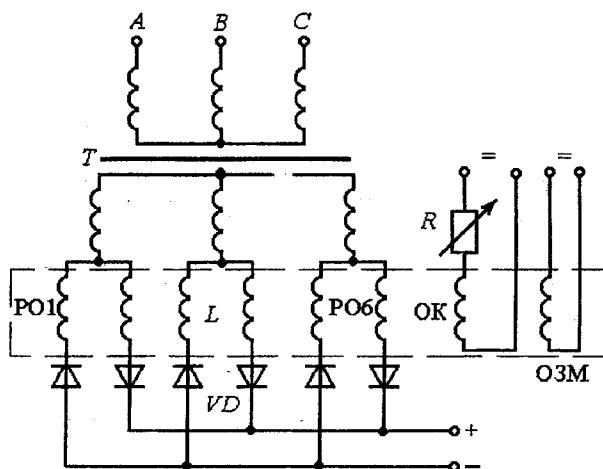


Рис. 3.17. Спрощена електрична схема випрямляча, керованого дроселем насичення із самопідмагнічуванням

У вторинну обмотку зварювального трансформатора Т увімкнені робочі обмотки РО1-РО6 трифазного дроселя насичення L . Дросель виконаний на шести стрічкових розрізних осердях, на кожному з яких розміщені обмотки РО. З'єднані попарно осердя охоплені котушками обмоток керування ОК і зміщення ОЗМ, магніторушійні сили яких направлені назустріч. У кола обмоток РО увімкнені силові вентиляти випрямного блоку VD. Така конструкція називається дроселем із самопідмагнічуванням або самонасиченням. Розглянемо магнітні процеси в одному з осердь дроселя, на обмотку РО якого подано максимальну напругу трансформатора (рис. 3.18а).

При роботі випрямляча в режимі неробочого ходу утворюється намагнічувальна сила $I_K W_K$, яка відповідає точці Д кривої намагнічування, тобто осердя ненасичене.

У режимі навантаження намагнічувальні сили обмоток ОК і РО додаються. Намагнічувальна сила робочої обмотки $i_D W_P$ при малих струмах навантаження незначна і робоча точка відповідно до сумарної намагнічувальної сили $iW = I_K W_K + i_D W_P$, пересуваючись по траєкторії ДЕД, залишається ліворуч від точки Е. Оскільки осердя дроселя в такому випадку не насичене, то при періодичній зміні робочого струму змінюється і магнітний потік в осердді, а в робочій обмотці наводиться проти ЕРС E_L . Зі зростанням зварювального струму середнє

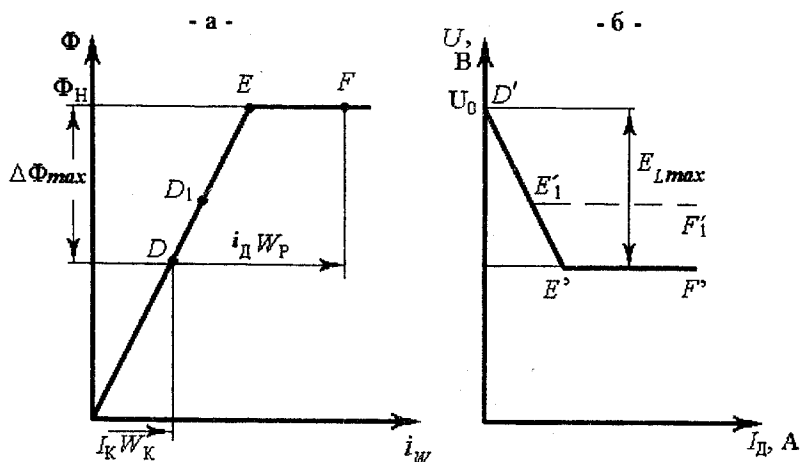


Рис. 3.18. Криві намагнічування (а) і зовнішні характеристики (б) випрямляча, керованого дроселем із самопідмагнічуванням

значення E_L різко збільшується і тому зовнішня характеристика випрямляча на ділянці $D'E'$ набуває крутоспадної форми (рис. 3.186).

При зварюванні на високих струмах осердя дроселя приходить у насичений стан праворуч від точки E . У випадку періодичної зміни струму робоча точка пересувається по траєкторії $DEFED$, при цьому положення точки F зсувається, але зміна потоку $\Delta\Phi_{max}$ і величина E_{Lmax} залишаються сталими. Відповідно, напруга випрямляча $U_B = U_{20} - E_{Lmax}$ також залишається сталою і зовнішня характеристика джерела формується жорсткою (ділянка $E'F'$, рис. 3.186). Така ламана характеристика $D'E'F'$ отримується завдяки дроселю насичення із самопідмагнічуванням і має добре застосування при зварюванні у вуглекислому газі, оскільки підвищена напруга неробочого ходу сприяє надійному запалюванню дуги, а ділянка жорсткої характеристики – процесу саморегулювання.

Однак процес самопідмагнічування має і негативний бік, оскільки скорочується діапазон регулювання напруги. Для отримання малих напруг необхідно змінювати напрямок струму, що пов'язано з деякими труднощами. Тому, для усунення цього недоліку, у випрямлячах застосовується обмотка зміщення ОЗМ, яка створює в осерді магнітний потік, направлений назустріч потокам обмоток ОК і РО. Плавне регулювання напруги джерела відбувається за рахунок зміни струму I_K в обмотці керування. При збільшенні I_K точка D зсувається в положення $D1$, при цьому $\Delta\Phi_{max}$ і E_{Lmax} зменшується, напруга випрямляча U_B зростає, а зовнішня характеристика зсувається в положення E'_1, F'_1 , тобто:

$$I_K \uparrow \Rightarrow \Delta\Phi_{max} \downarrow \Rightarrow E_{Lmax} \downarrow \Rightarrow U_B \uparrow$$

Спрощену принципову електричну схему випрямляча серії ВДГ-303 подано на рис. 3.19.

Плавне регулювання напруги виконується регулятором $R1$ у колі обмотки ОК дроселя насичення $L1-L6$, ступінчасте – шляхом перемикання первинних обмоток силового трансформатора T , тобто за рахунок зміни коефіцієнта трансформації. З'єднанням фаз первинних обмоток "трикутником" з використанням відводів відповідає перший ступінь регулювання напруги, з'єднанням "трикутником" без відводів – другий ступінь, з'єднанням "зіркою" з відводами – третій ступінь (мінімальна напруга). Перемикання виконується трифазним пакетно-кулачковим перемикачем S . Конструкція трифазного дроселя на-

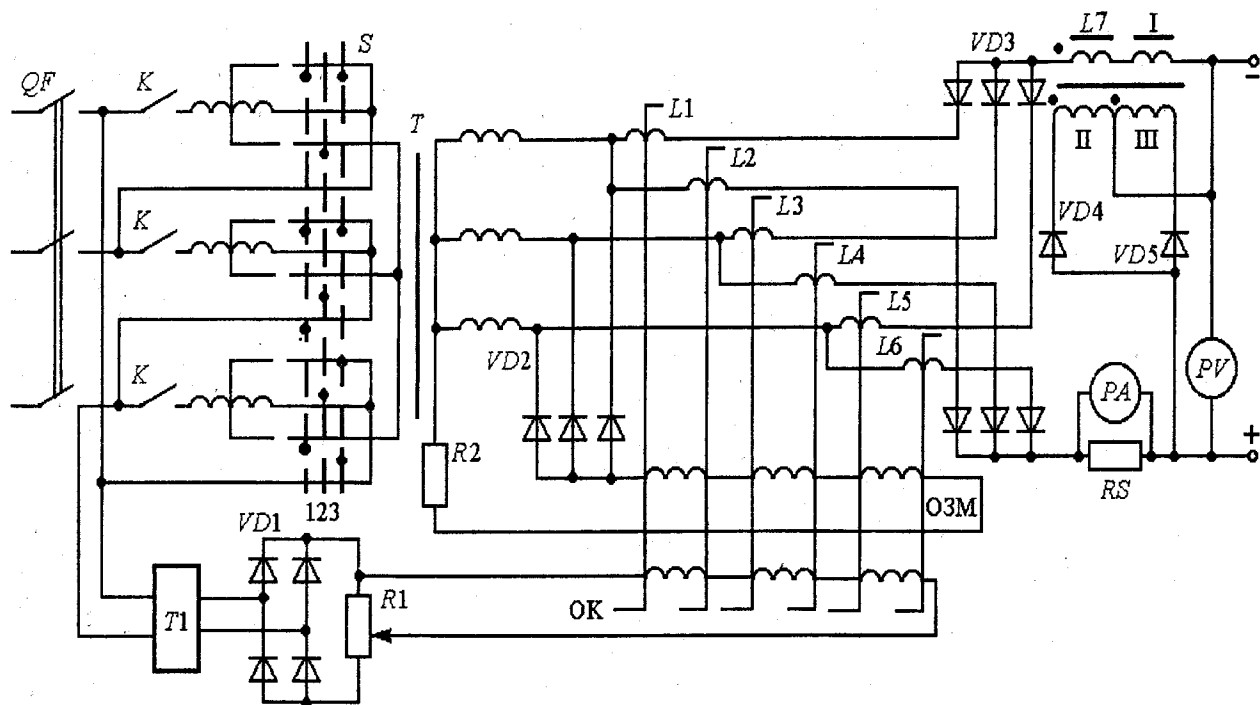


Рис. 3.19. Спрощена принципова електрична схема випрямляча ВДГ-303У3

сичення аналогічна наведеній на рис. 3.17. Обмотка керування ОК дроселя живиться від перекомпенсованого ферорезонансного стабілізатора напруги через випрямний блок $VD1$ і змінний резистор $R1$. При підвищенні напруги мережі вихідна напруга стабілізатора зменшується і навпаки, що дозволяє здійснити часткову компенсацію робочої напруги при коливаннях мережі. Обмотка зміщення ОЗМ живиться від вторинної обмотки силового трансформатора через випрямний блок $VD2$ і нерегульований резистор $R2$. Дросель $L7$ броньового типу з повітряним проміжком призначений для зниження розбризкувань електродного металу і підвищення стабілізації зварювального процесу, забезпечує автоматичне безступінчасте регулювання індуктивності залежно від режиму зварювання. Він має основну робочу обмотку I, увімкнену послідовно у зварювальне коло, і дві допоміжні обмотки керування II і III, увімкнені через вентилі $VD4$ і $VD5$. Загальна точка обмоток II і III увімкнена до затискача позитивної полярності. При зварюванні на робочій обмотці дроселя виділяється змінна складова випрямленої напруги з частотою 300 Гц, яка індуктується в двох обмотках керування і випрямляється однофазною двоперіодною схемою, утвореною обмотками і діодами. Випрямлений струм протікає по обмотках керування і замикається через дугу, змінюючи індуктивність дроселя. При зварюванні в режимах малих струмів зустрічна напруга дуги невелика і струм, який протікає в обмотках II і III збільшується, а індуктивність дроселя $L7$ має мале значення. На великих режимах збільшується запірня робоча напруга дуги, струм у допоміжних обмотках зменшується, а індуктивність дроселя зростає.

Зварювальні властивості випрямляча досить високі. Напруга неробочого ходу значно вища від напруги навантаження, що сприяє надійному початковому запалюванню дуги. Стійке горіння відбувається в усьому діапазоні регулювання, за винятком найнижчої напруги. У цьому випадку, як і при фазовому регулюванні, спостерігається режим переривчастого струму. Для усунення такого дефекту глибину плавного регулювання знижують, доповнюючи його ступінчастим. Зовнішні характеристики випрямляча ВДГ-303УЗ наведені на рис. 3.20, технічні дані у табл. 3.2.

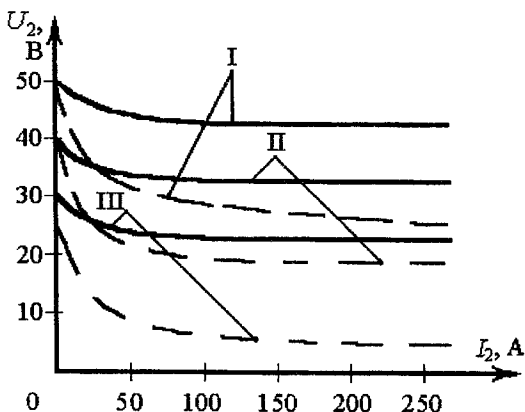


Рис. 3.20. Зовнішні характеристики випрямляча ВДГ-303УЗ

3.4. ОДНОПОСТОВІ ТИРИСТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

Застосування силових тиристорів у зварювальних випрямлячах створило умови розробки і виробництва якісно нових джерел живлення як для дугового, так і для спеціалізованих способів зварювання. Поєднуючи в собі функції випрямлення і регулювання, тиристорний регулятор дає можливість вирішувати завдання щодо створення випрямлячів із зовнішньою характеристикою різної форми, стабілізації параметрів зварювальних режимів при коливаннях напруги мережі, а також дистанційного і програмного керування процесу зварювання.

У тиристорних випрямлячах, залежно від типорозміру й економічно обґрунтованого типу тиристора, застосовуються різні схеми випрямлення. Більш доцільні трифазна мостова і шестифазна кільцева зі зрівняльним реактором (дроселем) схеми, які забезпечують мінімальні пульсації зварювального струму (рис. 3.21).

3.4.1. Фазне регулювання режиму в тиристорному випрямлячі

Розглянемо роботу трифазної мостової схеми (рис. 3.21а) за умови миттєвої комутації, тобто при малому опорі фази трансформатора (рис. 3.22).

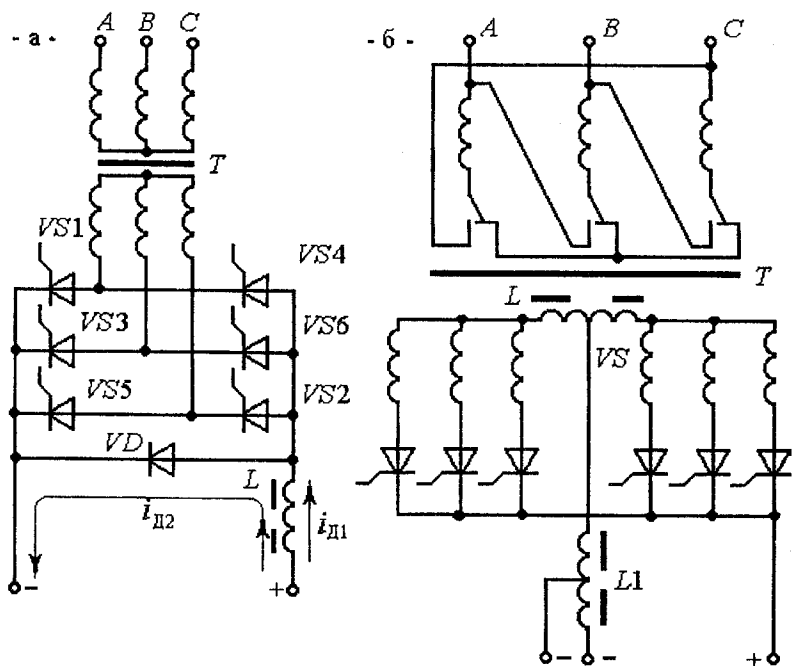


Рис. 3.21. Спрощені схеми тиристорних випрямлячів із трифазною (а) та шестифазною зі зрівнювальним дроселем (б) схемами випрямлення

У початковий момент часу Θ_0 (рис. 3.22а) струм пропускають вентиля VS5 в катодній групі, оскільки потенціал його анода має найбільше позитивне значення u_{2c} і VS6 в анодній групі (потенціал його катода має найбільше негативне значення u_{2b}). Інші вентиля струму не пропускають. У такій схемі з некерованими вентилями комутація з VD5 на VD1 відбувалась би в момент $\Theta_1 = 30$ град., тобто коли фазна напруга u_{2a} стала більша від u_{2c} . У тиристорному випрямлячі в цей момент виконується тільки перша умова відкриття VS1, коли його анодна напруга стала максимально позитивною серед вентилів катодної групи, але відкриття тиристора відбудеться імпульсом, який подається на керуючий електрод VS1 в момент часу, котрий визначається системою керування. До тих пір у катодній групі будуть працювати VS5, хоча потенціал його анода нижчий, ніж у VS1. Нехай у момент Θ_2 відкриється VS1, при цьому закриється VS5. Момент перетину фазних ЕРС, відповідний комутації вентилів ($\Theta_1 = 30$ град.), називається моментом природної комутації, а кут $\alpha = \Theta_2 - \Theta_1$ – кутом

керування тиристора. Моменти відкриття вентилів катодної групи в порядку $VS1-VS3-VS5-VS1...$ зсунуті один відносно іншого на 120 електричних градусів, як і фазні напруги u_{2a}, u_{2b}, u_{2c} . В анодній групі моменти відкриття їх зсунуті також на 120 електричних градусів, а відносно моментів відкриття вентилів тих самих фаз катодної групи

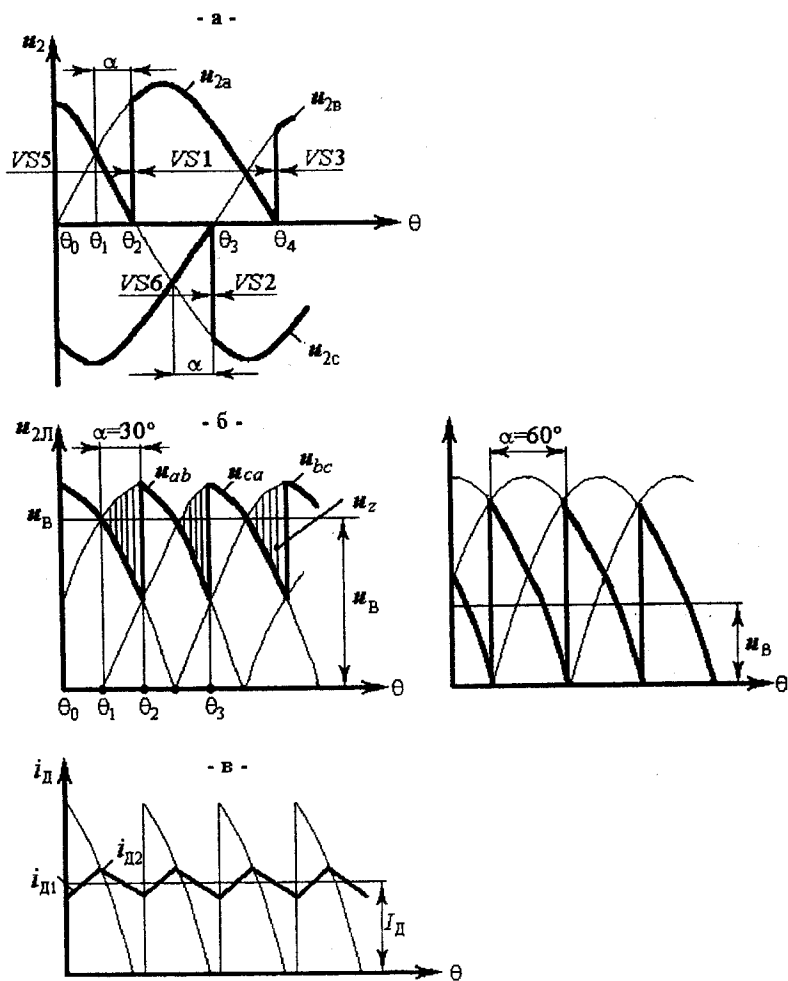


Рис. 3.22. Криві вторинних фазних напруг (а), вторинних лінійних і випрямлених напруг (б), випрямленого і згладженого струму (в) при роботі випрямляча із трифазною схемою випрямлення

– на 180 град. Таким чином вентиля будуть вмикатися в порядку VS1-VS2-VS3-VS4-VS5-VS6-VS1 і т. д. з однаковими кутами відкриття відносно моментів їх природної комутації. На (рис. 3.22а) товстою лінією показана зміна потенціалу позитивної (вище осі абсцис) і негативної клем випрямляча (нижче осі абсцис). Поточне значення випрямленої напруги u_B , яке є різницею цих потенціалів, показане на рис. 3.22б. В інтервалі Θ_1 - Θ_2 величина u_B менша, ніж у некерованого випрямляча, тому і середнє U_B керованого випрямляча менше, ніж у некерованого на величину, пропорційну площі заштрихованої ділянки. При кутах відкриття " α " від 0 до 60 град. крива випрямленої напруги безперервна і її середня величина визначається формулою $U_B = 1.35 \cdot U_{1n} \cdot (W2/W1) \cdot \cos \alpha$. Із збільшенням кута відкриття " α " втрати напруги U_z , пропорційні площі заштрихованої ділянки, збільшуються, а величина U_B спадає, тобто:

$$\alpha \uparrow \Rightarrow U_z \uparrow \Rightarrow U_B \downarrow$$

Поряд з перевагами фазне регулювання має і недоліки, головним серед яких є наявність пульсацій випрямленої напруги. При $\alpha > 60$ град. у кривій випрямленої напруги з'являються розриви (рис. 3.22б). Для зниження пульсацій в тиристорних випрямлячах застосовують згладжувальний дросель, іноді зі зворотним діодом VD (рис. 3.21а). В ті моменти, коли миттєве значення випрямленої напруги u_B зменшується, зварювальний струм підтримується енергією, що накопичена дроселем у попередній проміжок часу. Застосування VD корисне при глибокому регулюванні ($\alpha > 60$ град.), що дозволяє дроселю підтримувати струм i_{D2} в моменти, коли тиристори не пропускають струм i_{D1} . Крива струму при цьому згладжується більше (рис. 3.22в).

Зниження пульсацій можна також отримати за рахунок обмеження глибини фазового регулювання, наприклад до $\alpha < 60$ град. Щоб кратність регулювання напруги при цьому не знизилась, фазове (плавне) регулювання доповнюють ступінчастим, перемикаючи первинні обмотки трансформатора в положення "зірка" або "трикутник". Сстійке горіння зварювальної дуги при глибокому регулюванні може досягатись за рахунок блоку підживлення, який складається з трансформатора і випрямного блоку. Струм допоміжного джерела заповнює паузи у кривій струму зварювального випрямляча.

3.4.2. Формування зовнішніх характеристик в тиристорних випрямлячах

Зовнішні характеристики тиристорного випрямляча можуть формуватись природним шляхом за рахунок індуктивного опору трансформатора X_T або штучним – за рахунок введення зворотних зв'язків за струмом або напругою.

Розглянемо принципи формування природних зовнішніх характеристик на прикладі роботи тиристорного випрямляча із трифазною мостовою схемою, коли опір фази трансформатора X не дорівнює 0. У цьому випадку необхідно враховувати затягнуту комутацію. На рис. 3.23 наведена осцилограма напруг при затягнутій комутації тиристорів.

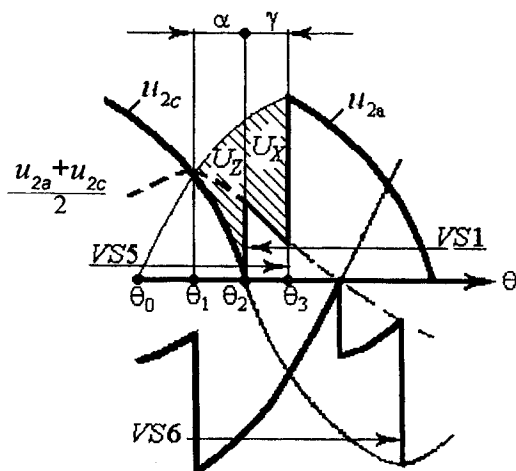


Рис. 3.23. Осцилограма напруг тиристорного випрямляча при затягнутій комутації

Як і на (рис. 3.22) в інтервалі $\theta_0 - \theta_2$ працюють $VS5$ і $VS6$, і втрати напруги u_z в інтервалі $\theta_1 - \theta_2$ викликані затримкою вмикання тиристора $VS1$ на кут α . На відміну від процесів, показаних на рис. 3.22 з моменту θ_2 вмикання $VS1$ тиристор $VS5$ не вимикається і продовжує працювати завдяки енергії, нагромадженій в індуктивності фази C . Тому в інтервалі γ комутації від θ_2 до θ_3 в катодній групі одночасно працюють тиристри $VS1$ і $VS5$. На навантаження подається не u_{2a} , як при миттєвій комутації, а півсума потенціалів пов'язаних з ними

фаз, тобто $(u_{2a} + u_{2c})/2$, що приводить до додаткових втрат напруги u_x . При збільшенні зварювального струму величини γ і u_x зростають, а випрямлена напруга U_B спадає. Природна зовнішня характеристика тиристорного випрямляча при $X \neq 0$ спадна і може бути виражена рівнянням:

$$U_B = U_{20} - U_X = 1.35 \cdot U_{1Л} (W_2/W_1) \cdot \cos \alpha - (3/\pi) \cdot X \cdot I_D$$

Втрата напруги u_x за рахунок затримки вмикання тиристорів на кут α визначається величиною $\cos \alpha$. Крутоспадні характеристики створюються за рахунок великого опору трансформатора, жорсткі – за рахунок обмеження величини X . Для розгляду процесу формування штучних зовнішніх характеристик за рахунок зворотних зв'язків за струмом і напругою необхідно подати тиристорний випрямляч як замкнену систему автоматичного регулювання режимів зварювання. На рис. 3.24 наведена функціональна схема такого випрямляча, в якій напруга мережі перетворюється трансформатором з нормальним магнітним розсіянням в напругу, необхідну для зварювання.

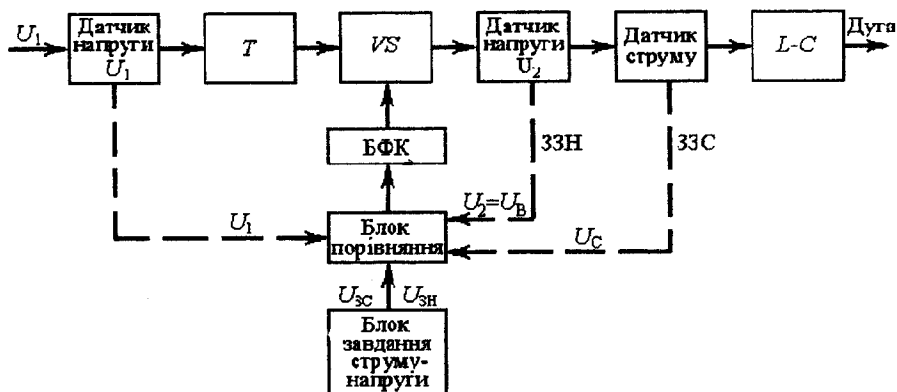


Рис. 3.24. Функціональна схема тиристорного випрямляча зі зворотними зв'язками за струмом і напругою

Після випрямлення тиристорним блоком і наступним згладжуванням фільтром, вихідна напруга подається на дугу. У схемі керування блок завдання струму БЗС або напруги БЗН формує сигнал завдання струму U_{3C} або напруги U_{3N} . Вони надходять через блок порівняння БП на блок фазового керування БФК, який і формує імпульси керування роботою силових тиристорів випрямляча. БП служить

для порівняння сигналів завдання U_{3C} або U_{3H} із сигналами від датчиків випрямленої напруги, струму або напруги мережі.

Розглянемо процес формування жорстких характеристик у тиристорному випрямлячі. Випрямлена напруга U_B порівнюється в БП із заданим (опірним) U_{3H} і їх різниця $U_{3H} - U_B$ діє через БФК на кут відкриття тиристорів « α ». У випадку підвищення напруги мережі або зниження навантаження, величина U_B підвищується. Внаслідок цього збільшується кут відкриття тиристорів, що приводить до зменшення випрямленої напруги до початкової величини і, відповідно, стабілізації напруги, тобто:

$$U_B \uparrow \Rightarrow (U_{3H} - U_B) \downarrow \Rightarrow \alpha \uparrow \Rightarrow U_B \downarrow$$

На рис. 3.25а показані природні пологоспадні-1 і штучні-2 зовнішні характеристики, положення яких залежить від значень U_{3H} . Іноді обмежуються стабілізацією тільки при коливаннях напруги мережі. В цьому випадку сигнал U_{3H} порівнюється з напругою мережі U_1 .

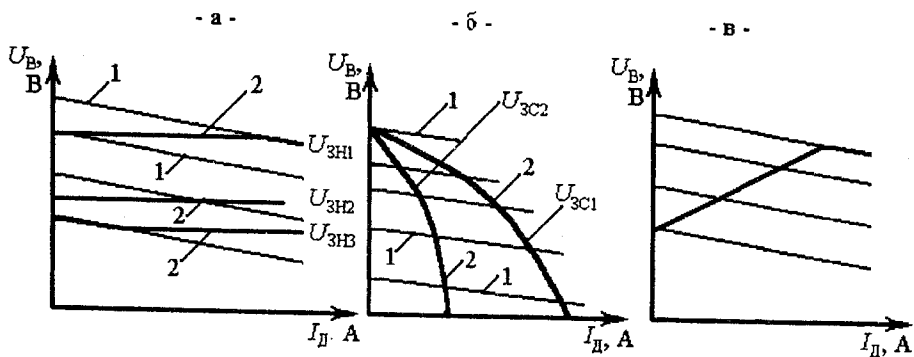


Рис. 3.25. Зовнішні характеристики тиристорного випрямляча

Для отримання крутоспадної зовнішньої характеристики використовують дію від'ємного зворотного зв'язку за струмом, коли сигнал завдання U_{3C} порівнюється з напругою U_C датчика, пропорційною зварювальному струму I_D . При цьому із зменшенням струму кут відкриття тиристорів « α » зменшується, що приводить до зростання випрямленої напруги U_B , тобто:

$$I_D \downarrow \Rightarrow U_C \downarrow \Rightarrow (U_{3C} - U_C) \uparrow \Rightarrow \alpha \downarrow \Rightarrow U_B \uparrow$$

На рис. 3.25б показано, як з природних пологоспадних-1 формуються штучні крутоспадні-2 характеристики.

При введенні позитивного зворотного зв'язку за струмом можна отримати положонаростальні (оптимізовані) зовнішні характеристики, які можуть застосовуватися для механізованого зварювання у вуглекислому газі і сприяти зменшенню розбризкувань електродного металу (рис. 3.25в).

3.4.3. Конструкція і принцип дії тиристорних зварювальних випрямлячів

У тиристорних однопостових зварювальних випрямлячах на основі однієї й тієї ж силової частини за рахунок зворотних зв'язків можна отримати жорсткі та крутоспадні зовнішні характеристики, тому більшість випрямлячів розроблені як універсальні. Створення таких джерел пов'язане з уніфікацією конструкції силового трансформатора, який у тиристорних випрямлячах виконується з нормальним магнітним розсіянням.

У промисловості застосовуються зварювальні випрямлячі з двома системами фазового керування: транзисторною, канали керування якої виконані з використанням стандартних логічних елементів "Логіка" Т-404, і системою керування, розробленою на інтегральних мікросхемах. Система фазового керування СФК з логічними елементами застосовується у випрямлячах ВДУ-305, ВДУ-504, ВДУ-1201, ВДГ-601 і т. д., а на базі інтегральних мікросхем застосовується ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-601. Обидві системи працюють за принципом вертикального керування. СФК на базі транзисторних логічних елементів виконана з трьома каналами фазового керування. Кожний канал забезпечує подачу імпульсів керування на два протифазних тиристори, що значно знижує їх асиметрію і забезпечує рівномірне завантаження тиристорів в усіх режимах, особливо у випрямлячів, побудованих за шестифазною схемою зі зрівняльним реактором (дротом Кюблера). Подібна система фазового керування забезпечує отримання імпульсів шириною до 90 град. СФК спільно з колами зворотного зв'язку має достатню швидкодію і забезпечує необхідні зварювальні властивості випрямлячів.

Зварювальний випрямляч типу ВДУ-305УЗ призначений для ручного дугового зварювання штучними електродами, а також напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі і виконаний за шестифазною схемою зі зрівняльним реактором з використанням тиристорів типу Т-160. Широкі межі регулювання струму та напруги

В одному діапазоні забезпечуються за рахунок використання блока підживлення, який складається із трифазного дроселя $L2$ з двома обмотками на кожній фазі та вентилів VD (рис. 3.26).

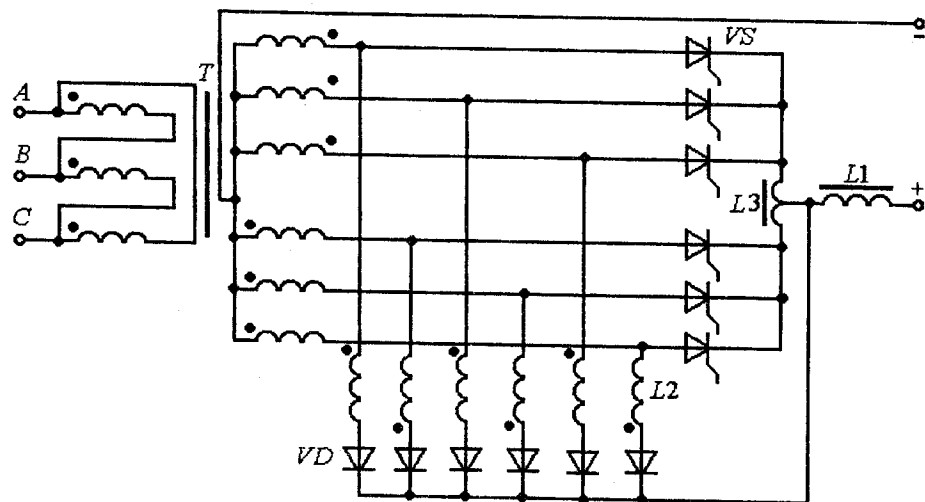


Рис. 3.26. Блок підживлення випрямляча ВДУ-305У3

Зовнішня характеристика підживлення – крутоспадна. Система імпульсно-фазового керування тиристорами виконана за “вертикальним” принципом і містить у собі три блоки фазового керування (БФК), кола завдання зварювального струму і напруги, кола зворотного зв’язку за струмом і напругою, перемикач виду характеристик. Робота протифазних тиристорів забезпечується від одного БФК, схема якої аналогічна БФК тиристорних зварювальних трансформаторів. Для отримання спадних зовнішніх характеристик застосовується зворотний зв’язок за струмом, датчиком якого є магнітний підсилювач. Зворотний зв’язок за напругою при роботі на жорстких ВАХ забезпечує стабілізацію вихідних параметрів при коливаннях напруги мережі і формування жорстких характеристик. Зовнішні характеристики випрямляча типу ВДУ-305 наведено на рис. 3.27.

Зварювальний випрямляч ВДУ-504У3 призначений для ручного дугового зварювання, механізованого зварювання під флюсом і в середовищі захисних газів. Його спрощену принципову електричну схему наведено на рис. 3.28. Випрямляч зібраний за шестифазною схемою випрямлення зі зрівняльним реактором з використанням тиристорів типу Т-160.

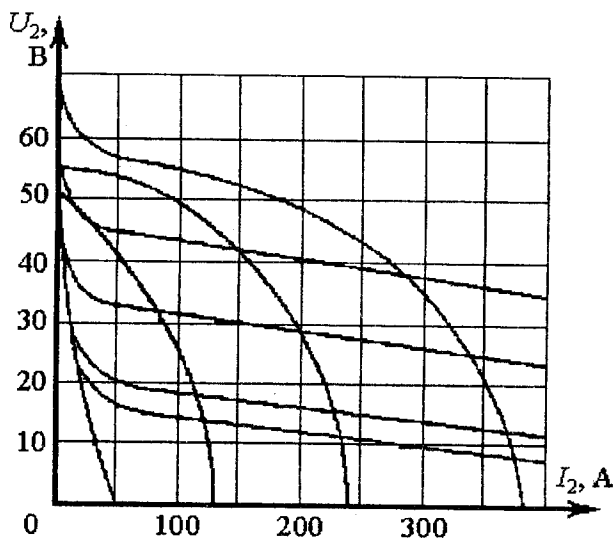


Рис. 3.27. Зовнішні характеристики випрямляча ВДУ-305У3

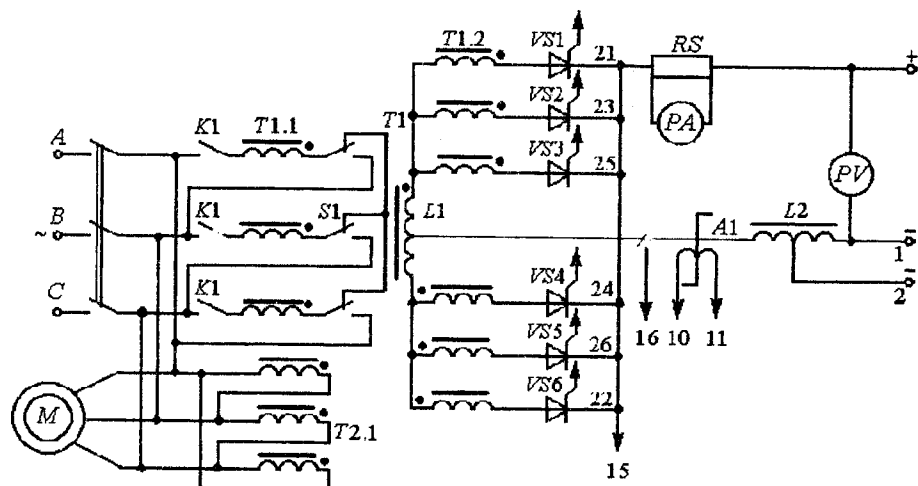


Рис. 3.28. Спрощена принципова електрична схема силової частини випрямляча ВДУ-504

При роботі на спадних зовнішніх характеристиках передбачений один, а на жорстких – два діапазони регулювання струму та напруги. Первинна обмотка силового трансформатора може бути з'єднана як у "трикутник", так і в "зірку" з допомогою спеціального перемикача S1. З'єднання у трикутник здійснюється на I ступені регулювання при роботі з жорсткими зовнішніми характеристиками і роботі зі спадними ВАХ. При роботі на II ступені первинна обмотка з'єднується в "зірку" у і формуються жорсткі ВАХ. Згладжувальний дросель L2 у зварювальному колі має два виводи. Вивід 1 відповідає більшій індуктивності і використовується при роботі зі спадними ВАХ та на першому ступені регулювання при роботі із жорсткими характеристиками. Вивід 2 відповідає меншій індуктивності і використовується на другому ступені при роботі з жорсткими ВАХ. При роботі на спадних характеристиках використовується зворотний зв'язок за струмом, а на жорстких – зворотний зв'язок за напругою і струмом.

Зовнішні характеристики випрямляча ВДУ-504 наведено на рис. 3.29.

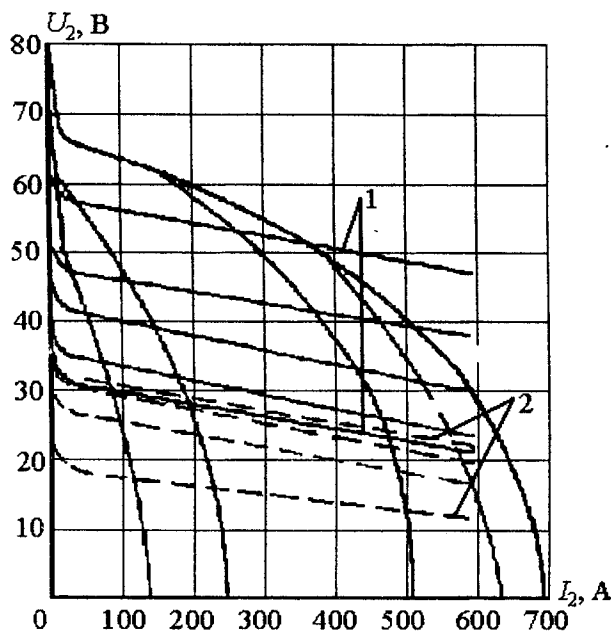


Рис. 3.29. Зовнішні характеристики випрямляча ВДУ-504УЗ.
1–діапазон великих струмів; 2–діапазон малих струмів

Триканальна система фазового керування випрямляча ВДУ-504 побудованого по двічі трифазній схемі зі зрівняльним реактором містить у собі вхідний і фазозсувний пристрій, три підсилювачі А2-А4 і три пристрої формування імпульсів (рис. 3.30).

Вхідний пристрій складається з вторинних обмоток допоміжного трансформатора Т2.4, діодів і резисторів. Частини обмоток між анодами діодів VD утворюють шестифазну "зірку" і формують синхронізовану з мережею шестифазну опорну напругу. Кожна вторинна обмотка є роздільною і підключається до обмоток опорної напруги через відповідні діоди і резистори. Напруга на роздільній обмотці випереджає на 60 град. відповідну опорну напругу, завдяки чому час протікання струму по основній обмотці буде визначатись провідним півперіодом напруги відповідної роздільної обмотки. До схеми фазового керування з вхідного пристрою подаються шість відрізків синусоїдної напруги тривалістю приблизно 180 град. Фазовий зсув керуючих імпульсів відносно фази напруги мережі відбувається при порівнянні опорної напруги з випрямленою, яка надходить із фазозсувного пристрою. Напруга на виході фазозсувного пристрою є сумою двох зустрічно направлених напруг: постійної напруги зміщення $U_{3М}$ (обмотка Т2.3) та напруги $U_{КЕР}$, яка знімається з резистора R7 регулюється проміжним підсилювачем на транзисторі VT1. Напруга зміщення введена для розширення діапазону регулювання фази керувальних імпульсів. Напрузі $U_{КЕР}=0$ відповідає повнофазне відкриття силових тиристорів, а $U_{КЕР}=2U_{3М}$ – майже повне їх закриття. У колі бази VT1 діють стабілізована напруга завдання $U_{3АВД}$ і зустрічна напруга зворотного зв'язку. При роботі на крутоспадних ВАХ діє зворотний зв'язок за струмом $U_{33С}$ (U_C), у колі якого датчиком струму є магнітний підсилювач А1. Часткове згладжування сигналу зворотного зв'язку виконується колом RC, параметри якого підібрані з урахуванням швидкодії системи. При неробочому ході U_C відсутня, VT1 відкритий і насичений струмом завдання, $U_{КЕР}$ близька до нуля. Зі зростанням зварювального струму I_D величина U_C збільшується, транзистор виходить з режиму насичення, напруга $U_{КЕР}$ зростає і напруга на виході випрямляча зменшується. Стабілізована напруга завдання визначає величину I_D і забезпечує в сукупності із замкненою системою регулювання стабілізацію режиму при коливаннях напруги мережі. Крутизна нахилу характеристик задається резистором R4.

► При роботі на жорстких ВАХ вводиться зворотний зв'язок за напругою $U_{33Н}$, яка надходить на транзистор VT1 з вихідних затисків

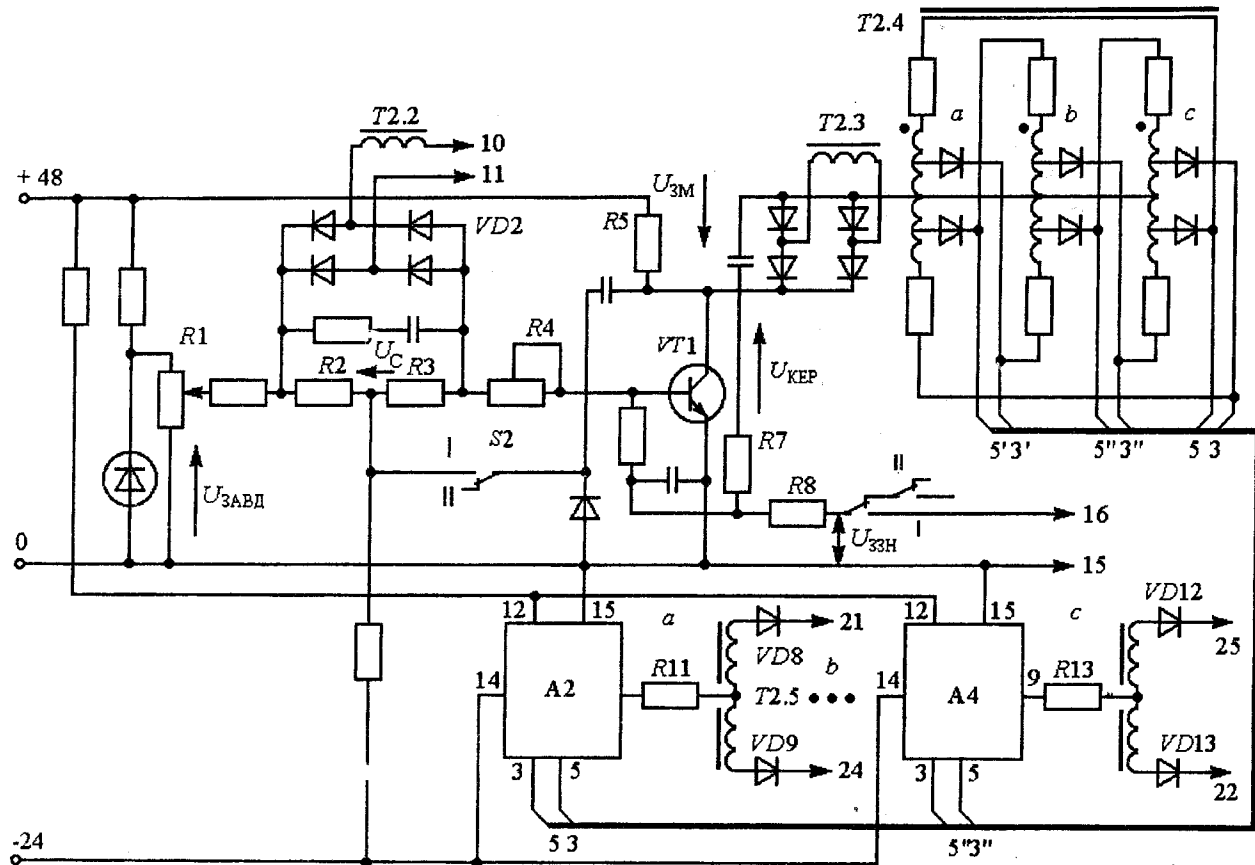


Рис. 3.30. Спрощена електрична схема керування випрямлячем ВДУ-504-1

випрямляча (до згладжувального дроселя $L2$) через подільник $R6$ та $R8$. Одночасно з U_{33H} діє невеликий зворотний зв'язок за струмом, який знімається з $R2$ і дозволяє задати необхідний нахил характеристик. Резистори $R3$ (основний зворотний зв'язок за струмом) і $R4$ при жорстких ВАХ зашунтовані. Зворотний зв'язок за напругою забезпечує і стабілізацію режиму при коливаннях напруги мережі. Негативний сигнал, що змінюється за фазою, з вихідного і фазозсувного пристроїв надходить на входи підсилювачів $A2-A4$ (затискачі 3, 5 рис. 3.30), які є підсилювальними елементами «Логіка» Т-404.

Враховуючи, що кожний підсилювач забезпечує роботу двох протифазних тиристорів, на вхід підсилювача подаються два сигнали, утворені протифазними опорними напругами. Вихідний транзистор логічного елемента відкритий двічі за період, тривалість його відкриття залежить від напруги $U_{КЕР}$. Пристрій формування керувальних імпульсів містить у собі обмотки трансформатора $T2.5$, діоди $VD8-VD13$, струмообмежуючі резистори $R11-R13$ і транзисторний ключ, котрий використовується як вихідний транзистор підсилювача. Керування тиристорами здійснюється імпульсами, які є частиною півхвилі синусоїди. Для їх створення використовується двоохпівперіодний випрямляч з нульовим виводом (вентилі $VD8, VD9$, обмотка трансформатора $T2.5$), навантаженням якого в фазних колах є керувальні електроди протифазних тиристорів $VS1$ та $VS4$ (рис. 3.31).

У діагональ випрямляча увімкнений емітерно-колекторний перехід вихідного транзистора логічного елемента і послідовно з ним струмообмежуючий резистор $R11$. Фаза вмикання тиристорів визначається вихідним транзистором підсилювача. При подачі на один із входів логічного елемента негативного сигналу відбувається його перемикавання, відкривається вихідний транзистор, замикаючи коло навантаження двоохпівперіодного випрямляча. Струм навантаження проходить через струмообмежуючий резистор і керувальний електрод тиристора.

Момент спрацьовування транзисторно-релейного елемента визначає фазу вмикання тиристорів у різні півперіоди напруги живлення. Напруга на обмотках трансформатора повинна знаходитись у фазі з анодною напругою свого тиристора.

Зварювальні випрямлячі типу ВДУ-1201УЗ і ВДУ-1601УЗ призначені для зварювання в середовищі захисних газів та під флюсом, а також для зварювання порошковим дротом на автоматах із залежною та незалежною швидкістю подачі електродного дроту.

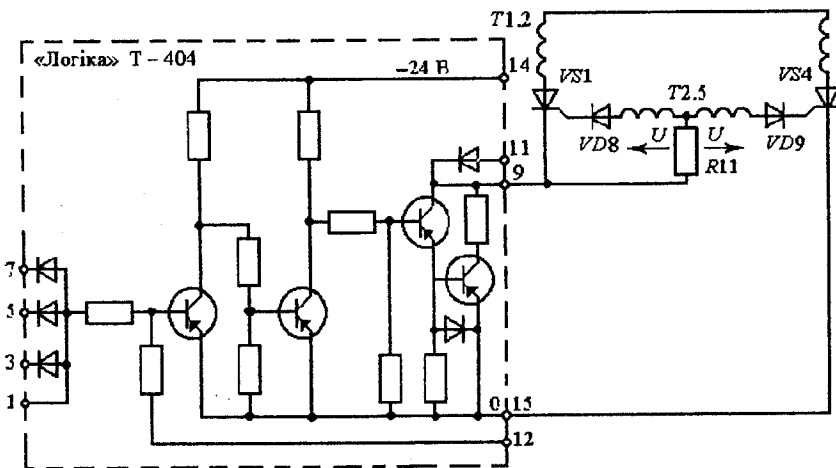


Рис. 3.31. Спрощена електрична схема пристрою формування керуючих імпульсів випрямляча ВДУ-504У3

Дворежимний випрямляч ВДГ-601У3 використовується як джерело живлення у зварювальному автоматі типу ПДГ-601 для зварювання у вуглекислому газі. Він забезпечує зварювання на режимах малих та великих струмів. Режим малих струмів використовується при вертикальному положенні швів та при заварюванні кратерів, режим великих струмів – при горизонтальному положенні швів. При зварюванні на малих струмах швидкість подачі електродного дроту повинна бути меншою, а індуктивність лінійного дроселя у зварювальному колі – більшою. Функціональну схему випрямляча ВДГ-601 наведено на рис. 3.32.

T – трифазний силовий трансформатор з нормальним розсіянням, VS – тиристорний перетворювач, БФК – блок фазового керування тиристорами, $T1$ – допоміжний трансформатор, L – лінійний згладжувальний дросель, $U_2=f(I_2)$ – ВАХ трансформатора, $U=f(I)$ – ВАХ випрямляча.

Формування жорстких зовнішніх характеристик, регулювання та стабілізація випрямленої вихідної напруги здійснюються з допомогою блоку БФК за рахунок зворотного зв'язку за напругою. Блок фазового керування живиться від допоміжного трансформатора $T1$.

У зварювальних випрямлячах, побудованих за шестифазною кільцевою схемою випрямлення (ВДУ-1201, ВДГ-601), пристрій формування керуючих імпульсів має розподільний імпульсний трансформатор $T2$ (рис. 3.33).

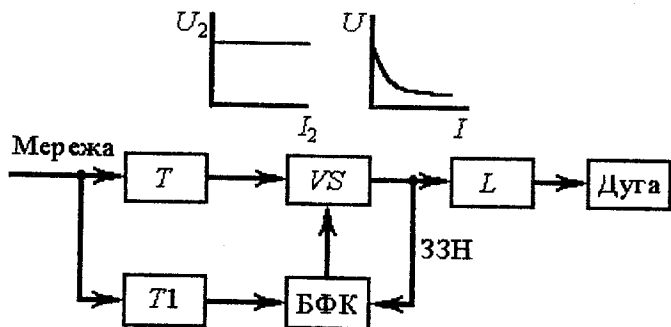


Рис. 3.32. Функціональна схема випрямляча із тиристорним керуванням ВДГ-60У3

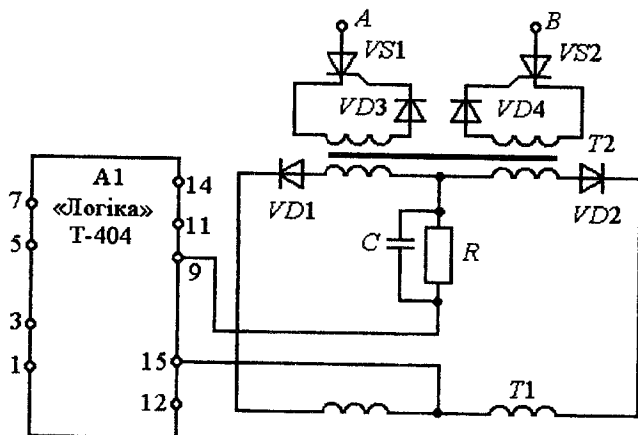


Рис. 3.33. Спрощена електрична схема пристрою формування керуючих імпульсів випрямлячів ВДУ-1201У3 і ВДГ-601У3

Обмотки допоміжного трансформатора T_1 і первинні обмотки T_2 утворюють двохпівперіодний випрямляч з нульовим виводом. До вторинних обмоток T_2 увімкнені керувальні електродами протифазних тиристорів VS_1 і VS_2 .

Стійка робота кільцевої схеми випрямлення може забезпечуватись і при вузьких імпульсах керування тиристорами. У зв'язку з цим для зниження потужності керування в діагональ випрямного мосту увімкнені струмообмежуючий конденсатор C і розрядний резистор R . Як ключ використовується вихідний транзистор логічного елемента

підсилювача А1. При відкритті транзистора коло випрямляча замикається, відбувається заряд конденсатора С й імпульси зарядного струму із вторинних обмоток трансформатора Т2 подаються на керувальні електроди тиристорів.

Зварювальні випрямлячі типу ВДУ-505УЗ, ВДУ-506УЗ, ВДУ-601УЗ призначені для зварювання у вуглекислому газі та під флюсом, а також для ручного дугового зварювання штучними електродами. Вони забезпечують плавне регулювання робочої напруги і струму в одному діапазоні, можуть використовуватись для спільної роботи з робототехнічними комплексами та автоматичними маніпуляторами, оскільки забезпечують надійне початкове запалювання дуги, стійкість процесу зварювання в усіх просторових положеннях. Випрямлячі дозволяють проводити зварювання деталей малих товщин на струмах приблизно 60 А з використанням зварювальних дротів діаметром 1,0–1,2 мм, а також безступінчасту автоматичну зміну індуктивності у зварювальному колі залежно від навантаження. Підвищення стабільності зварювання та безступінчасте регулювання індуктивності виконується

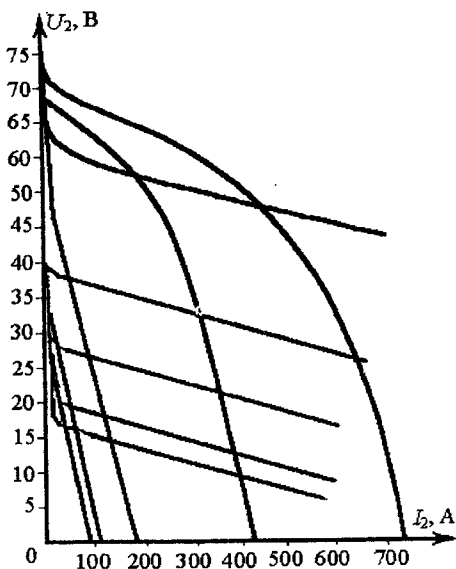


Рис. 3.34. Зовнішні характеристики випрямлячів ВДУ-505УЗ, ВДУ-506УЗ

дроселем, робота якого описана при розгляді конструкції ВДГ-303УЗ. Випрямлячі зібрані за шестифазною схемою випрямлення зі зрівняльним реактором. ВДУ-505 і ВДУ-506 мають тиристорний блок з тиристорами типу Т-160, а ВДУ-601 – з тиристорами ТЛ-250. Зовнішні характеристики ВДУ-505, ВДУ-506 наведені на рис. 3.34.

Аналогічний характер мають також характеристики випрямляча ВДУ-601, який є дворезимним джерелом живлення, що дозволяє проводити налаштування робочої напруги на кожен режим з допомогою двох окремих потенціометрів. Перемикання режимів здійснюється з пульта дистанційного керування півавтомата. Система керування зварювальних

випрямлячів типу ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-601 виконана з використанням інтегральних мікросхем і побудована також на зміні кута керування тиристорами. Кут регулювання їх відносно напруги мережі живлення визначається напругою керування $U_{КЕР}$, яка подається на вхід блока формувача імпульсів керування тиристорами.

Структурну схему системи керування ВДУ-506, ВДУ-601 наведено на рис. 3.35.

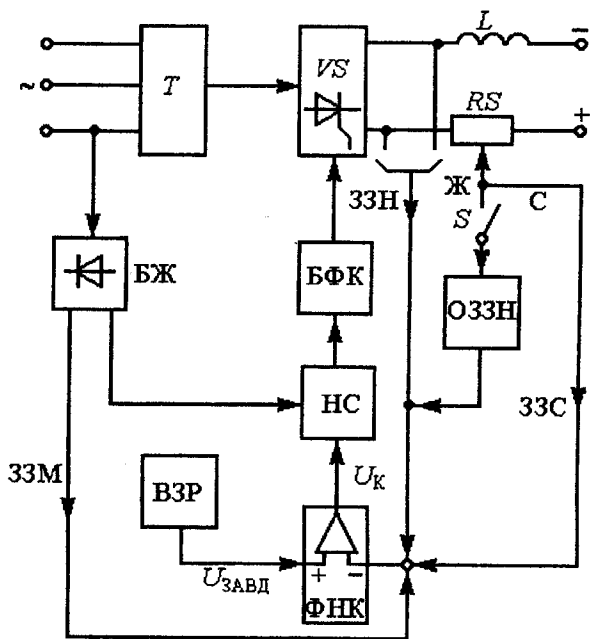


Рис. 3.35. Структурна схема системи керування випрямлячів ВДУ-506УЗ, ВДУ-601УЗ

Випрямляч ВДУ-505 відрізняється від вказаних вище випрямлячів наявністю додаткового датчика струму, приєднаного до зварювального шунта.

Система керування являє собою систему автоматичного регулювання зі зворотними зв'язками за напругою $33H$ та струмом $33C$, за рахунок яких відбувається формування зовнішніх характеристик. Спадні ВАХ (C) забезпечуються зв'язком $33C$, жорсткі ($Ж$) – увімкненням зворотного зв'язку $33H$, який діє спільно із $33C$. Для покра-

щення стабілізації режиму зварювання при коливаннях напруги мережі передбачено додатковий зворотний зв'язок за напругою мережі (ЗЗМ). Напруга керування створюється блоком формування напруги керування ФНК, на вхід якого надходять напруги завдання $U_{\text{завд}}$ з вузла завдання режимів ВЗР і сигнали зворотних зв'язків. Блок фазового керування БФК формує імпульси керування, які надходять на силовий тиристорний випрямляч VS. Блок живлення БЖ забезпечує живлення системи керування, а ОЗЗН – вузол обмеження дії зворотного зв'язку за напругою створює умови покращення запалювання дуги при зварюванні на жорстких ВАХ. Блок БФК виконаний за традиційною шестиканальною системою фазового керування тиристорів імпульсами прямокутної форми. На вхід БФК надходять шість зсунутих одна відносно одної на 60 град. напруг синхронізації НС з трансформатора блока живлення. Кожен канал БФК складається з формувача імпульсів у вигляді тригера, проміжного узгодженого підсилювача-формувача, транзисторного каскаду підсилення. Електричну схему формування імпульсів одним каналом блоку БФК подано на рис. 3.36, де U_c – напруга, синхронізована з напругою фази С, а \bar{U} – напруга, синхронізована з напругою, що діє у протифазі з напругою фази В мережі.

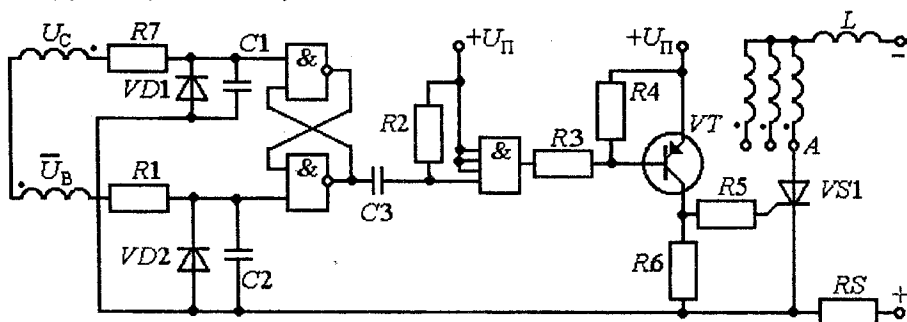


Рис. 3.36. Спрощена електрична схема формування імпульсів керування випрямлячів одним каналом БФК

Кожна з цих напруг надходить на $VD1$ і $VD2$, які зрізають напругу від'ємної полярності. Позитивні пульсуючі напруги, зсунуті на 60 град., подаються на входи тригера, зібраного на двох логічних елементах І-НІ серії К-511ЛА1. Елементи мають порогову напругу спрацьовування $U_{\text{пор}} = 7$ В. Отже, будь-який сигнал на вході елемента, менший за це значення, відповідає логічному нулю, а більший від нього – логічній 1.

Процес формування імпульсу на виході тригера для випадку $U_{\text{КЕР}}=0$ показаний на рис. 3.37. У початковий момент часу напруги U_C і U_B менші $U_{\text{ПОР}}$. Тоді на обох входах тригера сигнали рівні нулю, а на виході з'являється сигнал 1.

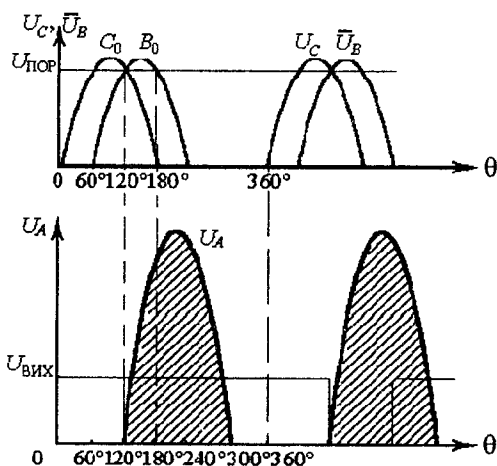


Рис. 3.37. Діаграма формування імпульсу керування

Через 60 град. після початку відрахування часу величина U_C перевищить порогове значення $U_{\text{ПОР}}$ і стане рівною 1, однак стан тригера при цьому не зміниться. Через 120 град. (точка C_0) напруга U_C стане меншою $U_{\text{ПОР}}$, а \bar{U}_B досягне $U_{\text{ПОР}}$. На виході тригера з'явиться сигнал 0. Такий стан буде зберігатися до тих пір, поки \bar{U}_B не впаде нижче порогового значення (точка B_0). Це відбудеться через 180 град. Оскільки в цьому випадку на двох входах сигнал буде рівний 0, то на виході з'явиться 1. Цикл повторюється спочатку.

Нульовий рівень на виході тригера триває 60 град., що відповідає куту зсуву між фазами напруг U_C і \bar{U}_B . Отримані на виході тригера імпульси керування надходять на узгоджений підсилювач, яким є логічний елемент з відкритим колекторним входом (K511ЛІ1). Посилені імпульси подаються на кінцевий транзисторний каскад VT (рис. 3.36), де додатково підсилюються та інвертуються. «Нульові» імпульси шириною 60 град. стають «одичними» імпульсами керування тиристорами. Нульовий сигнал на виході тригера, а відповідно

імпульс керування тиристором, з'являється одночасно з початком позитивної півхвилі анодної напруги фази А, тому V_{S1} у фазі А відкривається одразу ж.

Кут його відкриття « α » рівний 0, що відповідає максимальному значенню випрямленої напруги. Із зростанням $U_{\text{КЕР}}$ інтервал нульового сигналу на виході тригера зміститься праворуч. Імпульс вмикання тиристора сформується при « α »>0, тиристор буде відкритий в момент « $180-\alpha$ » град. Випрямлена напруга зменшиться. Схема забезпечує зміну кута регулювання тиристорів від 0 до 180 град. Керування іншими тиристорами відбувається аналогічно.

Спрощену принципову електричну схему вузлів завдання режиму, формування напруги керування і обмеження зворотного зв'язку за напругою випрямлячів ВДУ-505, ВДУ-506 та ВДУ-601 подано на рис. 3.38.

Схема містить зворотні зв'язки за напругою, струмом і напругою мережі живлення.

Напруга керування $U_{\text{КЕР}}$, якою визначається ступінь відкриття тиристорів та режим зварювання, знімається з виходу операційного підсилювача А2, що входить до вузла формування напруги керування. Значення $U_{\text{КЕР}}$ встановлюється напругою завдання $U_{\text{ЗАВД}}$, що подається на неінвертуючий вхід підсилювача А2. Для забезпечення мінімальної напруги на виході А2 з резистора R8 знімається компенсуючий негативний потенціал. Регулюванням R8 виконується настроювання максимального режиму при роботі випрямляча на спадних зовнішніх характеристиках (С). Зміна режиму зварювання виконується з допомогою R1. При збільшенні опору R1 відбувається підвищення позитивної напруги на неінвертуючому вході, збільшення $U_{\text{КЕР}}$ і, відповідно, зменшення параметрів режиму. Для отримання необхідного діапазону зміни $U_{\text{ЗАВД}}$ при роботі на жорстких і спадних ВАХ при незмінному опорі R1 передбачено перемикання резисторів залежно від виду характеристики (перемикач S1).

Вузол формування напруги керування, побудований на операційному підсилювачі А2, здійснює додавання напруг завдання, всіх зовнішніх і коректуючих зв'язків. Сигнал зворотного зв'язку за струмом $U_{\text{ЗЗС}}$ знімається з шунта RS і подається на інвертуючий вхід підсилювача через резистор R20. Збільшення зварювального струму призводить до зростання негативного потенціалу на вході підсилювача, відповідно збільшується $U_{\text{КЕР}}$ і знижуються параметри режиму.

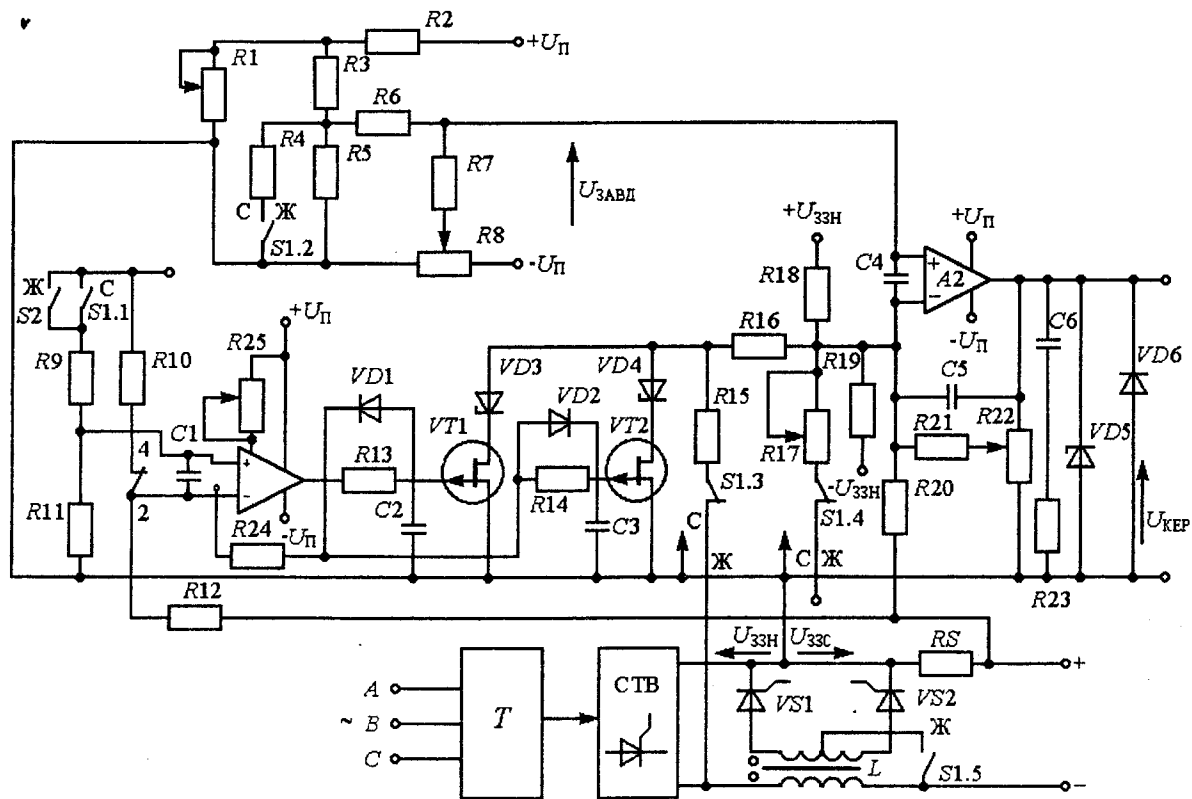


Рис. 3.38. Принципова електрична схема вузлів завдання режиму, формування напруги керування і обмеження зворотного зв'язку за напругою випрямлячів ВДУ-505УЗ, ВДУ-506УЗ, ВДУ-601УЗ

Сигнал зворотного зв'язку за напругою U_{33H} знімається з виходу блока тиристорів і додатково подається при роботі на жорстких ВАХ через $R15$ та $R16$ на інвертуючий вхід підсилювача.

При жорстких характеристиках (Ж) дія зворотного зв'язку за напругою переважає над дією зворотного зв'язку за струмом. При зниженні напруги на виході випрямляча під дією навантаження або зменшенні напруги мережі зменшується негативний сигнал $-U_{33H}$. Напруга U_{KEP} знижується, і напруга на виході випрямляча збільшується. Для підвищення стабілізації режиму зварювання при коливаннях напруги мережі на інвертуючий вхід підсилювача $A2$ через $R19$ подається напруга $-U_{33M}$ і через $R18$ – стабілізована напруга. При номінальній напрузі мережі сумарний потенціал на вході підсилювача дорівнює нулю. У випадку підвищення напруги мережі значення $-U_{33M}$ збільшується, U_{KEP} зменшується, і вихідна напруга випрямляча знижується.

При роботі на жорстких ВАХ до інвертуючого входу підсилювача $A2$ через $R17$ подається додаткова напруга $+U_{п}$. Регулюванням резистора $R17$ забезпечується настроювання максимального режиму при роботі на жорстких ВАХ у положенні рухомого контакту резистора $R1$, який відповідає максимальному режиму при роботі на спадних характеристиках.

Коефіцієнт передачі підсилювача $A2$ визначається власним регульовальним жорстким зворотним зв'язком через $R21$. Значення коефіцієнта передачі визначає крутизну нахилу спадних ВАХ. Резистором $R21$ встановлюється заданий струм короткого замикання при номінальному режимі роботи.

Стабілітрон $VD5$ обмежує максимальний рівень U_{KEP} , отриманої з підсилювача $A2$, а $VD6$ – мінімальний рівень U_{KEP} . Для виключення коливальних процесів $A2$ охопленій гнучким зворотним зв'язком через $C5$. Конденсатори $C1$ і $C4$ захищають входи підсилювача від випадкових електромагнітних наводок.

Для покращення запалювання дуги при зварюванні у вуглекислому газі в схемі випрямляча передбачений вузол обмеження дії зворотного зв'язку за напругою, який забезпечує підвищення напруги неробочого ходу. Він складається з операційного підсилювача $A1$, що працює в режимі компаратора, і двох керуючих обмежувачів зворотного зв'язку за напругою, що містять стабілітрони $VD3$ та $VD4$ і послідовно увімкнені з ними польові транзистори $VT1$ та $VT2$. Стабі-

літрони і транзистори увімкнені паралельно зворотному зв'язку за напругою. Керування транзисторами виконується компаратором через часозадавальні кола $R13-C2$ та $R14-C3$. Підсилювач-компаратор $A1$ слугує для реєстрації зварювального струму. На інвертуючий вхід $A1$ через $R10$ подається позитивний сигнал від джерела живлення і сигнал від'ємного зворотного зв'язку за струмом, неінвертуючий вхід через $R11$ увімкнений до загального нульового виводу. В режимі неробочого ходу сигнал зворотного зв'язку за струмом відсутній. На інвертуючий вхід подається тільки позитивний потенціал $+U_{\text{п}}$. Негативна напруга на виході, близька до $-U_{\text{п}}$, відкриває $VT1$ та $VT2$, отже, сигнал зворотного зв'язку буде обмежений до рівня напруги стабілізації стабілітронів $VD3$ та $VD4$ і дорівнюватиме 13 В. Напруга $U_{\text{КЕР}}$ на виході $A2$ знижується, а напруга неробочого ходу зростає. Стабілітрон з меншою напругою стабілізації відповідає більша напруга неробочого ходу. У початковому стані встановлюється максимальна напруга неробочого ходу. У цьому випадку наростання струму короткого замикання в момент збудження дуги відбувається за пологоспадною зовнішньою характеристикою при високій напрузі неробочого ходу.

При протіканні зварювального струму на інвертуючий вхід підсилювача $A1$ подається негативний сигнал зворотного зв'язку за струмом. При струмі 7–10 А цей потенціал стає більшим від позитивного потенціалу, що подається через $R10$. Компаратор $A1$ спрацьовує, на його виході з'являється позитивний потенціал, транзистори $VT1$ та $VT2$ через діоди $VD1$ та $VD2$ закриваються з незначною затримкою у часі. Стабілітрони вимикаються, на вхід $A1$ через $R15$ надходить повна напруга зворотного зв'язку і відбувається вихід на режим роботи, обумовлений напругою завдання. При розриванні дуги компаратор знову повертається в початковий стан. З витримкою часу, заданою колами $R13-C2$ та $R14-C3$, відкриваються польові транзистори, стабілітрони $VD3$ та $VD4$ послідовно обмежують дію зворотного зв'язку за напругою, відбувається плавно-ступінчасте зростання напруги неробочого ходу. Для попереднього настроювання зварювальної напруги при роботі на жорстких ВАХ вузол обмеження зворотного зв'язку за напругою може бути короткочасно відключений подачею позитивного потенціалу через $R9$ на неінвертуючий вхід компаратора $A1$ перемикачем $S2$. При роботі на спадних характеристиках $A1$ вимикається подачею позитивного потенціалу на його вхід перемикачем $S1.1$.

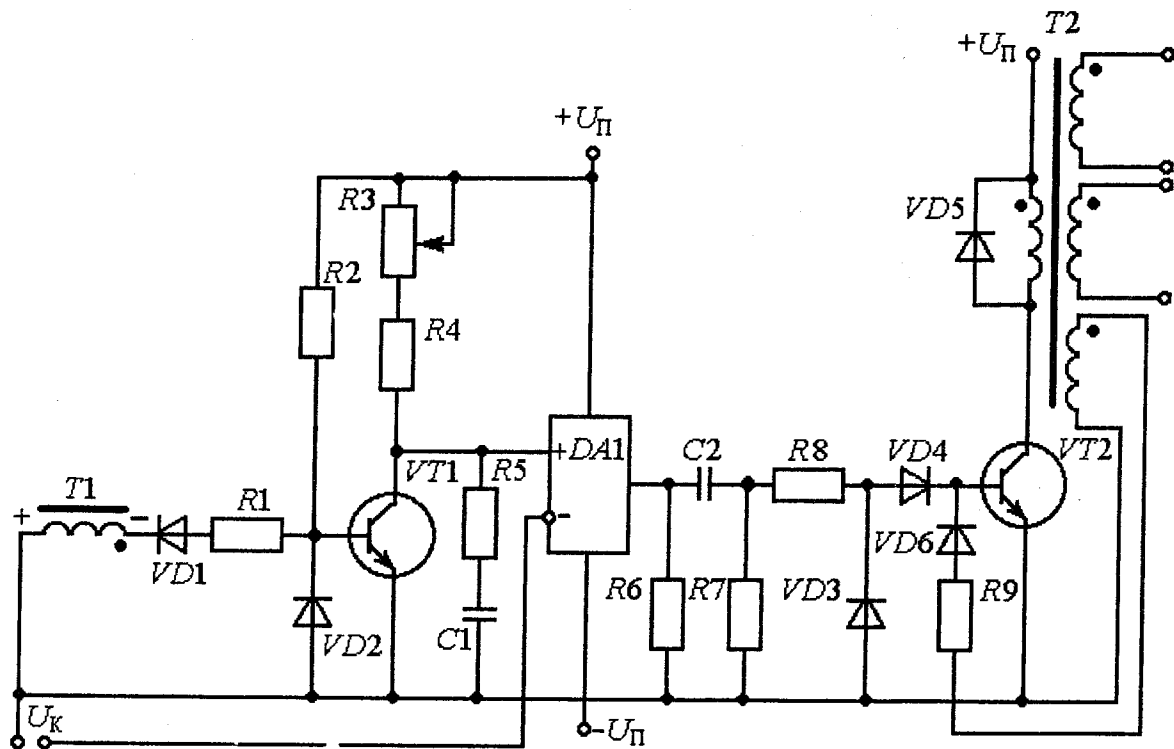


Рис. 3.39. Схема вертикального керування випрямляча на основі компаратора

Технічні дані тиристорних випрямлячів наведені у табл. 3.2.

У багатьох випрямлячах (зокрема й у ВДУ-1202) широке розповсюдження одержала схема вертикального керування на основі компараторів, на один вхід якого подається пилкоподібна напруга $U_{\text{ПН}}$, синхронізована, як правило, з напругою мережі (відповідною фазною напругою), а на інший – напруга керування, яка являє собою сигнал, пропорційний сумі сигналів завдання зварювального струму (чи напруги) та сигналів зворотного зв'язку за струмом чи за напругою. Приклад такої схеми наведений на рис. 3.39. На рис. 3.40 зображені часові діаграми, які пояснюють роботу схеми. Схема працює таким чином:

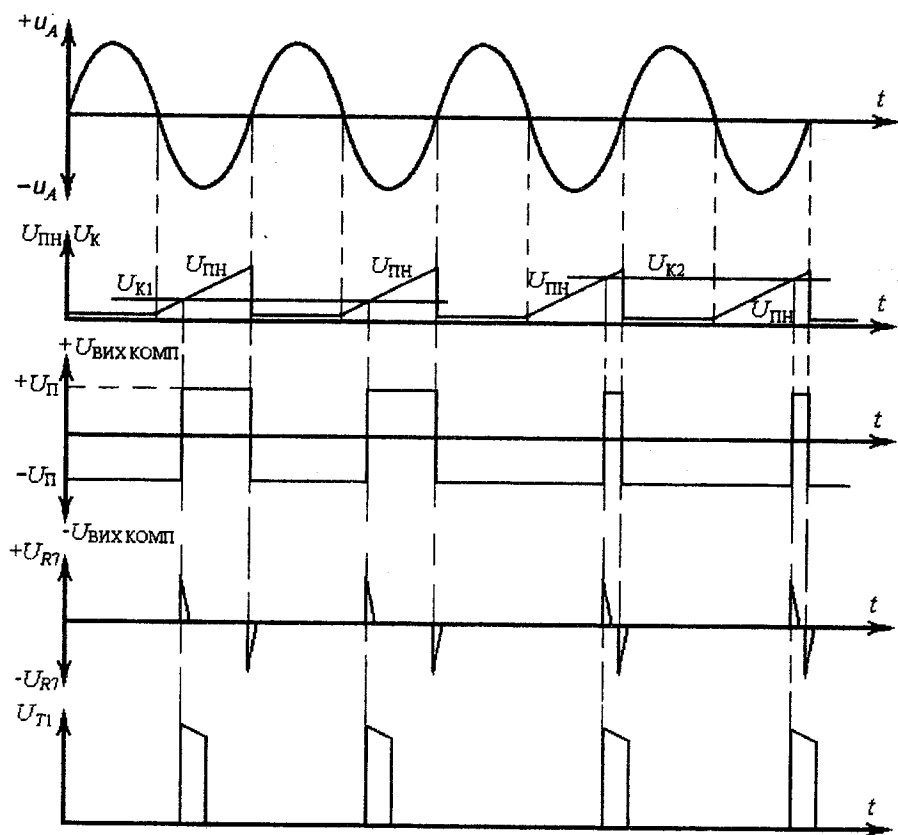


Рис. 3.40. Часові діаграми роботи схеми вертикального керування випрямляча

У позитивний півперіод фазної напруги u_A діод $VD1$ закритий, транзистор $VT1$ відкритий за рахунок протікання базового струму через резистор $R2$, в результаті чого на виході компаратора $DA1$ підтримується напруга, яка практично рівна $-U_{\Pi}$. На початку негативного півперіоду напруги u_A транзистор $VT1$ закривається, в результаті чого починається заряд конденсатора $C1$ через резистори $R3, R4, R5$. При цьому постійна заряду в декілька разів перевищує тривалість півперіоду фазної напруги, внаслідок чого забезпечується лінійність зростаючої на конденсаторі $C1$ напруги. У кінці негативного півперіоду діод $VD1$ закривається, що знову приведе до повного відкриття транзистора $VT1$ і швидкого розряду конденсатора $C1$ через резистор $R5$ та відкритий транзистор $VT1$. Таким чином, на неінвертуючому вході компаратора $DA1$ формується лінійно зростаюча напруга пилкоподібної форми, яка синхронізована з напругою мережі. На інвертуючий вхід компаратора $DA1$ надходить напруга керування $U_{\text{КЕР}}$. У момент досягнення лінійно зростаючою напругою значення, рівного напрузі керування, на виході компаратора $DA1$ стрибкоподібно зміниться напруга від $-U_{\Pi}$ до $+U_{\Pi}$. З виходу компаратора $DA1$ напруга надходить на диференційоване коло $C2, R7$. З виходу кола $C2, R7$ імпульси позитивної полярності подаються на вхід вихідного підсилювача, виконаного на транзисторі $VT2$ і трансформаторі $T2$. Особливістю цього каскаду є "розширення" на виході імпульсів, які надходять на його вхід. Із вторинних обмоток імпульсного трансформатора $T2$ напруга надходить у коло керування відповідних тиристорів.

Схема побудована таким чином, що меншому значенню напруги керування $U_{\text{КЕР}}$ відповідає більший кут провідності або менший кут відкриття тиристорів, а відповідно, і більший зварювальний струм, і навпаки – більшому значенню $U_{\text{КЕР}}$ відповідає менший кут провідності тиристорів і менший зварювальний струм.

Аналогічно побудовані і працюють схеми для фазних напруг u_B і u_C .

3.5. ІНВЕРТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

3.5.1. Конструкція та принцип дії інверторних випрямлячів

Широке застосування у зварювальній техніці знайшли інверторні (високочастотні) джерела живлення, які при добрих масо-габарит-

них характеристиках дозволяють забезпечувати стійку і надійну роботу в різних зварювальних режимах. Функціональну схему інверторного випрямляча подано на рис. 3.41.

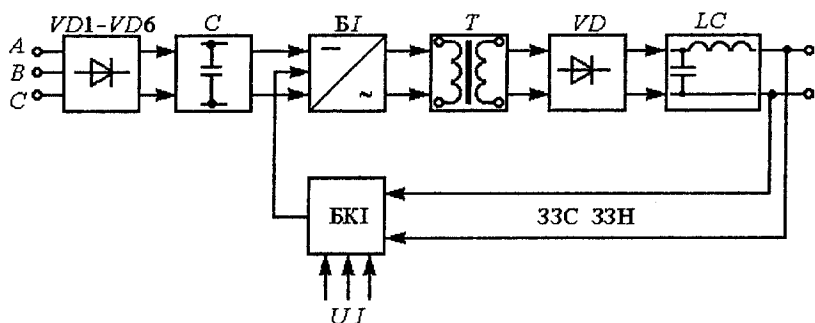


Рис. 3.41. Функціональна схема інверторного випрямляча

Трифазна напруга мережі випрямляється силовим випрямним блоком $VD1-VD6$, зібраним за мостовою схемою випрямлення. Випрямлена однофазна напруга згладжується C фільтром і потім перетворюється (інвертується) у змінну напругу високої частоти з допомогою блока інвертора $БІ$, побудованого за різними схемами інвертування на транзисторній або тиристорній елементній базі. Високовольтна високочастотна змінна напруга знижується силовим трансформатором T , випрямляється блоком VD , зібраним за однофазною двохпівперіодною схемою, згладжується $L-C$ фільтром і подається на дугу. У такому випрямлячі енергія зазнає декількох ступенів перетворення, і не дивлячись на складність схеми він є достатньо економічним і перспективним. Трансформація напруги здійснюється на підвищеній частоті, що дозволяє на 60–80 % зменшити масогабаритні показники трансформатора. З підвищенням частоти потрібно менше часу на перемагнічування осердя і, отже, для тієї ж потужності трансформатора необхідно мати меншу кількість активних матеріалів. Крім того, інверторне джерело має досить високу динамічну характеристику і якісні зварювальні властивості.

Якщо на вході інвертора встановлено потужний накопичувальний конденсатор, то напруга інвертора має прямокутну форму. Таку конструкцію називають автономним інвертором напруги (AIH). Якщо на вході інвертора встановити потужний дросель L , а обмотку трансформатора T шунтувати конденсатором, то згладженим буде уже

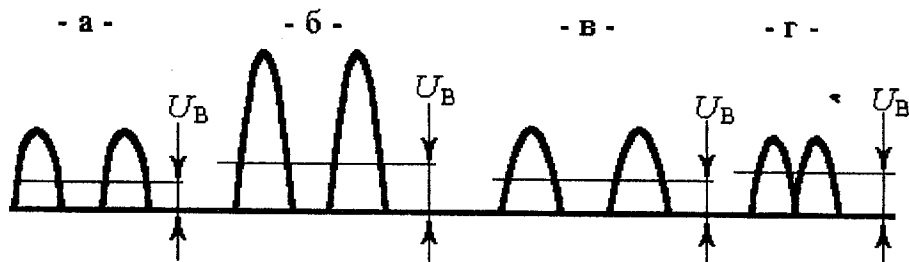


Рис. 3.42. Регулювання напруги (а) інверторного випрямляча зміною амплітуди (б), ширини (в) і частоти (г) імпульсів

струм. Такий перетворювач називають автономним інвертором струму (A/C). Конструкцію, в якій завдяки наявності послідовно з'єднаних індуктивності та ємності створюється коливальний контур із синусоїдним струмом, називають резонансним автономним інвертором (A/P).

Інвертор – це пристрій, який перетворює постійну напругу у високочастотну змінну. Конвертор – пристрій для зниження або підвищення постійної напруги з проміжною високочастотною ланкою.

Регулювання режиму зварювання здійснюється декількома способами. При збільшенні напруги випрямляча мережі збільшується і амплітуда високочастотної напруги, і, відповідно, середнє значення випрямленої напруги. З тією ж метою змінюють ширину імпульсів інвертора. Однак більш поширеним способом є зміна частоти імпульсів. При цьому $f \uparrow \Rightarrow U_B \uparrow$. В інверторному випрямлячі використовується амплітудне, широтне та частотне регулювання режиму (рис. 3.42).

Зовнішні характеристики інверторного випрямляча залежать головним чином від конструктивних особливостей інвертора та трансформатора. Природна зовнішня характеристика інвертора A/IH майже жорстка. Але оскільки індуктивний опір трансформатора X_T , пропорційний частоті інвертування f , великий навіть при невеликому магнітному розсіянні, то характеристика випрямляча в цілому виходить спадною. Зазвичай зовнішні характеристики формуються штучно з допомогою системи керування. Для отримання крутоспадних характеристик вводиться від'ємний зворотний зв'язок за струмом, при якому зі збільшенням зварювального струму частота інвертування знижується, що призводить до зменшення випрямленої напруги.

Подібним чином для отримання жорстких характеристик вводиться зворотний зв'язок за випрямленою напругою:

$$I_d \uparrow \Rightarrow f \downarrow \Rightarrow U_B \downarrow,$$

$$U_B \downarrow \Rightarrow f \uparrow \Rightarrow U_B \uparrow \Rightarrow U_B = \text{const}$$

Зварювальні властивості інверторних випрямлячів кращі порівняно із джерелами традиційного типу за рахунок швидкодії інвертора. Якщо у звичайних джерел тривалість перехідного процесу близько 0,02 с, то в інверторного випрямляча швидкодія характеризується значеннями порядку 0,001 с. Високі динамічні властивості інверторного випрямляча виявляються у випадку програмного керування процесом дугового зварювання. Легко забезпечується "гарячий пуск" на початку зварювання, швидкий перехід від одного із заздалегідь налагоджених режимів до іншого, зварювання пульсуючою дугою з регульованою формою імпульсу і т. д.

До переваг інверторного випрямляча належить його економічність. Осердя високочастотного трансформатора має малі масо-габаритні показники, оскільки його маса пов'язана з частотою співвідношенням $m \approx 1/\sqrt{f}$. Тому осердя важить майже у 8–10 разів менше, ніж осердя трансформатора частотою у 50 Гц. Крім того, випрямляч має високі масо-енергетичні характеристики, що становлять 0,1–0,3 кг на 1А зварювального струму та 4–8 кг на 1 кВт споживаної потужності.

Інверторні випрямлячі рекомендують використовувати там, де необхідно застосовувати джерела з малими масо-габаритними показниками – при зварюванні на монтажі, в побуті, в робототехнічних комплексах. В експлуатації таке джерело дуже економічне. Його коефіцієнт потужності $\cos\phi$ його наблизений до 1, ККД 0,7–0,9. Головним недоліком інверторного випрямляча є складність його будови, відповідно, низька надійність та висока вартість. Крім того, при роботі він створює підвищений шум, що генерується високочастотним трансформатором, вихідним фільтром та дугою.

ІНВЕРТОРИ ТИРИСТОРНОГО ТИПУ

Паралельний інвертор, зібраний за двопівперіодною схемою з нульовою точкою трансформатора, наведено на рис. 3.43 (вторинна обмотка трансформатора не зображена). Перший півперіод високочастотного струму починається при увімкненні тиристора VS1. З цього моменту по первинній обмотці трансформатора T йде струм,

зображений тонкою суцільною лінією. Одночасно йде заряд конденсатора C полярністю "+" та "-". Другий півперіод починається при відмиканні тиристора $VS2$, в результаті чого по трансформатору йде струм в іншому напрямку, зображений пунктиром. Але відмикання тиристора $VS2$ призводить ще й до розряду конденсатора C на тиристор $VS1$ у зворотному напрямку так, як показано пунктирною лінією. Це призводить до запирання тиристора $VS1$, тому конденсатор C у такій схемі називають комутуючим (перемикаючим). Паралельний інвертор з великою індуктивністю L на вході є автономним інвертором струму (A/C). Він стійко працює в режимі навантаження, гірше – в режимі короткого замикання, а в режимі неробочого ходу на його елементах виникають великі перенапруження, що обмежує його використання.

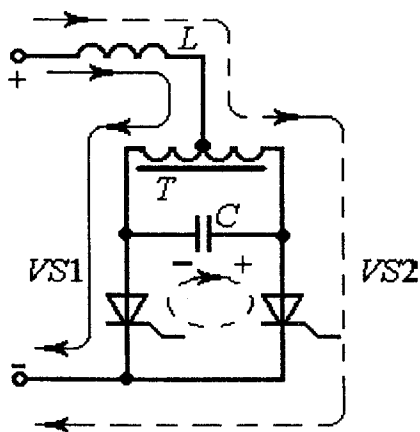


Рис. 3.43. Схема паралельного тиристорного інвертора

Послідовні інвертори частіше використовуються у зварювальних випрямлячах. Принцип роботи інвертора такого типу, зібраного на двох тиристорах за несиметричною півмостовою схемою, показано на рис. 3.44. У першому півперіоді при відпиранні тиристора $VS1$ по первинній обмотці трансформатора T йде струм по колу, вказаному суцільною лінією. Цей струм заряджає конденсатор C полярністю "+" та "-". Коли напруга максимального заряду конденсатора досягне величини напруги живлення від мережевого випрямляча, анодна напруга на тиристорі $VS1$ зменшиться до 0, і він закривається. У другому півперіоді при відпиранні тиристора $VS2$ по трансформатору піде струм розряду конденсатора в напрямку, вказаному пунктирною лінією. Робота симетричного послідовного інвертора зрозуміла з рис. 3.45.

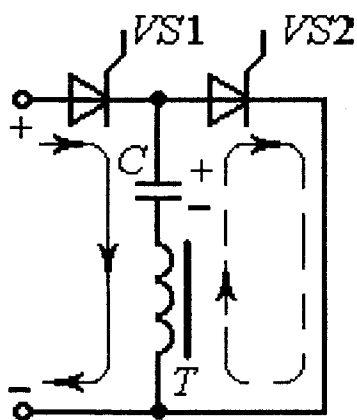


Рис. 3.44. Схема послідовного несиметричного інвертора

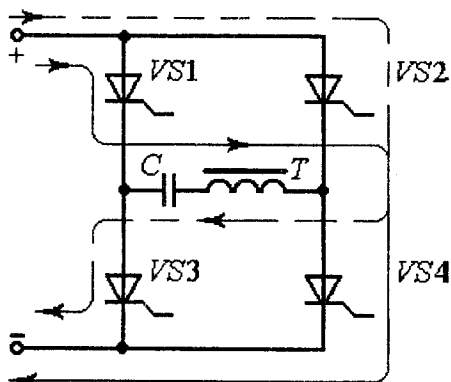


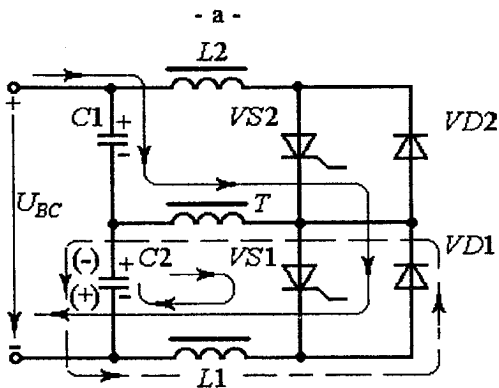
Рис. 3.45. Схема послідовного симетричного інвертора

Резонансний послідовний інвертор, зібраний за симетричною півмостовою схемою (рис. 3.46), є найбільш поширений.

Порівняно з мостовою схемою тут не лише досягається економія тиристорів, але й спрощується система керування. В L - C коливальному контурі під час роботи інвертора виникає синусоїдний струм та резонанс напруг, тому такий інвертор називають резонансним (A/P). Моменти відпирання тиристорів та частота інвертування за-

даються системою керування, а параметри синусоїдного струму визначаються параметрами силових елементів коливальних контурів.

З моменту t_1 при відпиранні тиристора $VS1$ по первинній обмотці трансформатора T піде струм, зображений тонкою суцільною лінією. Одночасно конденсатор $C2$, раніше заряджений полярністю, вказаною знаками "+" та "-" (без дужок), спочатку розряджається на трансформатор по колу, вказаному тонкою лінією, а потім за інерцією перезаряджається так, що його полярність змінюється на протилежну, вказану знаками "+" та "-" (з дужками). До моменту t_2 конденсатор $C1$, що комутує коло тиристора $VS1$, зарядиться полярністю, вказаною знаками "+" та "-", що призведе до зникнення струму (рис. 3.46б). На осцилограмі струму первинної обмотки трансформатора $T1$ в проміжку t_1 - t_2 спостерігається крива i_{VS1} , близька до синусоїди. З моменту t_2 , як тільки закриється тиристор $VS1$, відкривається раніше шунтований діод $VD1$, а конденсатор $C2$ розряджається на первинну обмотку трансформатора по колу, вказаному пунктиром. Таким чином, зворотний діод $VD1$ запобігає надмірному накопиченню заряду на конденсаторі $C2$, що при резонансі може призвести до небезпечних перенапруг. Отже, у проміжку t_2 - t_3 до трансформатора проходить зворотна півхвиля струму i_{VD1} , і на цьому перший цикл роботи інвертора завершується. З моменту t_4 схожі процеси відбуваються в іншому плечі інвертора, починаючи з відпирання $VS2$. Тривалість проміжку $t_T = t_2 - t_1$ увімкненого стану тиристора $VS1$ рівна півперіоду вільних коливань для контуру, складеного з кому-



туючого конденсатора $C1$ з ємністю C , а також трансформатора T та дроселя $L1$ індуктивністю L_T та L . Така ж тривалість і $t_{3Д} = t_3 - t_2$ увімкненого стану зворотного діода $VD1$. Отже, період вільних коливань інвертора:

$$T_0 = t_T + t_{3Д} = 2\pi\sqrt{C(L_T + L)} \quad (3.6)$$

а власна частота коливань контуру

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_T + L)}}$$

Але частота змінного струму f інвертора задається системою керування і вона завжди менша за частоту коливального контуру f_0 , а період інвертування T , навпаки, більший за період вільних коливань T_0 . Справа в тому, що вмикати тиристор $VS2$ безпосередньо в момент t_2 вимикання $VS1$ не можна, доки в останнього ще не поновилися запірні властивості, щоб не сталось внутрішнього короткого замикання в інверторі. Обов'язковим є виконання умови, щоб тривалість затримки $t_{3В}$ між періодами роботи двох тиристорів була більша часу відновлення їх запірних властивостей. У той же час цілком припустиме вмикання тиристора $VS2$ до моменту t_3 , тобто у проміжку роботи діода $VD1$. При накладанні ім-

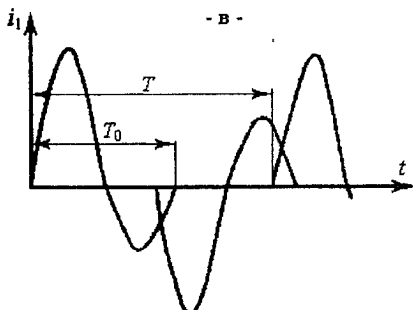
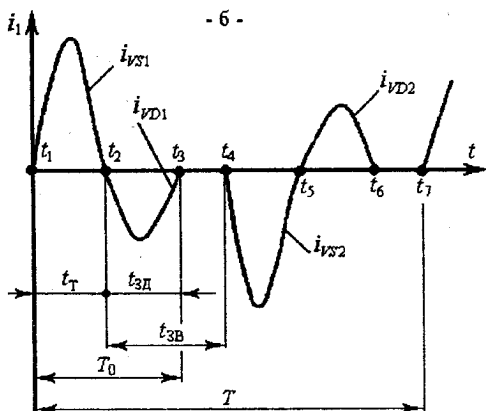


Рис. 3.46. Резонансний послідовний інвертор: а – спрощена принципова схема; б – осцилограми при роботі в режимі переривчастого струму; в – у режимі безперервного струму

пульсів струму через тиристор $VS2$ та діод $VD1$ виникає режим неперервного струму інвертора, що полегшує згладжування зварювального струму (рис. 3.46в).

Плавне регулювання режиму резонансного інвертора виконується зміною частоти інвертування f , тобто частоти запуску тиристорів від системи керування. Як уже було зазначено, зі зростанням частоти f збільшується середнє значення зварювального струму I_D . Ступінчасте регулювання часто виконується зміною ємності комутуючих конденсаторів. Наприклад, при збільшенні ємності C збільшується струм коливального контуру i_1 , а з рівняння (3.6) збільшується і період вільних коливань T_0 , що призводить до збільшення зварювального струму I_D :

$$C \uparrow \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} i_1 \uparrow \\ T_0 \uparrow \end{array} \right\} \Rightarrow I_D \uparrow$$

Зовнішня характеристика послідовного резонансного інвертора – крутоспадна. Резонансний інвертор, на відміну від A/H та A/C , стійко працює в режимі короткого замикання. У режимі неробочого ходу інверторного випрямляча власне інвертор все ж навантажений, хоч і невеликим намагнічувальним струмом первинної обмотки трансформатора, тобто може працювати стійко. Однак у цьому випадку в інверторі виникають небезпечні перенапруги.

Процес інвертування в інверторі транзисторного типу представлений на рис. 3.47.

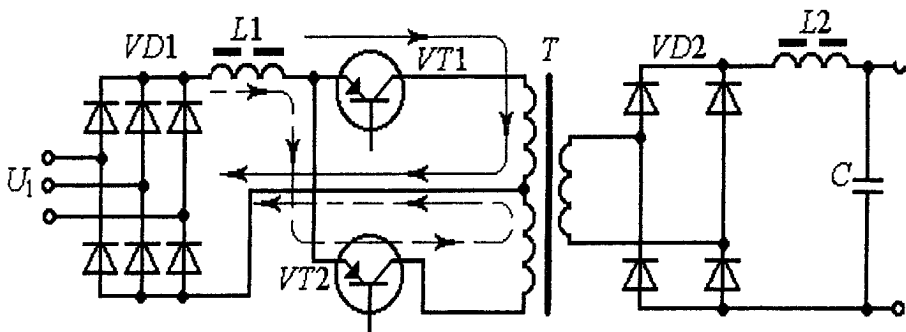


Рис. 3.47. Спрощена електрична схема випрямляча із транзисторним інвертором

При подачі сигналу на базу транзистора $VT1$ він відкривається і по первинній обмотці трансформатора T проходить струм, напрямком якого вказаний суцільною лінією. При зніманні сигналу проходження струму припиняється. З деякою затримкою, що визначається блоком керування, відкривається $VT2$ і струм навантаження проходить по обмотці трансформатора вже у протилежному напрямку, що позначено пунктиром. Таким чином, по первинній обмотці T проходить змінний струм, форма кривої якого залежить від параметрів кола інвертора. При достатній індуктивності вона може мати синусоїдну форму. Тривалість періоду T або частота змінного струму f залежать від частоти вмикання транзисторів, що визначається системою керування і може встановлюватися від 1 до 60 кГц.

3.5.2. Випрямляч із транзисторним інвертором

Двотактний мостовий інвертор зображено на рис. 3.48а. У першому півперіоді (такті) система керування запускає транзистори $VT1$ $VT4$, струм іде по первинній обмотці трансформатора в напрямку, вказаному тонкою лінією. У другому півперіоді шлях струму через транзистори $VT2$ та $VT3$ показано пунктирною лінією.

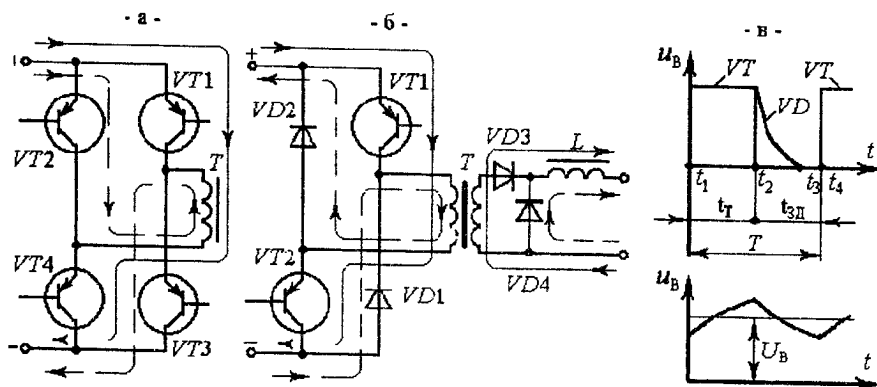


Рис. 3.48. Схеми транзисторних інверторів

Однотактний півмостовий інвертор (рис. 3.48б) входить до складу конвертора і має лише два транзистори. У момент t_1 при відпиранні транзисторів $VT1$ і $VT2$ по первинній обмотці трансформатора проходить імпульс струму, напрямком якого вказано тонкою лінією. Потім іде пауза $t_2 - t_4$, після чого в тому ж напрямку проходить такий самий

імпульс струму (рис. 3.48в). Таким чином, в одноканальному інверторі струм виявляється змінним тільки за величиною, але не за напрямком. Недоліком схеми є значні перенапруги на транзисторах у момент їх увімкнення. Для усунення такого недоліку встановлюються діоди $VD1$, $VD2$, в результаті чого з моменту t_2 вимикання транзисторів енергія, що накопичена в індуктивності первинного кола, повертається в мережу. При цьому по первинній обмотці через діоди проходить струм (пунктирна лінія), поступово знижуючись до моменту t_3 .

Імпульс струму, трансформований у вторинній обмотці з моменту t_1 , передається навантаженню через діод $VD3$. З моменту t_2 струм у навантаженні підтримується в основному завдяки енергії, накопиченій в індуктивності L . З цією метою використовується зворотний діод $VD4$. При достатньо великій індуктивності L випрямлена напруга U_B може бути згладжена до рівня, прийнятного за умовами технічного процесу.

Надійність транзисторного інвертора невелика, оскільки найвразливішим елементом є транзистори. При конструюванні випрямляча прагнуть знизити кількість вентилів, струм та напругу на них. При недостатньо припустимому струмі потрібно в кожне плече встановлювати декілька паралельно з'єднаних транзисторів. При цьому ускладнюється система керування і виникає проблема підбору вентилів з близькими характеристиками. Тому раціональним є паралельне з'єднання не транзисторів, а транзисторних модулів, кожен з яких споряджений власними елементами керування і захисту. У цьому випадку може бути реалізовано і принцип резервування, за яким несправні модулі відмикаються без збитку для загальної працездатності всього випрямляча.

Випрямляч зварювальний ВД-150 "MiniSELMA-150", в подальшому йменованій "випрямляч", призначений для зварювання вуглецевих, легованих і корозійностійких сталей на постійному струмі (ММА-DC) металевими електродами з покриттям, а також для зварювання неплавким електродом на постійному струмі в середовищі агону (ТІГ-DC) всіх металів, за винятком алюмінію та його сплавів. Випрямляч має спадні зовнішні характеристики. Він виготовлений за технічними умовами ТУ У 20732066.063-99.

Працездатність випрямляча забезпечується при коливаннях напруги живильної мережі від мінус 10 % до плюс 10 % від номінального.

Охолодження випрямляча здійснюється з допомогою вмонтованого вентилятора. На охолоджувачі силових транзисторів встановлено датчик контролю температури з метою захисту випрямляча від перегрівання. При спрацьовуванні датчика запалюється індикатор у режимі блимання.

Випрямляч в режимі *MMA* має автоматичні функції: “гарячий старт” і “протиприлипання”.

“Гарячий старт” – для покращення запалювання дуги на початку зварювання джерело формує імпульс струму тривалістю 0,3 секунди. Величина імпульсу перевищує на 30 % величину попередньо встановленого зварювального струму.

“Протиприлипання” – за 1–2 секунди після виникнення короткого замикання між електродом і деталлю зварювання випрямляч припиняє подавання струму в зварювальне коло. Працездатність випрямляча відновлюється автоматично після зняття короткого замикання.

Спосіб збудження дуги при зварюванні в режимі *ТИГ-DC* – контактний. Тобто на початку зварювання необхідно короткочасно доторкнутися вольфрамовим електродом до зварювальної деталі, після чого відвести пальник від основного металу. Технічні характеристики *ВД-150 “MiniSELMA-150”* наведено у табл. 3.

Інверторний випрямляч *LHL-315* шведської фірми *ЕСАБ* призначений для ручного дугового зварювання покритими електродами і має крутоспадну зовнішню характеристику, сформовану системою керування. Він має два однакових паралельно з’єднаних конвертори. Інвертор у складі конверторів зібраний за однотактною півмостовою схемою, при цьому в кожне плече встановлено по шість швидкодіючих *МДГі*-транзисторів.

Конструкція випрямляча *LUC-500* фірми *ЕСАБ* із транзисторним інвертором універсальна тому, що придатна для ручного дугового зварювання, механізованого в захисних газах та імпульсно-дугового зварювання. У джерелі використовується інвертор з частотою 48 кГц на потужних *МОП*-транзисторах. З випрямлячем постачається мікропроцесорний прилад, що реалізує принцип синергетичного керування, тобто автоматичного налагоджування режиму за математичною моделлю. Із запропонованого приладом меню, зварювальник обирає тип переносу електродного металу (з короткими замиканнями крапель, струменевим чи керованим імпульсами), марку та діаметр дроту і тип захисного газу, а мікропроцесор за програ-

мою обчислює і передає джерелу задані значення напруги неробочого ходу, індуктивності, частоти, амплітуди та тривалості імпульсів і пауз. Передбачено, щоб зварювання завжди закінчувалося потужним імпульсом, який скидає останню краплю з електрода. Мікропроцесор забезпечує індикацію та зберігання інформації про режими. Зварювальник може вручну скоректувати параметри процесу, а підібраний режим зберігати в пам'яті мікропроцесора.

Випрямляч *TS-330* "Транссинергетик" австрійської фірми «Фроніус» із транзисторним інвертором на 60 кГц також є універсальним синергетичним джерелом. Установка режиму виконується з допомогою регуляторів, на яких вказано марку зварюваного металу та діаметр електродного дроту. У пам'яті машини є широкий вибір варіантів програмного керування процесом зварювання. Та ж фірма виготовляє компактне джерело *TP-200* "Транспокет" для ручного дугового зварювання з транзисторним інвертором з частотою 30 кГц.

Гарними зварювальними властивостями володіє також інверторний випрямляч "Мастер-3500" фінської фірми "Кемппі", призначений для ремонтних та монтажних робіт з використанням покритих електродів. У ньому застосовуються біполярні транзистори з покращеним охолодженням, що значно підвищує їх надійність.

Із джерел з транзисторним інвертором слід також відзначити випрямлячі ДС140.3 та ДС250.3. Останній зібраний за однократною півмостовою схемою із широтно-імпульсним регулюванням та призначений для ручного дугового зварювання, в тому числі на імпульсному режимі. Він має, окрім плавного регулювання зварювального струму, ще й незалежне налагоджування струму, короткого замикання. Передбачено також форсування режиму при запалюванні дуги та зниження напруги неробочого ходу до безпечного значення.

3.5.3. Конструкція і робота джерела живлення з тиристорним інвертором

Джерело містить у собі вхідний випрямляч, зібраний за трифазною мостовою схемою випрямлення (*VD1...VD6*), вхідний фільтр (*L1, C1*), який слугує для згладжування пульсацій випрямленої напруги (рис. 3.49).

Як ланка високої частоти застосовується півмостовий послідовний інвертор. З наявних схем тиристорних інверторів найбільш

доцільною є півмостова схема з резонансною комутацією та діодами зворотного зв'язку. Вона має мінімальне число елементів, здатна працювати в широкому діапазоні зварювальних навантажень і здійснювати глибоке регулювання зварювального струму за рахунок зміни частоти вмикання тиристорів. Інвертор складається з комутувальних конденсаторів $C2$ і $C3$, тиристорів $VS1$ і $VS2$, навантаженням є первинна обмотка трансформатора T . Для підвищення комутаційної стійкості $VS1$ і $VS2$, а також виключення їх з ланки в момент комутації через велику швидкість наростання напруги використовуються дроселі $L2$, $L3$, резистори $R2$, $R3$ і конденсатори $C6$, $C7$. У схему введені зворотні діоди $VD9$, $VD10$, які забезпечують повернення реактивної енергії, що накопичується у зварювальному трансформаторі T , і усувають резонансні процеси в колі робочих конденсаторів $C2$, $C3$, завдяки чому напруга на конденсаторах не перевищує припустимих значень у режимах неробочого ходу і короткого замикання. $L2$, $C6$, $R2$ і $L3$, $C7$, $R3$ виконані чисто реактивними, оскільки $R2$, $R3$ шунтовані у прямому напрямку діодами $VD11$, $VD12$ і слугують для стікання зарядів з конденсаторів $C6$, $C7$ у проміжках часу між комутаціями тиристорів. Резистори $R2$, $R3$ регульовані для забезпечення згасаючого процесу в резонансному контурі схеми. Малогабаритний трансформатор T слугує для зниження напруги до 30–40 В, необхідної для зварювання. Вторинна обмотка трансформатора через вихідний випрямляч $VD7$, $VD8$ і вихідний фільтр $L4$, $C4$, $C5$ увімкнута до зварювальної дуги. Осердя лінійного дроселя $L4$ має повітряний проміжок, що запобігає його насиченню при значних величинах зварювального струму. Дросель знижує швидкість наростання струму і його максимальне значення при збудженні дуги, а також згладжує пульсації випрямленого зварювального струму. Регулювання електричних режимів джерела виконується блоком керування БК1, який живиться від мережі через спеціальний трансформатор. Для підтримання потужності живлення, що підводиться до дуги, слугує зворотний зв'язок за струмом і за напругою. Сигнали надходять до блока керування із шунта RS і з дугового проміжку. Для примусового охолодження силових елементів схеми джерела слугує вентилятор. Захист елементів схеми від перенапруги здійснюється автоматичним вимикачем QF , а захист двигуна вентилятора і блока керування БК1 – з допомогою запобіжників.

Плавне регулювання зварювальної напруги здійснюється за рахунок зміни частоти вмикання тиристорів інвертора. Можливе також

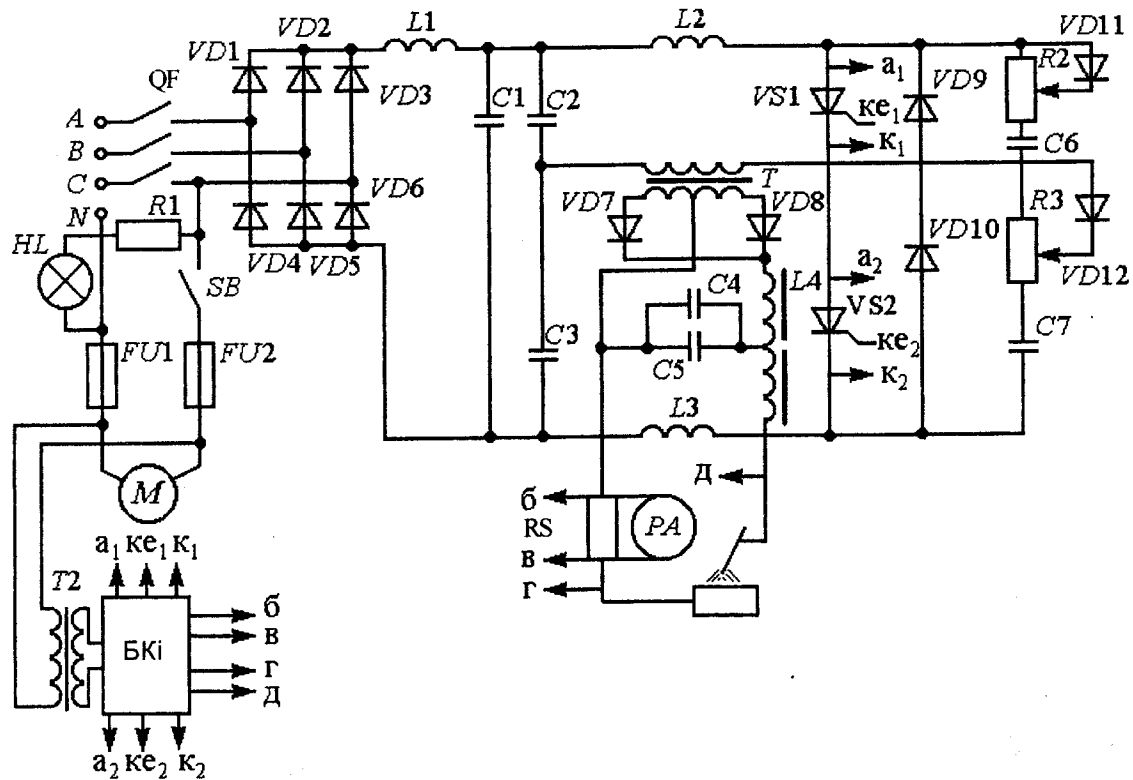


Рис. 3.49. Спрощена електрична схема інверторного випрямляча

і ступінчасте регулювання шляхом зміни ємності комутувальних конденсаторів. При збільшенні ємності зростає зарядний струм і тривалість зарядки конденсатора, що приводить до збільшення випрямленої напруги і струму.

Промисловістю освоєний випуск тиристорного інверторного випрямляча типу ВДУЧ-301, зовнішні характеристики якого наведені на рис. 3.50.

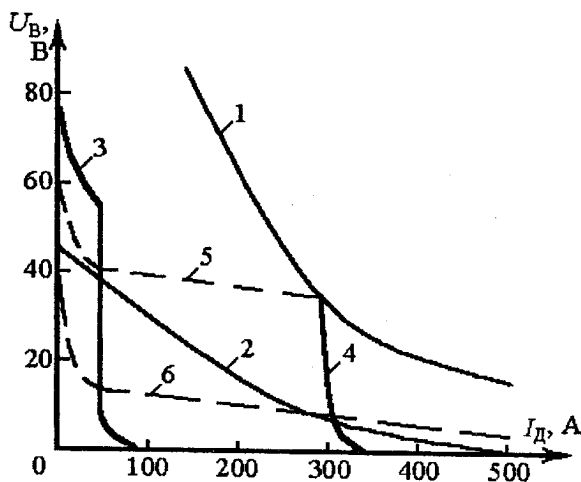


Рис. 3.50. Зовнішні характеристики випрямляча ВДУЧ-301УЗ

Природні характеристики спадні й увігнуті (криві 1, 2). За рахунок зворотного зв'язку за струмом формуються крутоспадні характеристики (криві 3, 4), за рахунок зворотного зв'язку за напругою – жорсткі (криві 5, 6).

Структуру джерела живлення типу ВДУЧ-301 можна подати такою, яка складається з двох основних вузлів – випрямляча мережі (ВМ) і конверторного перетворювача (КП). Вхідний випрямляч ВМ (рис. 3.51) виконаний за мостовою схемою на оптотиристорах VS1–VS3 і діодах VD1–VD3.

Крім основної функції – випрямлення напруги мережі, ВМ згладжує пульсації плавного заряду накопичувального конденсатора. Заряд конденсаторів C1, C2 при вмиканні джерела виконується через допоміжний оптотиристор VS4 і резистор R1. Напруга на конденсаторах контролюється оптотранзистором VT1, струм вхідного кола – датчиками струму ТА1–ТА3. Блок керування випрямлячем (БКВ) ге-

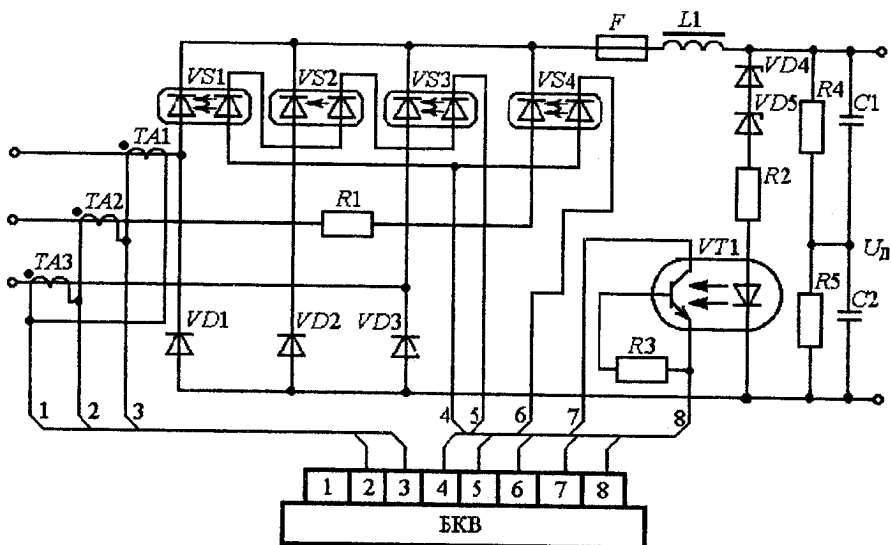


Рис. 3.51. Спрощена електрична схема силової частини випрямляча ВДУЧ-301У3

нерує послідовність імпульсів частоти 10 кГц для вмикання тиристорів $VS1...VS4$. Із вмиканням джерела послідовність імпульсів надходить на опотиристор $VS4$, а після 3 с і за умови вмикання $VT1$ перемикається на тиристори $VS1...VS3$. Якщо порушується нормальна робота джерела (стрибки вхідних струмів, зниження напруги на накопичувальних конденсаторах, зникнення фази), то генерація послідовності імпульсів припиняється.

Вимоги до припустимого рівня пульсацій випрямленої напруги U_d , які висуваються з боку КП, не є жорсткими, тому вони обмежуються тільки допустимими нормами для вибраного типу накопичувального конденсатора. КП здійснює перетворення напруги U_d в напругу зварювального контуру з гальванічною розв'язкою контурів. До складу КП, як правило, входять високочастотний регульований інвертор, трансформаторно-випрямний пристрій (ТВП), що працює на високій частоті, і вихідний згладжувальний дросель.

Півмостовий тиристорний інвертор з резонансною комутацією і діодами зворотного струму (рис. 3.52) містить конденсатори $C3, C4$, котушки індуктивності $L2, L3$, тиристори $VS5, VS6$ і діоди $VD6, VD7$. ТВП виконаний на трансформаторі $T1$ із феритовим осердям. Схема з'єднання обмоток дозволяє забезпечити рівномірний розподіл

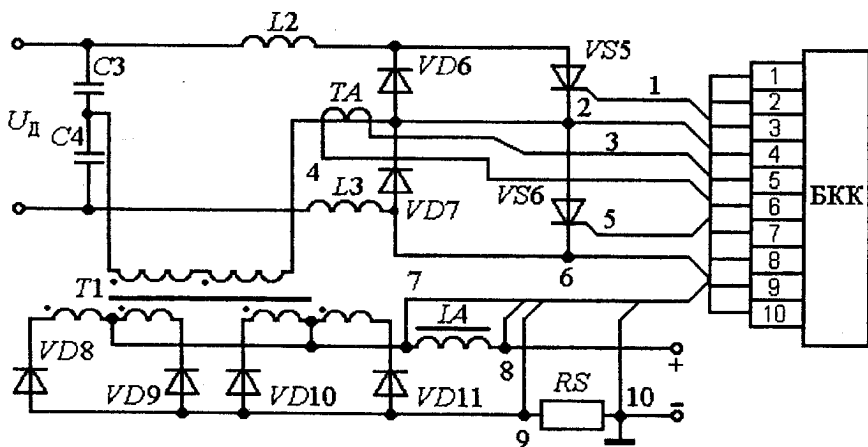


Рис. 3.52. Електрична схема конверторного випрямляча

струмів у паралельно працюючих діодах $VD8$ – $VD11$ і секціях вторинної обмотки, певний електромагнітний зв'язок між секціями вторинної обмотки, що працюють у даний момент, і всієї первинної обмотки, повну компенсацію намагнічувальних сил на стрижнях. Блок керування конвертором (БКК) у джерелі ВДУЧ-301 виконує такі функції:

- формування послідовності частотно-модульованих імпульсів керування тиристорами;
- симетрування режиму роботи інвертора (силового трансформатора);
- регулювання електричних режимів у процесі зварювання.

На БКК надходить інформація про вихідну напругу до і після дроселя $L4$ (рис. 3.52), випрямлений струм із шунта RS , зміна полярності струму в первинній обмотці силового трансформатора з датчика TA .

Тригером TC (рис. 3.53) робота БКК синхронізована з моментом зміни полярності первинного струму трансформатора. Через логічну схему (ЛС) тригер TC задає початок роботи формувача пилкоподібної напруги (ФПН). Крутизна нахилу пилки залежить від величини сигналу, що надходить зі схеми формування зовнішніх характеристик (ФХ). На суматори $C1$, $C2$ подаються опорна напруга із джерела напруги (ДН), логічна 1 або 0 з тригера TC і напруга зі схеми корекції $СК1$, $СК2$. Порівняння пилкоподібної напруги з ФПН і напругою суматорів $C1$ і $C2$ виконується на компараторах $K1$, $K2$, які керують роботою підсилювачів $П1$, $П2$, що формують імпульси керуван-

ня силовими тиристорами. Схеми СК1, СК2 в кожний період роботи інвертора коректують моменти вмикання тиристорів з метою симетрування режиму роботи силового трансформатора. На схеми СК1, СК2 через амплітудний селектор (АС) подається випрямлена напруга з виходу випрямляча. Цикл роботи схеми СК1, СК2 керується напівпровідниковими ключами схеми ЛС. Кожна схема СК вимірює середнє значення випрямленої напруги за період роботи «свого» тиристора, зберігає цю інформацію на час роботи другого тиристора і через схеми С1, К1 або С2, К2 враховує її при завданні моменту наступного вмикання тиристора. При вмиканні тиристора інформація стирається і далі записується знову. Поріг спрацьовування амплітудного селектора вибраний так, щоб початок роботи схеми корекції відповідав початку роботи інвертора в режимі безперервних струмів, де поява несиметрії найбільш можлива. Використання амплітудного селектора дозволяє виявити несиметричні режими роботи інвертора.

Випрямляч ВДУЧ-301 забезпечує надійне запалювання і стабільне горіння дуги в усіх просторових положеннях як при механізованому зварюванні в CO_2 , так і при ручному дуговому зварюванні. В основному він призначений для оснащення промислових зварювальних робіт.

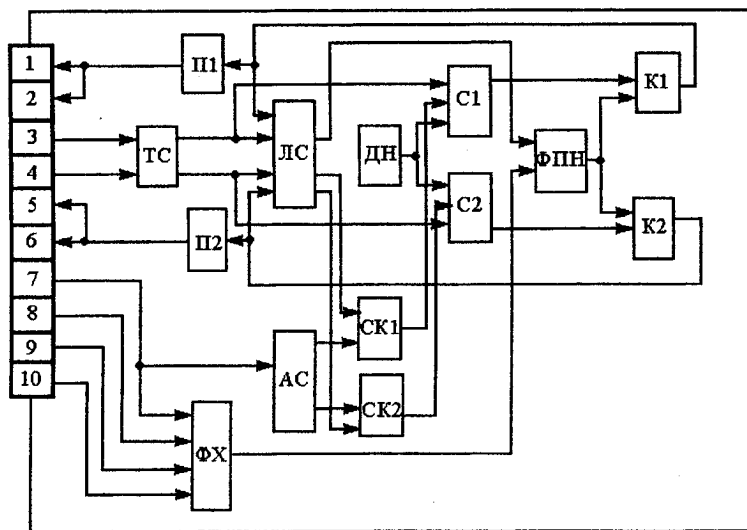


Рис. 3.53. Структурна схема блоку керування конверторного перетворювача

Інші конструкції випрямлячів, як правило, також мають тиристорний резонансний інвертор, зібраний за симетричною півмостовою схемою. Технічні характеристики цих джерел наведені в табл. 3.2. Випрямляч ВДЧ-122 призначений для ручного дугового зварювання і може використовуватися для живлення пульсуючої дуги. Випрямляч ФЕБ-160 є універсальним джерелом, призначеним для ручного та механізованого зварювання у вуглекислому газі. Його схемою передбачена можливість живлення приводу шлангового апарата, а також пуск двигуна внутрішнього згоряння. Випрямлячі ПІРС-160, ВДУЧ-161, ДС-250 У, ВДУЧ-315, ФЕБ-350 та ПІРС-500 також є універсальними. Випрямлячі ВДУЧ-16, ДС-140 та ТІР-ВЧ-125 РС призначені для ручного дугового зварювання, але можуть використовуватись і для зварювання неплавким електродом. Джерело ТІР-МАГ-500 призначене для зварювання у вуглекислому газі.

Високі ступені досконалості притаманні універсальним джерелам PS-2800 та PS-5000 фінської фірми "Кемппі". Вони покладені в основу так званої мультисистеми, в якій на базі загального джерела можуть комплектуватися зварювальні установки чотирьох різних типів. У найпростішому випадку одне тільки джерело використовується для ручного дугового зварювання. У другому варіанті джерело доповнюється блоком циклу з осцилятором, а також газової апаратури та пальником для аргоно-дугового зварювання. У цьому варіанті, крім постійного струму, можливе також зварювання алюмінієвих сплавів знакозмінними прямокутними імпульсами регульованої амплітуди та тривалості. У третьому варіанті пристрій комплектується приводом подавання електродного дроту і стає придатний для механізованого зварювання в захисному газі. Нарешті, в четвертому варіанті останній прилад доповнюється блоком імпульсів для зварювання плавким електродом в інертному газі з керованим переносом.

3.6. ЗВАРЮВАЛЬНІ БАГАТОПОСТОВІ ВИПРЯМЛЯЧІ

3.6.1. Загальні відомості про багатопостові зварювальні системи

Багатопостові системи живлення можуть бути як постійного, так і змінного струму. Серійно випускаються тільки системи для живлення постів постійним струмом від багатопостових випрямлячів, роз-

рахованих на струм 1000, 1600, 5000 А і призначених для ручного дугового і механізованого зварювання у вуглекислому газі.

У багатопостових системах постійного струму зварювальне джерело постачає енергією декільком постам, число яких можна розраховувати із співвідношення:

$$n = \frac{I_{\text{НОМ}}}{k \cdot I_{\text{П}}}, \quad (3.7)$$

де $I_{\text{НОМ}}$ – номінальний струм випрямляча, А;

$I_{\text{П}}$ – номінальний струм зварювального поста, А;

k – коефіцієнт неодноразової роботи постів.

При визначенні числа постів слід враховувати, що не всі вони працюють одночасно в однакових режимах (неробочий хід, навантаження, коротке замикання), і тому до формули (3.7) вводиться коефіцієнт k . Для ручного і механізованого зварювання під флюсом $k=0,5...0,7$, для зварювання у вуглекислому газі $k=0,7...0,9$.

Багатопостові випрямлячі доцільно застосовувати там, де на відносно невеликих виробничих площах доводиться зосереджувати значне число однопостових джерел. Застосування таких випрямлячів створює умови для підвищення продуктивності праці, більш раціонального використання виробничих площ, зниження капітальних вкладень і витрат на обслуговування джерел, покращення умов праці зварників. Крім цього, відбувається значна економія електроенергії, оскільки джерело практично не працює в режимі неробочого ходу. До недоліків можна віднести низький коефіцієнт корисної дії системи за рахунок теплових втрат у баластових реостатах, небезпеку масового простою постів у випадку виходу із ладу випрямляча.

Основною вимогою до багатопостових установок є незалежність роботи кожного поста як в усталених, так і в перехідних режимах. При цьому напруга неробочого ходу на кожному посту повинна бути достатньою для початкового збудження дуги. Тому зовнішня характеристика джерела живлення має бути жорсткою, оскільки при спадній характеристиці коротке замикання на одному посту викличе зниження напруги джерела і згасання дуги на інших постах.

Вихідна напруга при зміні навантаження від 50 до 100 % номінальної величини повинна змінюватись не більш ніж на 4 В.

Багатопостова система має загальне джерело, шинопровід або зварювальні кабелі, постові пристрої (рис. 3.54). Регулювання параметрів режиму на постах може виконуватися з допомогою баластових реостатів або дроселів, а також постових тиристорних випрямних пристроїв.

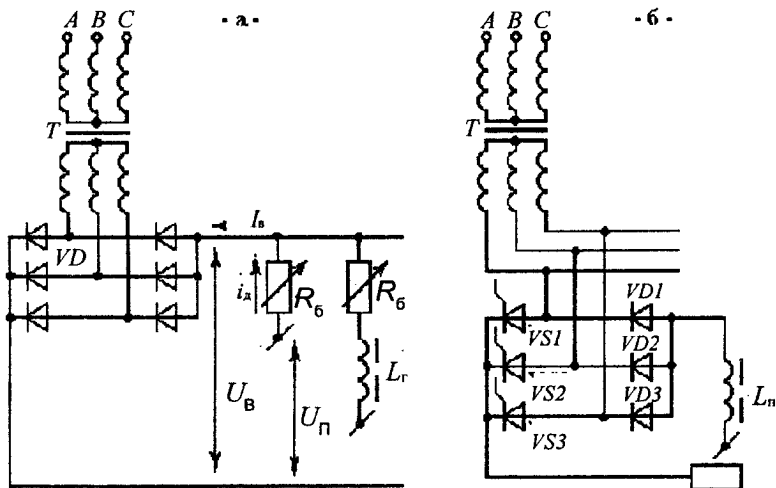


Рис. 3.54. Спрощені електричні схеми багатопостових випрямлячів з баластовими реостатами (а) і випрямними постовими пристроями (б)

Більш поширеною є система, що складається з багатопостового випрямляча постійного струму і постових баластових реостатів R_6 , які виконують функції розв'язки, регулятора струму, напруги і створення спадних характеристик на посту (рис. 3.54а).

Рівняння зовнішньої характеристики на окремому посту і принцип регулювання струму можна вивести з умов роботи зварювального поста в режимі навантаження.

$$U_B = U_{20} = U_6 + U_n = I_D R_6 + U_n, \quad U_n = U_B - I_D R_6 \quad (3.8)$$

З рівняння (3.8) бачимо, що зі зростанням струму I_D спад напруги $I_D R_6$ на баластовому опорі збільшується, а напруга U_n поста знижується, тобто:

$$I_D \uparrow \Rightarrow I_D R_6 \uparrow \Rightarrow U_n \downarrow$$

Якщо в системі застосовується баластовий реостат з малим опором, то на посту створюються пологоспадні зовнішні характеристики, необхідні для механізованого зварювання у вуглекислому газі. При ручному дуговому зварюванні для створення крутоспадних характеристик застосовуються реостати з великим опором.

При навантаженні падіння напруги на посту $U_n = U_D$. Тоді з рівняння (3.8)

$$I_D = (U_B - U_D) / R_6 \quad (3.8)$$

Регулювання зварювального струму на посту здійснюється за рахунок зміни опору баластового реостата. При зварюванні в CO_2 баластовим опором змінюють напругу на дузі.

Конструкцією випрямляча передбачено також ступінчасте регулювання напруги U_b .

Система багатопостового живлення з постовими пристроями у вигляді тиристорно-діодного випрямного блоку (рис. 3.54б) забезпечує роздільне регулювання струму та напруги. За рахунок 33Н і 33С можливо створювати різні за формою види зовнішніх характеристик.

3.6.2. Конструкції багатопостових зварювальних випрямлячів

Для ручного дугового зварювання застосовуються багатопостові зварювальні випрямлячі типу ВДМ-1001УХЛ4, ВДМ-1201УХЛ4 і ВДМ-1601У3, технічні характеристики яких наведені в табл. 3.2.

Спрощену принципову електричну схему ВДМ-1201 подано на рис. 3.55.

Випрямляч складається із трифазного знижувального трансформатора, випрямного блоку, вентилятора, пускової і захисної апаратури. Первинні обмотки трансформатора I_a, I_b, I_c з'єднані у "зірку", вторинні II_a, II_b, II_c і III_a, III_b, III_c – в дві "зірки" з виведеними нулями. Випрямний блок VD , зібраний за шестифазною кільцевою схемою, складається з шести вентилів у кожній фазі. Живлення випрямляча здійснюється від мережі через автоматичний вимикач OF . ВДМ-1201 вмикається при вимкненому навантаженні кнопкою $S1$. При цьому вмикаються пускачі $K1, K2$, електродвигун вентилятора M і трансформатор T . Для виключення помилкових спрацьовувань і максимального захисту автоматичного вимикача OF у коло первинної обмотки трансформатора введенні додаткові резистори $R2$ і $R3$. Послідовність вмикання апаратури обрана такою, що спочатку контактами пускача $K1$ вказані опори вмикаються в первинній обмотці, а далі шунтуються головними контактами $K2.2$ пускача $K2$. Випрямляч зупиняється натисканням кнопки $S2$. Трансформатор захищений від перевантажень тепловими реле $KK2$, вмонтованими в магнітний пускач $K2$, які вмикають ВДМ від мережі при перевантаженнях. Кола керування захищені плавкими запобіжниками $FU1-FU3$. Вентилі випрямного блоку мають захист від перенапруг у вигляді $R-C$ кіл. Для контролю роботи передбачені амперметр PA з шунтом RS ,

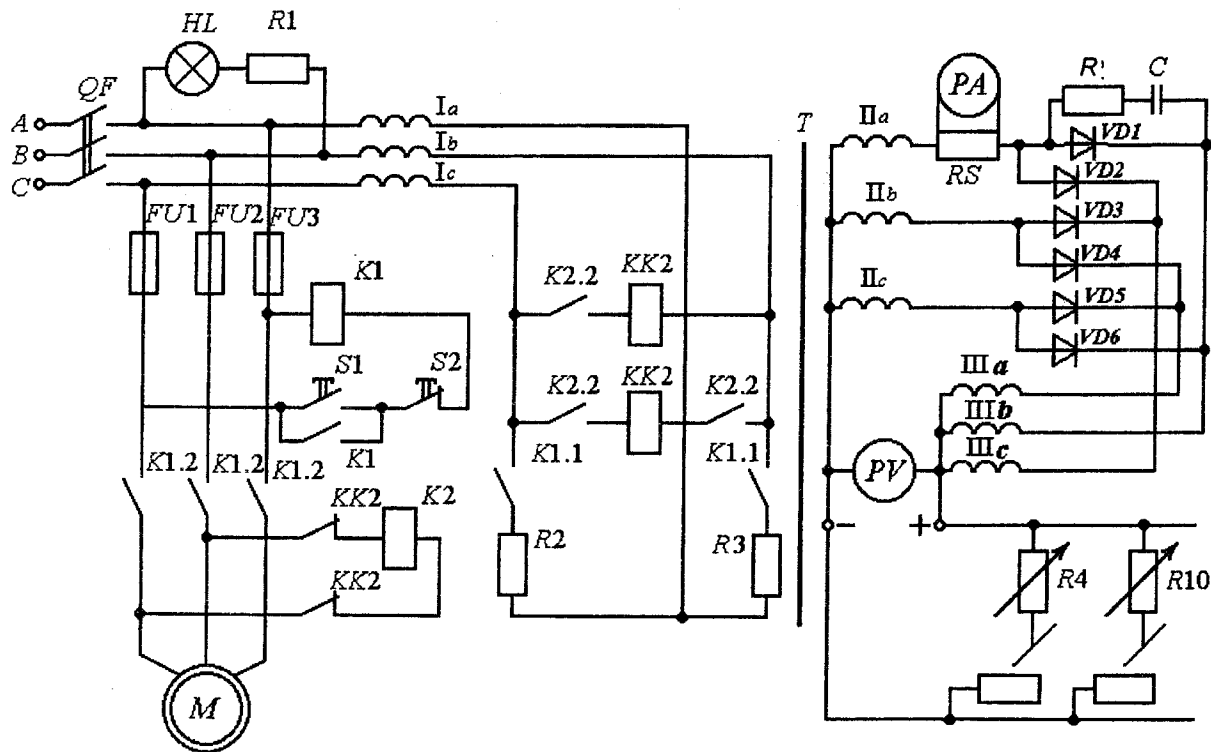


Рис. 3.55. Принципова електрична схема випрямляча ВДМ-1201УХЛ4

вольтметр *PV* і сигнальна лампочка *HL*. Отримання спадних характеристик і регулювання струму на зварювальних постах здійснюється баластовими реостатами типу РБ, які підключаються до навантаження з допомогою рубильників. При різних комбінаціях увімкнених рубильників реостат може змінювати опір від 0,1 до 5 Ом. Випрямляч ВДМ-1601УЗ має таку ж електричну схему, але його випрямний блок зібраний з 12 вентилів, тобто по два вентиля в кожному плечі паралельно. Джерела типу ВДМ нестабілізовані, однак у них передбачено можливість підвищення вихідної напруги на 5 % з метою отримання номінальної випрямленої напруги при зниженні напруги мережі.

Для зварювання у вуглекислому газі до багатопостового випрямляча висуваються більш жорсткі вимоги. Оскільки при зварюванні в CO_2 , виходячи з технологічних вимог, не допускається коливання робочої напруги більш, ніж на 1,5 В, вихідна напруга випрямляча повинна бути стабілізована з точністю не нижче 5 %, а зовнішня характеристика повинна мати нахил не більш 0,002 В/А. Крім цього, глибина регулювання напруги повинна складати порядку 2, постовий пристрій має обмежувати розбризкування електродного металу.

Для механізованого зварювання у вуглекислому газі застосовуються випрямлячі типу ВМГ-5000 і ВДГМ-1602, технічні характеристики яких подані в табл. 3.2.

Багатопостовий зварювальний випрямляч ВМГ-5000 призначений для механізованого зварювання в CO_2 на 30 постах з номінальним струмом на посту 315 А. Він має жорстку зовнішню характеристику і зібраний за шестифазною схемою випрямлення зі зрівняльним реактором і використанням некерованих вентилів В 200. Багатопостова система має розподільні шинопроводи низької і підвищеної напруги. На кожній автономній системі шинопроводів можна змінювати напругу незалежно від напруги на іншій, що досягається за рахунок зміни вихідної напруги випрямляча. Для цього первинна обмотка трансформатора з нормальним розсіянням з'єднана в "зірку", секціонована, що дозволяє отримати п'ять значень фазних ЕРС вторинних обмоток (низького 30, 35, 40, 50 В і високого 60 В). При зварюванні в CO_2 дротом діаметром менше 2 мм рекомендується вмикати пости на шинопроводи з низькою напругою, більше 2 мм – на шинопроводи з підвищеною напругою.

Формування положоспадної зовнішньої характеристики і регулювання напруги на посту здійснюється баластовими реостатами типу РБГ. Від настроювання опору баластового реостата залежить надійність запалювання дуги і стійкість процесу зварювання. Для забезпечення надійного запалювання і стійкості процесу при великокрапельному переносі металу $R_{\text{б}}$ повинне бути не меншим за 0,12 Ом, для обмеження розбризкувань – не менше 0,07 Ом. При зварюванні у вертикальному і стельовому положеннях з метою забезпечення направлено перенесення електродного металу величину $R_{\text{б}}$ доводиться зменшувати. Тому в цьому випадку для зменшення розбризкувань постовий пристрій доповнюється дроселем.

Для зварювання плавким електродом у вуглекислому газі застосовуються також багатопостові випрямлячі серії ВДГМ, у яких електричні схеми силових кіл і системи фазового керування тиристорами такі ж, як і у випрямляча типу ВДУ-1601. Вони забезпечують сталість випрямленої напруги з точністю ± 1 В як при змінах навантаження, так і при коливаннях напруги мережі живлення в діапазоні від +5 % до -5 % номінального значення U_1 . Регулювання режимів зварювання при використанні цих випрямлячів виконується як баластовим реостатом типу РБГ, так і зміною швидкості подавання електродного дроту.

Поряд із багатопостовими системами живлення, розглянутими вище, у промисловості застосовуються і багатопостові універсальні зварювальні випрямлячі з тиристорним регулюванням струму і напруги на кожному посту. Такі установки можуть розміщуватися на різних зварювальних ділянках, утворюючи при необхідності місцеві системи багатопостового живлення. До них належать випрямлячі типів ВДУМ-2х301 і ВДУМ-4х401, розраховані на живлення двох і чотирьох постів. Технічні характеристики їх наведені в табл. 3.2.

Універсальні тиристорні випрямлячі з безреостатним регулюванням режиму постів мають загальний зварювальний трансформатор і незалежні тиристорні випрямні блоки із самостійними пристроями фазового керування.

Постовий блок формує як крутоспадні, так і жорсткі зовнішні характеристики і може застосовуватись при ручному і механізованому зварюванні в CO_2 . Система з паралельно працюючими тиристорними блоками накладає додаткові вимоги на вибір схеми випрямлення зварювального посту, оскільки працюючий тиристор одного випрямного блоку не повинен шунтувати тиристор іншого. Рационально використовувати шестифазну нульову або несиметричну трифазну

мостову схему, у якій тиристри встановлені тільки в катодній групі. Випрямлячі можуть бути також виконані за простою шестифазною схемою випрямлення або двічі трифазною зі зрівняльним реактором. Недоцільне застосування трифазної мостової і шестифазної кільцевої схем випрямлення.

Спрощену принципову електричну схему силової частини ВДУМ-4х401 подано на рис. 3.56.

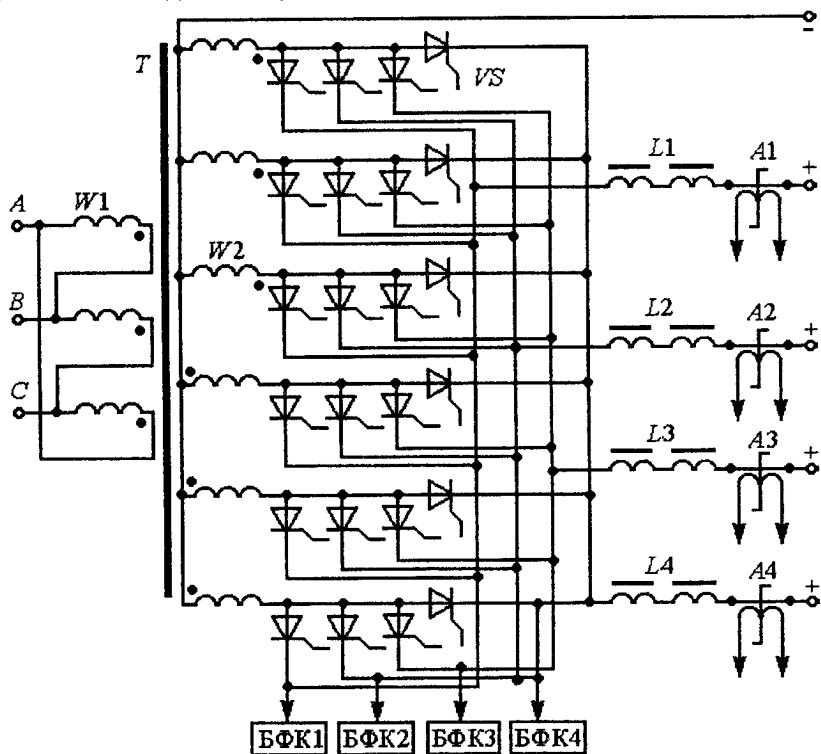


Рис. 3.56. Спрощена електрична схема силової частини випрямляча ВДУМ-4х401

Випрямляч складається із трансформатора T , чотирьох незалежних силових тиристорних випрямлячів, блоків фазового керування БФК з датчиками струму на магнітних підсилювачах A і дроселів L , увімкнених у коло випрямленого струму. Дросельна котушка призначена не тільки для згладжування і обмеження піків струму в процесі зварювання, але й виконує роль розподільного дроселя, що забез-

печує незалежність роботи постів і тиристорних випрямних блоків. Схема випрямлення виконана за простою шестифазною схемою з нульовою точкою. Схема фазового керування тиристорами кожного поста працює за вертикальним принципом. У випрямних блоках застосовуються тиристри типу Т-160.

Зовнішні характеристики випрямляча подані на рис. 3.57.

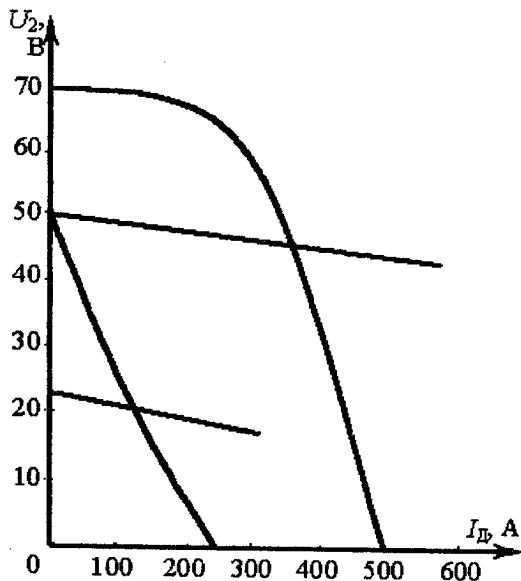


Рис. 3.57. Зовнішні характеристики джерела ВДУМ-4х401

Спад-ні ВАХ отримуються за рахунок зворотного зв'язку за струмом, жорсткі – при узгодженій дії зворотного зв'язку за струмом і напругою. Оскільки охолодження тиристорів на постах ускладнене, всі постові пристрої встановлені в загальному корпусі. Це дещо збільшує витрати зварювальних кабелів і обмежує кількість постів. Випрямляч забезпечує стабілізацію параметрів при коливаннях напруги мережі. Регулювання струму і напруги кожного посту здійснюється дистанційним пультом керування. Охолодження трансформатора і тиристорів – повітряне примусове.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики зварювальних випрямлячів

Тип випрямляча	Номін. зваров. струм, А	ТН, ТУ, %	Межі регулювання струму, напруги U_{Δ}, V	Напруга неробочого ходу, В	Номинальна потужність, кВА	Маса, кг	Габаритні розміри L, B, H, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
Регулювання трансформатором							
ВД-121УЗ	125	30	40-125	43-67	-	29	470,220, 340
ВД-131	180 130	20	<u>38-180</u> 35-130	70	13	65	330,360, 940
ВД-195	200	50	30-230	65	13	125	730, 410, 770
ВД-201УЗ	200	60	30-200	71	15	114	730,550, 880
ВД-250	250	40	-	-	21	73	360,360. 340
ВД-251	250	60	10-250	80	-	100	610,385. 500
ВД-252	250	35	80-250	65-70	-	100	610, 385, 500
ВД-307	300	60	<u>45-315</u> 22-32	-	-	-	825, 265, 470
ВД-309	300	40	60-300	-	12	60	560, 265, 470
ВД-301УЗ	315	60	50-315	65	24	230	1200,765, 830
ВД-306УЗ	315	60	45-315	70	24	174	785,780, 795
ВД-311	315	30	80-400	60	25	100	360, 360. 1200
ВД-306СУ2	315	60	80-320	65	23	190	760, 700, 690
ВД-306М1	315	60	50-315	-	21	190	360, 360, 940
ВД-310	315	75	45-345	67	22	210	905, 770, 825
ВД-330	330	-	-	-	7,2	-	975,850, 900
ВД-403	400	60	50-470	80	-	195	820,850, 900
ВД-401УЗ	400	60	50-450	80	32	200	772,770, 785
ВД-500	500	40	215-540	96	48	230	905, 770, 825
ВД-506	500	40	-	-	36	190	390, 700, 690
ВД-506Д	500	60	50-500	95	36	165	390, 730, 690
ВСБ-101	100	20	65-100	65	8	50	470,290, 400
ВСБ-102	100	20	65-100	65	8	35	410, 180, 350
ВС-300АУЗ	315	60	<u>50-315</u> 16-34	13-40	16	180	650,600, 900
ВС-300Б	300	85	30-315	-	-	200	610,685, 915

Таблица 3.2 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
ВСЖ-30ЗУЗ	315	60	<u>50-315</u> 16-34	18-48	20	200	600, 650, 900
ВС-400УЗ	400	60	60-400	-	20	-	700,650, 1030
КІГ-401	400	100	50-400	50	28	180	720, 530, 655
ВС-600	630	100	100-700	60	37	257	600, 850, 775
ВС-600М	600	60	<u>100-630</u> 20-50	-	35	550	1000,700, 1450
КІГ-601	630	100	60-630	70	50	320	790, 600, 950
АСУ-152	150	20	65-150	64	9,7	48	515,260, 400
Тиристорне регулювання							
ВДУ-251	250	60	<u>40-315</u> 18-30	70	-	200	680, 320,865
ВДУ-300	300	20	<u>30-300</u> 17-32	60	18	50	460,175, 375
ВДУ-305УЗ	315	60	<u>50-315</u> 16-38	70	23	230	975,635. 760
ВДУ-306УЗ	315	60	<u>50-315</u> 18-40	70	21	150	516, 730, 730
ВДУ-504УЗ	500	60	<u>60-500</u> 18-50	85	40	370	1100,800, 940
ВДУ-505УЗ	500	60	<u>60-500</u> 18-50	80	40	300	800, 700, 920
ВДУ-506М	500	60	<u>60-500</u> 18-50	85	-	290	830, 620, 1080
ВДУ-506С	500	60	50-500	60	40	250	740, 600, 920
ВДУ-507	500	60	<u>50-500</u> 18-50	70	-	260	830. 620, 1080
ВДУ-601С	630	60	60-630	85	46	290	740, 600, 920
ВДУ-602	630	60	<u>60-630</u> 24-56	79	60	270	860,620, 1000
ВДУ-1201УЗ	1250	100	<u>300-1250</u> 24-56	100	135	750	1400,850, 1250
ВДУ-1202 УЗ	1250	100	<u>250-1250</u> 24-56	85	-	510	1090, 780, 950
ВДУ-1250	1250	100	250-1250	55	73	520	600, 790, 1410
ВДУ-1601УЗ	1600	100	<u>500-1600</u> 26-66	100	165	850	1450,850, 1200
ВДУ-1604УЗ	1600	100	<u>300-1600</u> 24-56	85	-	850	1350, 850, 1200

Таблиця 3.2 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
КИУ-301	315	60	50-315	72	24	190	720, 530, 770
КИУ-501	500	100	50-500	85	40	260	790, 600, 860
КИУ-1201	1250	100	200-1250	85	120	550	960, 680, 890
ВДГ-163	160	32	50-160	15-27	7	50	500, 300, 400
ВДГ-303УЗ	315	60	<u>50-315</u> 16-40	60	21	230	735, 605, 950
ВДГ-306	315	100	50-315	50	18	180	700, 350, 750
ВДГ-401	400	60	<u>80-500</u> 18-42	60	29	180	595, 720, 630
ВДГ-506	500	100	50-500	65	36	260	1100,
ВДГ-506- 1УЗ	500	100	80-630	24-70	37	230	730,550, 870
ВДГ-601	630	60	<u>100-700</u> 8-66	90	69	560	250,900, 1155
Випрямлячі інверторного типу							
ВДУЧ-16М	160	60	25-200	36	6	20	600, 285, 365
ВДУЧ-161	160	35	<u>10-160</u> 10-26	-	-	20	200,450, 350
ВДУЧ- 301УЗ	315	60	50-315	80	16	73	600,400, 575
ВДУЧ-315	315	32	<u>30-315</u> 16-32	42	-	45	250, 400, 600
ВДУЧ-	315	40	50-315	70	18	55	500, 350, 550
ВД-150	150	-	5-150	24	6,9	5	115,340,220
ВДЧ-122	125	-	20-125	-	-	47	470,290, 400
ВДЧ-141 УЗ	140	35	5-140	70	5,3	7,5	340, 150, 210
ВДЧ-161 УЗ	160	35	5-160	70	6,3	8	340, 150, 210
ВДЧ-301 УЗ	315	35	10-315	70	12,2	15	425, 150, 410
ВДЧ-302 УЗ	315	40	40-315	70	16	45	450, 300, 450
ВДЧІ-302УЗ	315	40	10-315	70	12	50	500, 300, 550
ДС-140.3	140	60	25-140	-	-	10	290,540, 456
ДС-250.3	250	70	25-250	65	-	18	290, 540, 456
ПИРС-160	160	60	<u>5-180</u> 12-28	65	-	17	675,250, 280
ПИРС-500	500	60	<u>25-140</u> 16-40	80	-	120	710,360, 580

Таблиця 3.2 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
ФЕБ-160	160	40	-	40-50	-	20	200, 450, 350
ФЕБ-350	350	40	<u>40-350</u> 12-32	65-75	-	45	250, 400, 600
ТИР-МАГ-50	500	60	-	-	-	140	500, 500, 920
ТИР-ВЧ-125 РС	125	-	50-125	-	-	20	300, 210, 420
И-156	250	60	60-250	65	-	61	600, 300, 520
Багатопостові випрямлячі							
ВДМ-2x250	2 поста по 250А	100	-	70	-	150	425, 685, 970
ВДМ-6301	630	100	-	70	-	250	700, 600, 600
ВДМ-6302	630	100	-	-	46	350	750, 700, 900
ВДМ-6303	630	100	-	-	46	350	750, 650, 950
ВДМ-6304	630	100	-	70	50	280	1100, 620, 850
ВДМ-8001	800	100	-	72	-	212	610, 614, 558
ВДМ-1001УЗ	1000	100	-	60	74	420	1100, 700, 800
ВДУМ-2x301	2 поста по 300А	60	80-300	75	126	710	1400, 785, 1220
ВДУМ-4x401	4 поста по 400А	60	100-400	75	100	790	1350, 700, 800
ВДМ- 1201УХЛ4	1250	100	-	95	80	450	1050, 700, 900
ВДМ-1202УЗ	1200	100	-	80	120	550	815, 770, 830
ВДМ-1203УЗ	1250	100	-	70	98	350	1100, 620, 850
ВДМ-1601УЗ	1600	100	-	100	96	500	1050, 700, 900
ВМГ-5000	5000	100	-	30-60	317	1900	1500, 115, 1685
Випрямлячі з дроселем насичення							
1	2	3	4	5	6	7	8
ВДГ-302 УЗ	315	60	<u>50-316</u> 16-40	-	19	275	1045, 748, 953
ВДГ-303-3	315	60	<u>40-325</u> 16-40	-	17,3	240	720, 590, 938
ВДГ-303УЗ	315	60	<u>50-315</u> 16-40	18-48	20	200	600, 650, 910
ВД-502 УЗ	500	80	50-500	80	42	355	1062, 810, 550

4. ЗВАРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ, ПЕРЕТВОРЮВАЧІ І АГРЕГАТИ

4.1. ПРИЗНАЧЕННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ І ВИМОГИ, ЯКІ ВИСУВАЮТЬСЯ ДО ГЕНЕРАТОРІВ

Зварювальний генератор є електричною машиною, яка забезпечує легке збудження дуги і утворення якісного зварного з'єднання шляхом перетворення механічної енергії обертання якоря в електричну енергію постійного струму.

Перетворювач являє собою комбінацію зварювального генератора, якір якого приводиться в обертання з допомогою трифазного асинхронного двигуна змінного струму і застосовується в основному для ручного дугового й механізованого зварювання в захисних газах і під флюсом у цехових умовах.

Зварювальний агрегат відрізняється від перетворювача тим, що для обертання ротора генератора замість електричного привода застосовується бензиновий або дизельний двигун. Агрегати застосовуються в основному для ручного дугового зварювання в умовах відсутності живлення електричної мережі.

Оскільки генератор є основним електроапаратом, який створює умови для живлення зварювальної дуги, то детально розглядаються конструктивні особливості, принцип дії, характеристики тільки зварювальних генераторів.

Генератори поділяються на колекторні (мотор-генератори) і вентильні (індукторні).

Колекторні генератори складаються з частин що обертаються (якір з колектором), і нерухомих (статор з магнітними полюсами, щітки для знімання струму і т. п.).

Вентильні генератори складаються із трифазного генератора змінного струму і силового випрямного блоку, зібраного за мостовою схемою випрямлення.

Колекторні генератори однопостової системи класифікують у залежності від способу збудження і вольт-амперних характеристик.

Генератори із самозбудженням і спадною ВАХ:

- поперечного магнітного кола;
- із розщепленими полюсами;
- з паралельною намагнічувальною і послідовною розмагнічувальною обмотками збудження.

Генератори із самозбудженням і жорсткою ВАХ:

- з несиметричною або різнонасиченою магнітною системою.

Генератори з незалежним збудженням і спадною ВАХ:

- з незалежною обмоткою збудження і послідовною розмагнічувальною обмоткою.

Генератори з незалежним збудженням і жорсткою ВАХ:

- з незалежною обмоткою збудження і послідовною підмагнічувальною обмоткою.

Універсальні зварювальні генератори:

- в яких спадна і жорстка ВАХ створюється за рахунок обмотки незалежного збудження і послідовної обмотки, що працює як в режимі розмагнічування, так і підмагнічування.

Колекторні генератори багатопостової системи застосовуються в основному як генератори із самозбудженням і послідовною підмагнічувальною обмоткою, що створює жорстку ВАХ.

У процесі роботи в промисловості з'явився основний тип зварювальних генераторів зі спадними і жорсткими характеристиками, технологічні властивості яких відповідають сучасним вимогам технології дугового зварювання. Такими виявилися генератори з незалежним збудженням і самозбудженням з послідовною розмагнічувальною і підмагнічувальною обмотками, а також вентильні генератори. Крім них, у менших обсягах застосовуються універсальні, багатопостові та генератори з несиметричною магнітною системою. Зварювальні генератори поперечного магнітного поля і з розщепленими полюсами, в силу гірших технологічних властивостей, докладно подані у спеціальній літературі і в цьому посібнику не розглядаються.

Технічні характеристики зварювальних оберտальних джерел живлення порівняно низькі. Крім того, вони займають значну виробничу площу, створюють при роботі сильний шум та вібрацію.

4.2. КОЛЕКТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ

4.2.1. Генератори з паралельною намагнічувальною і послідовною розмагнічувальною обмотками збудження

Конструктивні особливості та принципова електрична схема.

Генератори входять до складу агрегатів і перетворювачів. Вони мають спадну зовнішню характеристику і призначені для ручного дугового зварювання, наплавлення, різання та частково для зварювання під флюсом.

На рис. 4.1 показано будову магнітної системи генератора із самозбудженням у вигляді чотирьох основних полюсів зі звичайним чергуванням полярності $N-S-N-S$ і двох додаткових полюсів південної полярності $S-S$ для покращення комутації і зменшення іскроутворення.

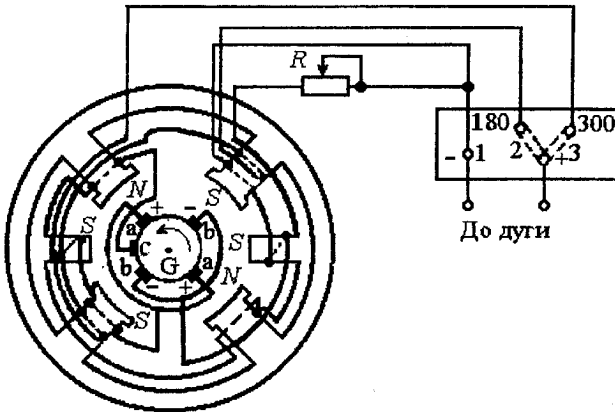


Рис. 4.1. Конструкція генератора із самозбудженням

Намагнічувальна обмотка НО розміщена тільки на основних полюсах полярності $N-N$, а послідовна розмагнічувальна обмотка ПР – на полюсах $S-S$. Генератор має п'ять щіток, з яких дві з'єднані щітки "а" утворюють додатний, а дві щітки "б" – від'ємний вихід генератора. Між основними щітками "а" і "б" є додаткова щітка "с", яка використовується для живлення обмотки НО. Для полегшення розуміння принципу дії джерела розглядається робота у вигляді двополюсного

генератора (рис. 4.2а). Він має паралельну намагнічувальну обмотку НО на полюсі полярності N і послідовну розмагнічувальну обмотку ПР на полюсі S . Магнітні потоки обмоток НО і ПР у вигляді потоків Φ_H і Φ_P направлені назустріч, а потік реакції якоря $\Phi_{\text{я}}$ направлений за правилом "буравчика". Додаткова щітка "с" ніби ділить ярір генератора на дві симетричні частини, ліву "ас" і праву "сб". У полюсах непрацюючого генератора завжди існує залишковий магнетизм у вигляді потоку $\Phi_{\text{Зал}}$. Після запуску генератора у витках ярірної обмотки під дією $\Phi_{\text{Зал}}$ виникає залишкова ЕРС 3–5 В, яка і створює в намагнічувальній обмотці намагнічувальний струм I_H . У свою чергу I_H викликає створення поступово наростаючого потоку намагнічування Φ_H . Процес самозбудження закінчується при повному насиченні полюсів генератора. Для цього необхідно, щоб потоки Φ_H і $\Phi_{\text{Зал}}$ збігалися з напрямком обертання якоря генератора.

Робота генератора і створення спадної зовнішньої характеристики.

Для аналізу роботи в різних режимах розглядається взаємодія магнітних потоків як у лівій, так і в правій частині генератора (рис. 4.2б).

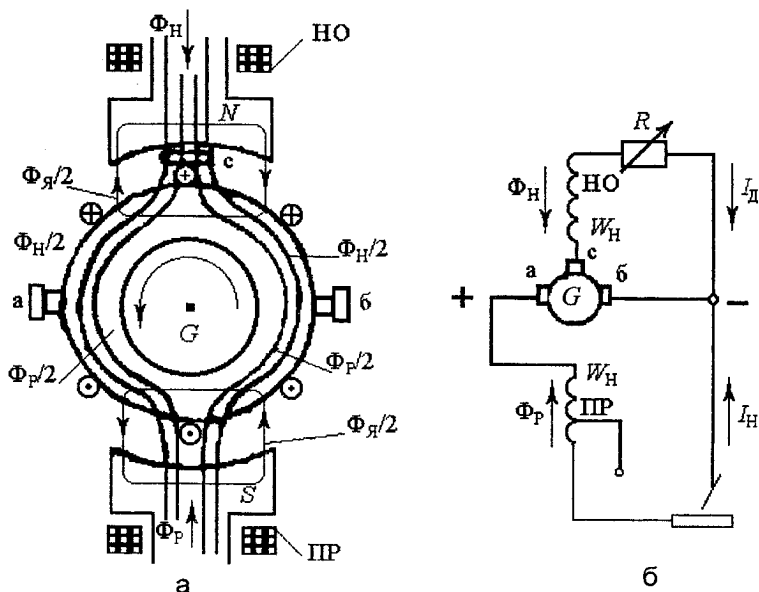


Рис. 4.2. Електромагнітна схема (а), електрична схема (б) генератора із самозбудженням та послідовною розмагнічувальною обмоткою

НЕРОБОЧИЙ ХІД

Умови роботи генератора у даному режимі:

$$I_H \neq 0, I_D = 0, \text{ тоді } \Phi_H \neq 0, \Phi_P = 0, \Phi_J = 0$$

ЕРС в лівій частині генератора (рис. 4.2б) визначається як:

$$E_{ac} = \frac{C\Phi_H}{2} = \frac{CI_H W_H}{2R_\mu}, \quad (4.1)$$

де C – постійна генератора, яка дорівнює $\frac{P_n}{Na}$, де p – число пар полюсів;

n – число обертів генератора на хвилину;

N – число активних проводів обмотки якоря;

a – число пар паралельних гілок якірної обмотки;

I_H – струм у паралельній обмотці збудження, А;

W_H – число витків паралельної обмотки збудження;

W_P – число витків послідовної розмагнічувальної обмотки;

R_μ – магнітний опір на шляху проходження магнітного потоку Φ_H .

У правій частині генератора $E_{c6} = C\Phi_H/2 = CI_H W_H/2R_\mu$.

Сумарна ЕРС генератора

$$E_{a6} = E_{ac} + E_{c6} = C\Phi_H = CI_H W_H/R_\mu = U_{20}, \quad (4.2)$$

де U_{20} – напруга неробочого ходу генератора, В.

Виходячи з виразу (4.2) бачимо, що регулювання U_{20} можна проводити за рахунок зміни струму I_H в паралельній обмотці збудження. При насиченні полюсів зі зміною струму I_H одночасно змінюється і магнітний опір R_μ , тому залежність напруги U_{20} від намагнічувального струму I_H нелінійна, і її можна подати графічно у вигляді характеристики неробочого ходу (рис. 4.3). Коли величина $I_H < I_{Hmin}$, тобто коли магнітопровід полюсів не насичений, при невеликих коливаннях I_H напруга неробочого ходу коливається дуже сильно, і самозбудження не надійне. Після насичення полюсів самозбудження проходить надійно, а при невеликій зміні I_H напруга неробочого ходу змінюється незначно. Тому кратність регулювання U_{20} в генераторі із самозбудженням порівнянно невелика,

тобто
$$\frac{U_{20max}}{U_{20min}} < 1.4$$

НАВАНТАЖЕННЯ

► Умови роботи генератора в режимі навантаження:

$$I_H \neq 0, I_D \neq 0, \text{ тоді } \Phi_H \neq 0, \Phi_P \neq 0, \Phi_J \neq 0.$$

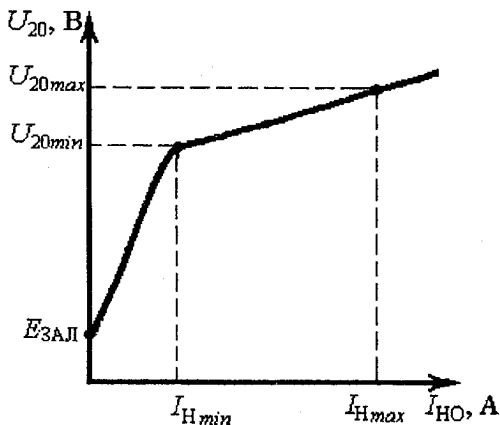


Рис. 4.3. Характеристика неробочого ходу генератора із самозбудженням

ЕРС у лівій частині генератора:

$$E_{ac} = C(\Phi_H - \Phi_P - \Phi_{Я})/2 = C I_H W_H / 2R_\mu - C I_D W_P / 2R_\mu - C I_D W_{Я} / 2R_\mu \quad (4.3)$$

ЕРС в правій частині генератора

$$E_{cb} = C(\Phi_H - \Phi_P + \Phi_{Я})/2 = C I_H W_H / 2R_\mu - C I_D W_P / 2R_\mu + C I_D W_{Я} / 2R_\mu \quad (4.4)$$

При розрахунку генератора число витків розмагнічувальної обмотки W_P і число витків якірної обмотки $W_{Я}$ добирають таким чином, щоб магнітні потоки цих обмоток Φ_P і $\Phi_{Я}$ компенсували один одного, тобто $W_P \approx W_{Я}$. Тоді сумарний магнітний потік на ділянці між щітками "с-б" залишається таким, як і при неробочому ході, і отже, ЕРС E_{cb} практично не змінюється порівняно з ЕРС в режимі неробочого ходу. При цьому забезпечується незалежність збудження від струму навантаження.

Сумарна ЕРС на основних щітках генератора буде рівна

$$E_{a6} = E_{ac} + E_{cb}, \text{ або}$$

$$E_{a6} = C I_H W_H / R_\mu - C I_D W_P / 2R_\mu - C I_D W_{Я} / 2R_\mu = U_{20} - C I_D W_P / 2R_\mu - C I_D W_{Я} / 2R_\mu \quad (4.5)$$

$$U_\Gamma = E_{a6} - I_D R_A, \quad (4.6)$$

де $I_D R_A$ – спад напруги за рахунок активних опорів генератора (провідників якоря, колекторно-щіточних пристроїв, з'єднувальних проводів). Тоді

$$U_\Gamma = U_{20} - C I_D W_P / 2R_\mu - C I_D W_{Я} / 2R_\mu - I_D R_A = U_D \quad (4.7)$$

З рівняння (4.7) бачимо, що зі зростанням струму навантаження I_D напруга генератора U_G зменшується, що свідчить про спадну зовнішню характеристику. Спадна характеристика утворюється за рахунок розмагнічувальної дії магнітних потоків серієсної (розмагнічувальної) та якірної обмоток, а також частково за рахунок падіння напруги $I_D R_A$ генератора.

Із співвідношення (4.7) за умови $W_p \approx W_y$ визначається струм навантаження:

$$I_D = \frac{U_{20} - U_D}{(C W_p / R_\mu) + R_A} \quad (4.8)$$

Плавне регулювання струму виконується за рахунок зміни напруги неробочого ходу генератора U_{20} , рівень якої в основному визначається величиною струму намагнічування I_H у паралельній обмотці збудження з допомогою реостату R . Оскільки кратність регулювання U_{20} обмежена умовами надійного самозбудження, то і кратність плавної зміни зварювального струму $I_{D \max} / I_{D \min}$ невелика і становить приблизно 2,–2,5. Ступінчасте регулювання струму забезпечується за рахунок зміни числа витків послідовної розмагнічувальної обмотки W_p . Якщо $W_p = 100\%$ – ступінь малих струмів, при $W_p = 40\%$ – ступінь великих струмів.

КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ

Виходячи з того, що вольт-амперна характеристика генератора спадна, то $U_G = U_D \approx 0$. Тому

$$I_{K3} = \frac{U_{20}}{(C W_p / R_\mu) + R_A} \quad (4.9)$$

В режимі короткого замикання так само, як і в режимі навантаження плавне регулювання струму I_{K3} здійснюється зміною U_{20} з допомогою реостата R за рахунок регулювання струму збудження I_H . Ступінчасте регулювання струму I_{K3} виконується шляхом зміни числа витків W_p послідовної обмотки.

Графіки зовнішніх характеристик генератора наведені на рис. 4.4.

При невеликих значеннях струму навантаження сумарний магнітний потік Φ_p і Φ_y буде менше потоку Φ_H . Тоді з рівняння (4.3) $E_{ac} > 0$, отже, ЕРС E_{a6} між основними щітками “а-б” буде більше 0. При визначеній величині зварювального струму настає момент, коли $\Phi_p + \Phi_y$ стає рівною (за абсолютною величиною) потоку Φ_H . При цьому ЕРС на щітках “а-с” спадає до нуля, а $E_{a6} = E_{c6}$ (точка В, рис. 4.4).

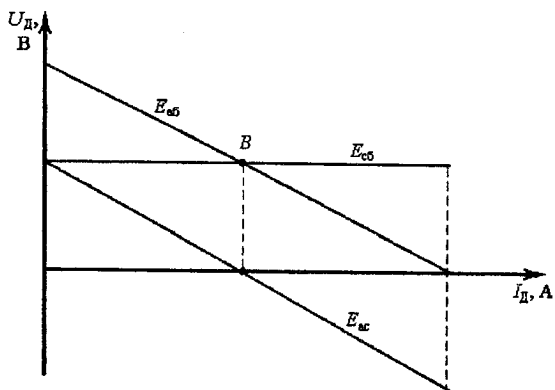


Рис. 4.4. Зовнішні характеристики генератора із самозбудженням

З подальшим зростанням струму навантаження коли $\Phi_p + \Phi_y > \Phi_n$, напруга на щітках "а-с" змінює свій знак і $E_{аб} = E_{сб} - E_{ас}$.

4.2.2. Конструкція зварювальних генераторів, агрегатів і перетворювачів

Генератори із самозбудженням використовуються у складі зварювальних агрегатів, перетворювачів. Їх технічні характеристики наведені в табл. 4.1.

Розглянемо конструкцію одного з агрегатів на прикладі АДД-303У1 (рис. 4.5).

Він складається з генератора-1 типу ГСО-300-12У2 і дизельного двигуна-5 типу Д-144-80, з'єднаних в єдиний блок з допомогою фланцевого з'єднання. Генератори та двигуни закріплені на металевій рамі-7 на гумових амортизаторах. Генератор має дві пари основних N-S і пару додаткових полюсів S. Паралельна намагнічувальна обмотка НО розміщена на N полюсах, а послідовна розмагнічувальна ПР – на полюсах S, завдяки чому зменшується взаємна індуктивність обмоток і значно покращуються динамічні властивості генератора.

Агрегат має металевий кожух-3, паливний бак-2, який забезпечує безперервну роботу агрегата протягом 4,5 годин. Для нормальної роботи передбачена апаратура керування, контрольно-вимірювальні прилади, які розміщені на пульті керування-4. Двигун чотирициліндровий з повітряним охолодженням, з генератором, стартером і електричними датчиками. Двигун запускається з допомогою двох акумуляторних батарей-6.

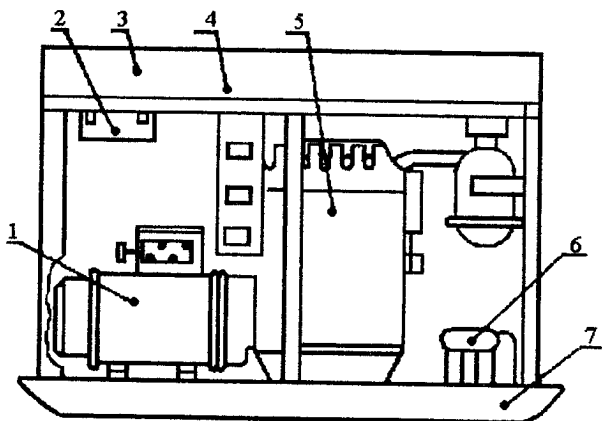


Рис. 4.5. Конструкція агрегата АДД-303У1

За такою самою схемою працюють генератори у зварювальних перетворювачах для ручного дугового зварювання типу ПСО-300-5У2, ПСО-315-МУ2 і ПС-500, який випускався раніше.

4.2.3. Зварювальний генератор системи незалежного збудження з послідовною розмагнічувальною обмоткою. Конструкція і принцип дії

Генератори даної системи широко застосовуються у вигляді зварювальних перетворювачів, оскільки незалежна обмотка збудження живиться від тієї ж мережі, що підводиться до електродвигуна. Вони призначені в основному для ручного дугового зварювання і різання плавленням, а також частково і для зварювання під флюсом.

Генератор має нерухому частину – статор із чотирма головними полюсами і обертову частину – ротор – якір із колектором з двома спареними щітками. На двох геометрично протилежних одноіменних N полюсах вкладається обмотка незалежного збудження НО, на двох інших S полюсах – послідовна розмагнічувальна обмотка ПР.

Обмотка НО живиться від мережі через знижуючий трансформатор та випрямний блок, який змонтовано в корпусі генератора. Обмотка ПР увімкнена послідовно з якорем і навантаженням. Магнітні потоки Φ_H і Φ_P , які створюються цими обмотками, замикаються на полюси, залізо якоря, корпуси генератора і направлені зустрічно (рис. 4.6).

При обертанні ротора генератора в якірній обмотці утворюється змінна ЕРС, яка завдяки колекторному пристрою перетворюється в постійну ЕРС при незмінній величині магнітних потоків. Розмагнічувальна дія послідовної обмотки дає можливість отримати в генераторі спадну вольт-амперну характеристику. Плавне регулювання зварювального струму здійснюється за рахунок зміни струму збудження I_H в незалежній обмотці з допомогою регулятора струму $R1$, ступінчасте регулювання – зміною числа витків послідовної розмагнічувальної обмотки.

Принцип регулювання струму і створення зовнішньої характеристики визначається з аналізу роботи генератора в різних режимах.

РОБОТА ГЕНЕРАТОРА

Аналіз роботи генератора проводиться у трьох режимах: неробочий хід, навантаження та коротке замикання.

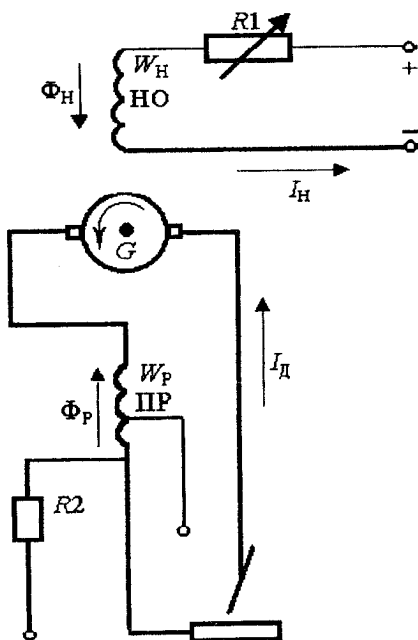


Рис. 4.6. Спрощена електрична схема генератора незалежного збудження з послідовною розмагнічувальною обмоткою

Неробочий хід. Умови роботи генератора $I_D=0$, $I_H \neq 0$, $\Phi_H \neq 0$, $\Phi_C, \Phi_{\text{я}}=0$.

Струм намагнічування I_H , проходячи по обмотці НО, створює магнітний потік Φ_H , завдяки чому в ярірній обмотці утворюється ЕРС генератора E_{Γ} .

$$E_{\Gamma} = C\Phi_H = \frac{C}{R_{\mu}} I_H W_H = U_{20}, \quad (4.10)$$

де C – постійна генератора, W_H – число витків незалежної обмотки збудження, R_{μ} – магнітний опір на шляху потоку Φ_H .

Величина E_{Γ} без втрат подається на клемі генератора і дорівнює напрузі неробочого ходу генератора U_{20} . З виразу (4.10) випливає, що U_{20} можна плавно регулювати зміною струму збудження I_H в незалежній обмотці за допомогою $R1$.

Навантаження. Умови роботи генератора $I_D \neq 0$, Φ_H , Φ_P , $\Phi_{\text{я}} \neq 0$.

В режимі навантаження по зварювальному колу, по ярірній та розмагнічувальній обмотках проходить струм I_D , який створює магнітні потоки Φ_P і $\Phi_{\text{я}}$. Потік Φ_P направлений назустріч потоку Φ_H , а потік реакції якоря $\Phi_{\text{я}}$ замикається по тілу якоря та полюсного башмака і направлений перпендикулярно Φ_H та Φ_P . Тому результуючий магнітний потік $\Phi_{\Sigma} = \Phi_H - \Phi_P$. Сумарний потік Φ_{Σ} створює ЕРС генератора E_{Γ} .

$$E_{\Gamma} = C\Phi_{\Sigma} = C(\Phi_H - \Phi_P) = C \frac{I_H W_H}{R_{\mu}} - C \frac{I_D W_P}{R_{\mu}} \quad (4.11)$$

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} - I_D R_A = C \frac{I_H W_H}{R_{\mu}} - C \frac{I_D W_P}{R_{\mu}} - I_D R_A = U_{20} - I_D \left(\frac{C W_P}{R_{\mu}} + R_A \right), \quad (4.12)$$

де $I_D R_A$ – спад напруги за рахунок втрат в активному опорі генератора (опір провідників якоря, колектора, щіток і т. п.).

Остаточний вигляд виразу (4.12) характеризує рівняння зовнішньої характеристики генератора незалежного збудження з послідовною розмагнічувальною обмоткою. З виведеного рівняння бачимо, що зі зростанням струму навантаження I_D напруга генератора U_{Γ} спадає за рахунок магнітного потоку послідовної розмагнічувальної обмотки і часткового спаду напруги в середині генератора.

Фізичний зміст формування спадної вольт-амперної характеристики полягає в тому, що зі збільшенням зварювального струму I_D потік Φ_P зростає, що призводить до зменшення результуючого магнітного потоку Φ_{Σ} , до зниження ЕРС E_{Γ} і напруги U_{Γ} генератора, тобто:

$$I_D \uparrow \Rightarrow \Phi_P \uparrow \Rightarrow \Phi_\Sigma \downarrow \Rightarrow E_\Gamma \downarrow \Rightarrow U_\Gamma \downarrow$$

Із виразу (4.12) за умови рівності напруги дуги і генератора ($U_\Gamma = U_D$) можна визначити величину зварювального струму:

$$I_D = \frac{U_{20} - U_D}{(C W_P / R_\mu) + R_A} \quad (4.13)$$

З наведеної формули бачимо, що при постійній величині U_D струм навантаження можна регулювати шляхом зміни напруги неробочого ходу генератора (плавне регулювання) або зміною числа витків послідовної обмотки W_P (ступінчасте регулювання).

Основний спосіб регулювання – плавна зміна струму навантаження регулятором струму $R1$ в колі незалежної обмотки збудження. При цьому за рахунок регулювання струму намагнічування I_H відбувається зміна напруги U_{20} . Фізичне пояснення цього способу полягає в наступному. Зі збільшенням струму намагнічування I_H зростає Φ_H , а отже – і результуючий потік Φ_Σ . В результаті цього збільшується ЕРС E_Γ , напруга U_Γ і струм I_D генератора.

$$I_H \uparrow \Rightarrow \Phi_H \uparrow \Rightarrow \Phi_\Sigma \uparrow \Rightarrow E_\Gamma \uparrow \Rightarrow U_\Gamma \uparrow \Rightarrow I_D \uparrow$$

Кратність плавного регулювання зварювального струму $I_{D \max} / I_{D \min}$ невелика і складає приблизно 2...3. Це пояснюється тим, що зі зростанням I_D збільшується і напруга неробочого ходу генератора, яка обмежена вимогами техніки безпеки і становить 60–100 В.

Ступінчасте регулювання струму здійснюється зміною числа витків послідовної розмагнічувальної обмотки. При 100 % увімкненні числа витків W_P – ступінь малих струмів, при 40 % – ступінь великих струмів.

На рис. 4.7 наведено графічне зображення спадної зовнішньої характеристики генератора. Зі зростанням струму I_D (при зміні опору навантаження) напруга генератора U_Γ спадає:

$$I_D \uparrow \Rightarrow U_\Gamma \downarrow$$

Спадна зовнішня характеристика у генераторі з послідовною обмоткою створюється завдяки її розмагнічувальній дії.

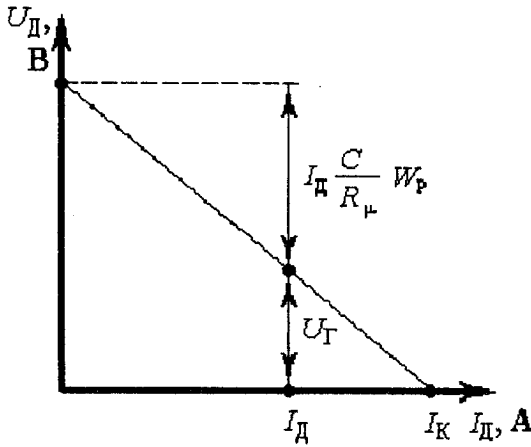


Рис. 4.7. Зовнішня характеристика генератора з незалежним збудженням

Коротке замикання. Режим к. з. можна розглядати як випадок режиму навантаження. При спадній ВАХ в режимі короткого замикання $U_D = U_r \approx 0$. Тоді з рівняння (4.13) струм $I_{кз}$ буде дорівнювати:

$$I_{кз} = \frac{U_{20}}{(CW_p / R_\mu) + R_A} \quad (4.14)$$

В режимі короткого замикання, так само як і в режимі навантаження, плавне регулювання струму $I_{кз}$ здійснюється за рахунок зміни напруги неробочого ходу U_{20} , а ступінчасте – шляхом зміни числа витків обмотки W_p . Рідше ступінчасте регулювання виконують з допомогою баластового реостата R_B з опором R_2 , встановленого послідовно з дугою.

Рівняння зовнішньої характеристики генератора з баластовим реостатом має вигляд:

$$U_\Gamma = U_D = U_{20} - I_D \left(\frac{C}{R_\mu} W_p + R_A \right) - I_D R_B, \quad (4.15)$$

а рівняння регулювання зварювального струму I_D виглядає так:

$$I_D = \frac{U_{20} - U_D}{(CW_p / R_\mu) + R_A + R_B} \quad (4.16)$$

З рівняння (4.16) випливає, що при збільшенні R_B сила струму I_d знижується.

В такому випадку плавне регулювання режиму виконується зміною струму незалежної обмотки, а ступінчасте – секціонуванням послідовної обмотки та вмиканням баластового реостата.

4.2.3.1. Конструкція і робота генераторів та перетворювачів

Розглянемо конструкцію і роботу перетворювачів на прикладі ПД-502У2, до складу якого входить генератор з незалежною обмоткою збудження та послідовною розмагнічувальною обмоткою (рис. 4.8).

До складу перетворювача входить трифазний асинхронний двигун-10 з короткозамкненим ротором та зварювальний генератор-9 типу ГСО-500. Колектор генератора закрито щитками-1, щіточний пристрій встановлено на щиті-4. На розподільчій коробці-5 кріпляться дошки затискувачів двигуна-3 і генератора-2, амперметр-7 та пакетний вимикач двигуна-6. Пристрій для регулювання зварювального струму у вигляді реостата-8 може бути винесено на відстань до 20 метрів. Магнітна система має чотири головних полюси. На двох N полюсах розміщена незалежна обмотка збудження НО, на двох S полюсах – послідовна розмагнічувальна обмотка ПР. У зв'язку з тим, що ці обмотки рознесені на різних полюсах, зменшується їх взаємна індуктивність, що приводить до значного покращення запалювання зварювальної дуги та динамічних властивостей самого генератора. Є також два додаткових S полюси ДП з обмотками для поліпшення комутації, що, у свою чергу, зменшує іскроутворення і збільшує термін роботи генератора. Для ступінчастого регулювання струму послідовна обмотка секціонована перестановкою перемикача на дошці затискачів (рис. 4.9).

Роботу генератора можна розглядати за його принциповою електричною схемою (рис. 4.10).

Конденсатори $C1-C3$ являють собою фільтр для зменшення перешкод радіоприйому. Пакетний перемикач QF слугує для запуску двигуна M в роботу. На дошці $X2$ передбачено з'єднання обмоток двигуна в "зірку" напругою 380 В. Обмотка збудження генератора НО живиться від мережі через трансформатори $T2$ і $T3$ і випрямний міст $VD5-VD8$. Для живлення підмагнічувальних обмоток трансформаторів $T2$ і $T3$ застосовується трансформатор $T1$ та випрямний блок $VD1-VD4$.

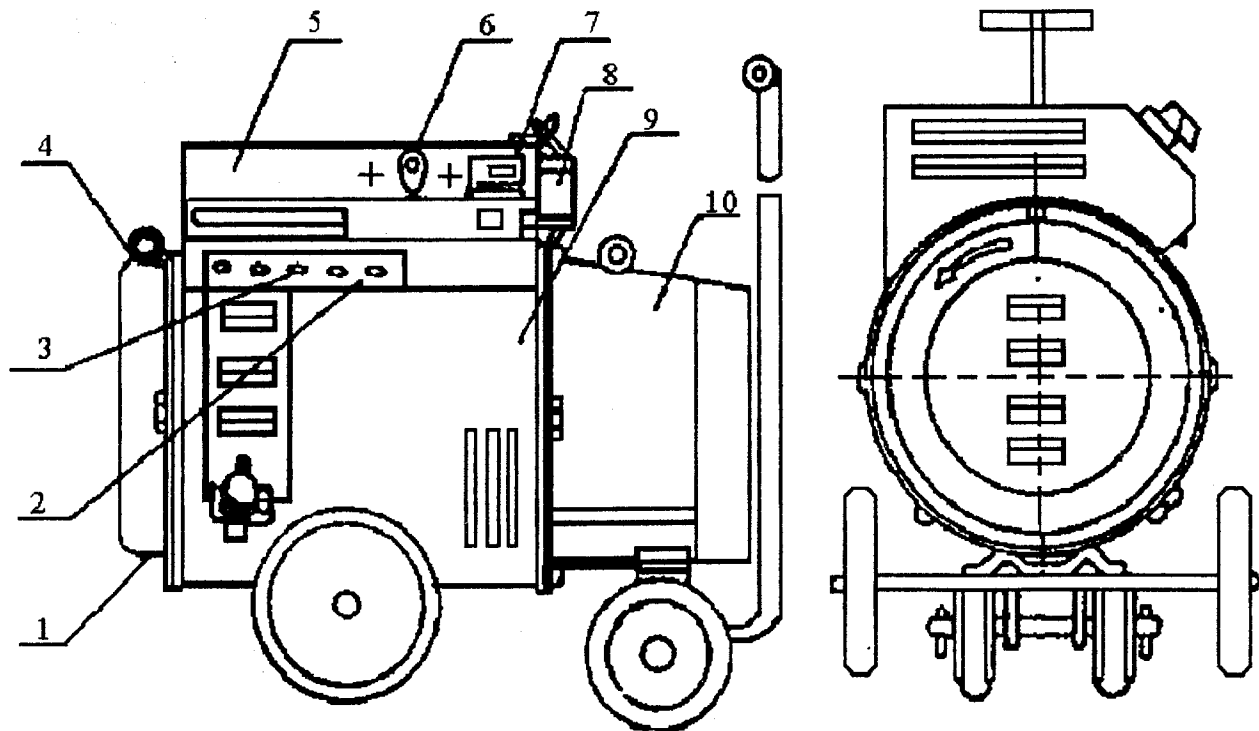


Рис. 4.8. Зовнішній вигляд перетворювача ПД-502У2

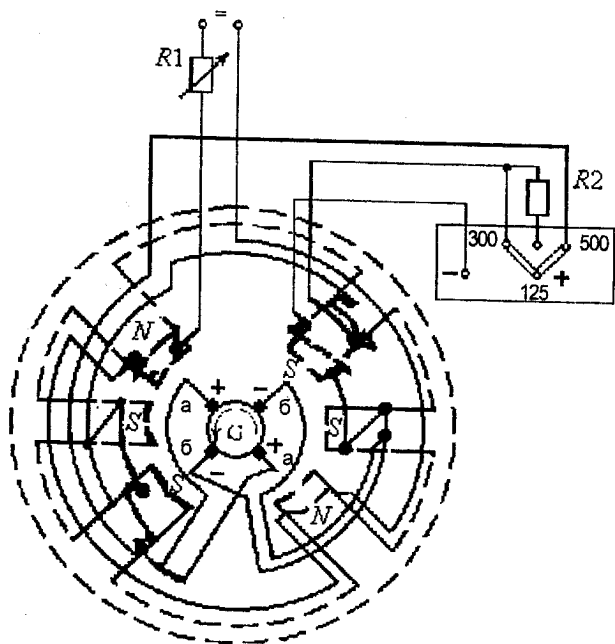


Рис. 4.9. Конструкція перетворювача ПД-502У2

Плавне регулювання струму зварювання і напруги неробочого ходу виконується реостатом $R1$ обмотки збудження, який змонтований на виносному пульті дистанційного керування. Зі зменшенням $R1$ струм підмагнічування в обмотках III збільшується, відбувається насичення заліза магнітопроводів трансформаторів і, відповідно, знижується струм намагнічування в незалежній обмотці збудження генератора. При цьому зварювальний струм буде знижуватись.

Стабілізація зварювального струму при коливаннях напруги мережі досягається за рахунок індуктивно-ємнісного перетворювача, тобто перетворювача джерела напруги у джерело струму, яке зібране за схемою трифазної "зірки". Для цього у фази ввімкнені ємність $C4$, трансформатори $T2$ і $T3$ та індуктивність у вигляді дроселя L . Таке з'єднання створює резонанс напруг мережі, внаслідок чого струм у первинних обмотках трансформаторів стабілізується. Крім того, стабілізація струму досягається за рахунок зворотного зв'язку за напругою мережі, який вводиться у схему індуктивно-ємнісного перетворювача через підмагнічувальні обмотки III трансформаторів

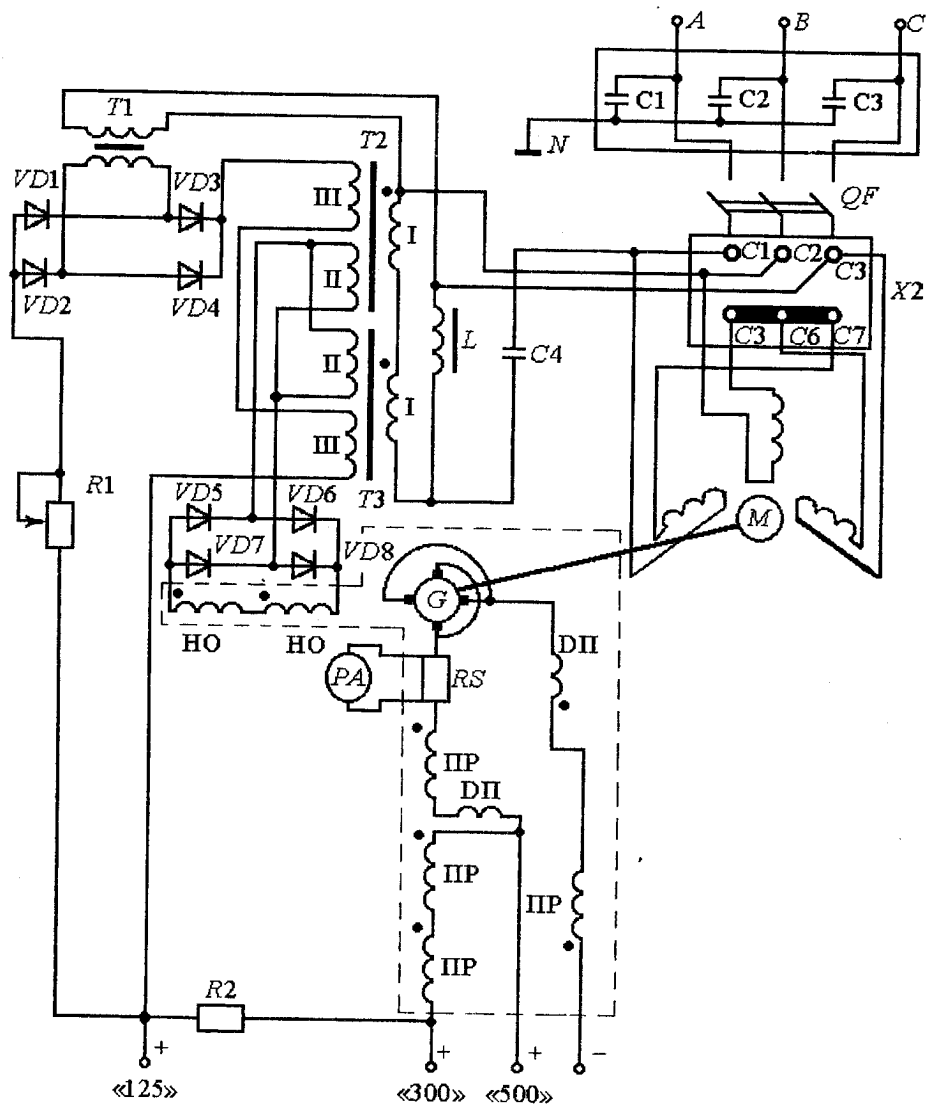


Рис. 4.10. Електрична схема перетворювача ПД-502У2

T2 і T3. При збільшенні напруги мережі струм у підмагнічувальних обмотках трансформаторів зростає, що перешкоджає збільшенню струму намагнічування незалежної обмотки.

Ступінчасте регулювання зварювального струму здійснюється за рахунок зміни числа витків послідовної обмотки ПР, яка виконана з відводами. При вмиканні навантаження на клему "125" в діапазоні малих струмів зварювальний струм обмежується баластовим реостатом R2. Перемикання послідовної розмагнічувальної обмотки та баластового реостата здійснюється на дошці затискачів ДЗГ, де показані граничні значення зварювального струму, які становлять 125, 300 і 500 А.

4.2.4. Зварювальний генератор системи незалежного збудження з послідовною підмагнічувальною обмоткою

Генератор призначений для зварювання у вуглекислому газі і являє собою чотиріполюсну машину, на полюсах якої намотані намагнічувальна і послідовна обмотки збудження. Послідовна підмагнічувальна обмотка утворює магнітний потік $\Phi_{\text{п}}$.

Конструкція генератора подібна до конструкції генератора з незалежною обмоткою збудження і послідовною розмагнічувальною обмоткою.

Суттєвою різницею є напрямок магнітних потоків $\Phi_{\text{н}}$ та $\Phi_{\text{п}}$, які направлені узгоджено (рис. 4.11).

Аналіз роботи генератора проводиться тільки у двох режимах: неробочий хід і навантаження. Режим короткого замикання на жорстких ВАХ вважається аварійним.

Неробочий хід: $I_{\text{д}}=0$, $\Phi_{\text{н}}\neq 0$, $\Phi_{\text{п}}=0$, $\Phi_{\text{я}}=0$.

$$U_{20} = C\Phi_{\text{н}} = C \frac{I_{\text{н}}W_{\text{н}}}{R_{\mu}} = 16 \div 40 \text{ В} \quad (4.17)$$

Регулювання напруги неробочого ходу генератора проводиться зміною струму намагнічування $I_{\text{н}}$ в незалежній обмотці за допомогою реостата R.

Навантаження: $I_{\text{д}}\neq 0$, $\Phi_{\text{н}}\neq 0$, $\Phi_{\text{п}}\neq 0$, $\Phi_{\text{я}}\neq 0$.

Оскільки магнітні потоки $\Phi_{\text{н}}$ і $\Phi_{\text{п}}$ направлені узгоджено, а $\Phi_{\text{я}}$ – перпендикулярно до них, то сумарний потік Φ_{Σ} буде дорівнювати сумі $\Phi_{\text{н}}$ та $\Phi_{\text{п}}$.

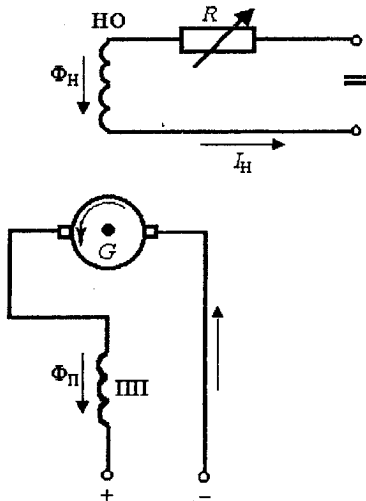


Рис. 4.11. Спрощена електрична схема генератора з послідовною підмагнічувальною обмоткою

$$E_{\Gamma} = C \Phi_{\Sigma} = C(\Phi_{\text{H}} + \Phi_{\text{П}}) = C \frac{I_{\text{H}} W_{\text{H}}}{R_{\mu}} + C \frac{I_{\text{Д}} W_{\text{П}}}{R_{\mu}} = U_{20} + C \frac{I_{\text{Д}} W_{\text{П}}}{R_{\mu}} \quad (4.18)$$

де $W_{\text{П}}$ – число витків послідовної підмагнічувальної обмотки.

Напруга U_{Γ} відрізняється від ЕРС E_{Γ} на величину спаду напруги $I_{\text{Д}} R_{\text{А}}$ за рахунок активного опору генератора.

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} - I_{\text{Д}} R_{\text{А}} = U_{20} + I_{\text{Д}} \frac{C W_{\text{П}}}{R_{\mu}} - I_{\text{Д}} R_{\text{А}} \quad (4.19)$$

Генератор розрахований так, що зі зростанням струму навантаження підмагнічувальна дія послідовної обмотки компенсує втрату напруги генератора, тобто:

$$I_{\text{Д}} \frac{C W_{\text{П}}}{R_{\mu}} \approx I_{\text{Д}} R_{\text{А}}$$

Тоді рівняння зовнішньої характеристики (4.19) має вигляд:

$$U_{\Gamma} \approx U_{20} \quad (4.20)$$

Жорстка ВАХ-1 (рис. 4.12) утворюється за рахунок підмагнічувальної дії послідовної незалежної обмотки збудження завдяки компенсації спаду напруги всередині генератора. У випадках, коли спад напруги, який утворюється потоком послідовної обмотки, перевищує, перекомпенсує ($I_{\text{Д}} \cdot (C W_{\text{П}} / R_{\mu}) > I_{\text{Д}} R_{\text{А}}$), спад напруги в середині

генератора, створюється пологонаростальна ВАХ-1. Коли створюються умови недокомпенсації, тобто $I_D \cdot (C W_{\Pi} / R_{\mu}) < I_D R_A$ – ВАХ полого-спадна-3.

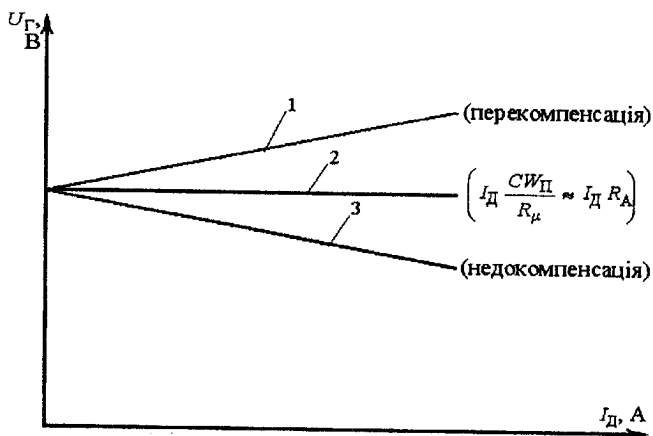


Рис. 4.12. Зовнішня характеристика генератора з підмагнічувальною обмоткою

У промисловості застосовувались зварювальні генератори із жорсткою ВАХ типу ГСГ-300, ГСГ-500-1 у перетворювачах ПСГ-300, ПСГ-500-1.

4.2.5. Зварювальний генератор з несиметричною (різнонасиченою) магнітною системою

Генератор призначений для дугового автоматичного та півавтоматичного зварювання у вуглекислому газі плавким електродом з незмінною швидкістю подачі дроту і має чотири головних та чотири допоміжних полюси. Головні полюси $S_{\text{НАС}}$ і $N_{\text{НАС}}$ знаходяться поруч і мають вирізи, що зменшує їх поперечний перетин, тобто полюси сильно насичені при будь-яких режимах роботи. Два інших полюси S і N мають розвинений перетин і мале насичення. На них намотана паралельна основна намагнічувальна обмотка НО2 (рис. 4.13).

На полюсах із насиченою магнітною системою намотана обмотка НО1, котра, як і НО2, підімкнена до головних щіток генератора. Таким чином, генератор побудований за системою самозбудження і для початку роботи повинен мати залишковий магнетизм. Обмотки збудження допоміжних полюсів призначені для поліпшення комутації.

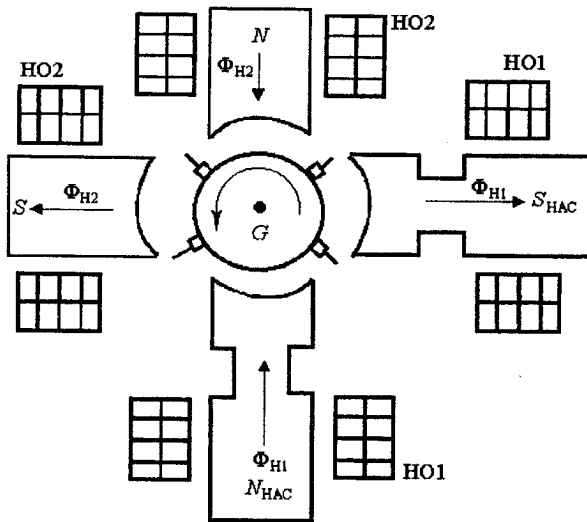


Рис. 4.13. Електромагнітна схема з різнонасиченою магнітною системою

Намагнічувальний струм I_{H1} обмотки HO1 не регулюється і зрештований так, щоб уже при мінімальній напрузі генератора було забезпечено насичення сильнонасичених полюсів. Отже, в процесі роботи в різних режимах потік Φ_{H1} , який утворюється намагнічувальними силами $I_{H1}W_{H1}$ (де W_{H1} – число витків обмотки HO1), залишається приблизно постійним та рівним Φ_{HAC} . Тому у витках якоря під насиченими полюсами утворюється постійна ЕРС $E1=C\Phi_{HAC}$, яка стабільно живить обмотки HO1 та HO2, що забезпечує стійке самозбудження генератора. У коло обмотки збудження розвинених полюсів S і N увімкнутий регулятор напруги R1. Потік Φ_{H2} , відповідно і ЕРС $E2$, яка наводиться в обмотці під ненасиченими полюсами, прямо залежний від струму I_{H2} (рис. 4.14).

Тоді

$$\Phi_{H2} = \frac{I_{H2}W_{H2}}{R_{\mu}}; \quad E2 = C\Phi_{H2} = C \frac{I_{H2}W_{H2}}{R_{\mu}}, \quad (4.21)$$

де W_{H2} – число витків обмотки HO2.

Сумарна ЕРС генератора, яка рівна напрузі неробочого ходу U_{20} , має вигляд:

$$U_{20} = E1 + E2 = C(\Phi_{H1} + \Phi_{H2}) = C(\Phi_{HAC} + I_{H2}W_{H2}/R_{\mu}) \quad (4.22)$$

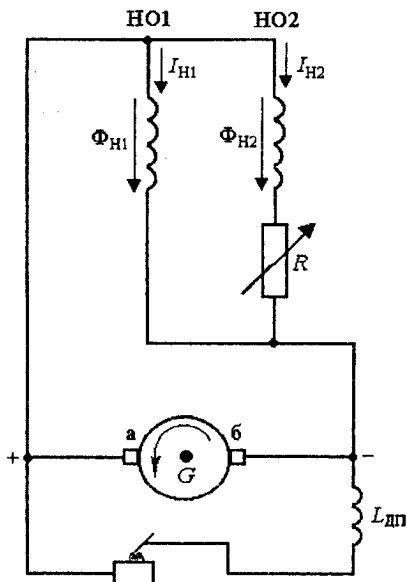


Рис. 4.14. Спрощена електрична схема генератора з різнонасиченою магнітною системою

і складається з постійної величини E_1 , яка гарантує необхідний нижній рівень напруги, та змінної – E_2 , котра залежить від струму намагнічування I_{H2} . При цьому забезпечується необхідна кратність регулювання напруги. Напруга генератора U_r завжди залишається постійною, оскільки магнітні потоки Φ_{H1} та Φ_{H2} не залежать від зварювального струму, а потік реакції якоря не впливає на напругу. Зовнішня характеристика генератора майже жорстка, тобто $U_r = U_{20}$. Вихідна напруга генератора може змінюватись від 16 до 40 В. Обмотки допоміжних полюсів $L_{дп}$ знижують іскроутворення та поліпшують комутацію. У промисловості застосовується перетворювач типу ПСГ-500-1У3 з генератором ГСГ-500-1 із несиметричною магнітною системою. Перетворювач зовні схожий на перетворювачі типу ПД-502У2 та ПСО-300-2У2 з незалежною намагнічувальною і послідовною розмагнічувальною обмотками збудження. Пускова та регулювальна апаратура змонтована у розподільному пристрої, який встановлено на корпусі перетворювача. В ньому розміщені вольтметр, пакетний вимикач електродвигуна, регулювальний резистор, перешкодозахисний фільтр та дошки затискачів високої і низької напруги.

4.2.6. Універсальні зварювальні генератори

Поряд з генераторами однопостової системи зі спадними або жорсткими ВАХ у промисловості застосовуються універсальні генератори типів ГД-304УЗ, ГД-502У2, АСУМ-400.ОМ5. Вони виконані в одному корпусі, але можуть працювати як зі спадними, так і з жорсткими ВАХ. Такі генератори мають незалежну намагнічувальну W_H і послідовну розмагнічувальну W_P обмотки збудження. При увімкненій послідовній обмотці, коли магнітний потік, що створюється нею, направлений назустріч (–) магнітному потоку незалежної обмотки, то зовнішні характеристики спадні. Якщо ж послідовна обмотка увімкнена так, що її потік збігається (+) з потоком незалежної обмотки, – утворюється жорстка ВАХ.

Рівняння характеристики універсального генератора має наступний вигляд:

$$U_{\Gamma} = U_{20} \pm \frac{C}{R_{\mu}} I_{\text{Д}} W_{\text{P}} \quad (4.23)$$

Кількість витків послідовної обмотки добирають таким чином, щоб її підмагнічувальна дія компенсувала витрати напруги на активному опорі генератора R_{Γ} , тобто $\frac{C}{R_{\mu}} I_{\text{Д}} W_{\text{P}} \approx I_{\text{Д}} R_{\Gamma}$. Тоді зовнішня характеристика буде жорсткою:

$$U_{\Gamma} \approx U_{20} \quad (4.24)$$

При перекомпенсації втрат ($\frac{C}{R_{\mu}} I_{\text{Д}} W_{\text{P}} > I_{\text{Д}} R_{\Gamma}$) утворюється положонаростальна характеристика, при недокомпенсації ($\frac{C}{R_{\mu}} I_{\text{Д}} W_{\text{P}} < I_{\text{Д}} R_{\Gamma}$) – положоспадна.

Вид зовнішньої характеристики універсального зварювального генератора отримується залежно від напрямку струму та кількості витків послідовної обмотки збудження.

Плавне регулювання струму при крутоспадних ВАХ проводиться реостатом у колі незалежного збудження, а грубе – зміною кількості витків послідовної обмотки. При жорстких характеристиках реостат у колі незалежної обмотки використовується для настроювання зварювальної напруги.

Розглянемо конструкцію та роботу генератора типу ГД-304УЗ (рис. 4.15).

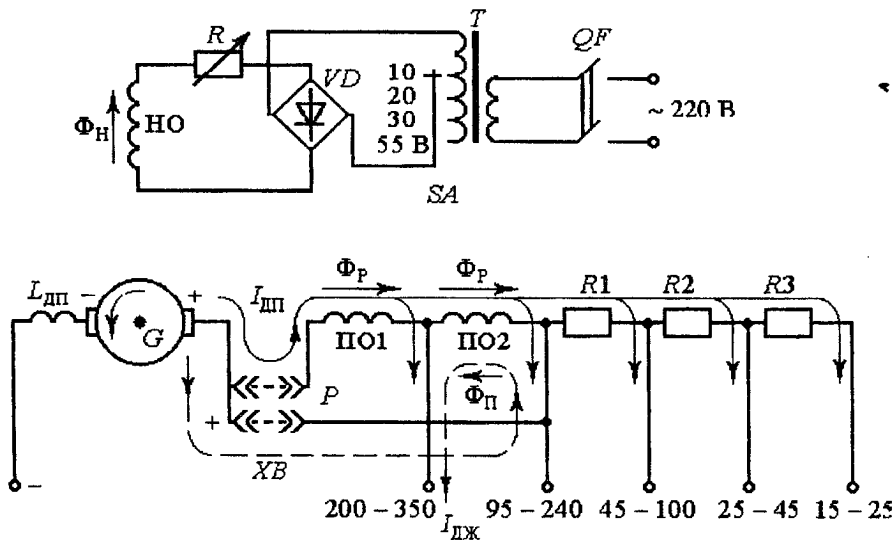


Рис. 4.15. Електрична схема універсального генератора ГД-304У3

Обмотка незалежного збудження отримує живлення від мережі через знижуючий трансформатор T і випрямний блок VD . В коло послідовної обмотки ПО генератора, яке складається з двох підсекцій ПО1 і ПО2, послідовно підключений реостат із секцій $R1$, $R2$, $R3$. Плавне регулювання струму і напруги здійснюється регулятором R , ступінчасте регулювання напруги – перемикачем SA . З допомогою перемички XB , яка встановлена на клемній дошці, проводиться перемикання виду BAX та діапазону ступінчастого регулювання зварювального струму. При зварюванні в CO_2 перемичку ставлять між клемми “+” і “95-240”, а зварювальні кабелі кріплять до клем “-” і “200-350”. В цьому випадку створюються жорсткі (трохи пологоспадні) BAX за рахунок підмагнічувальної дії послідовної обмотки. Струм навантаження проходить за шляхом, який показано пунктирною лінією.

При ручному дуговому зварюванні перемичку ставлять між клемми “+” і “P”. При цьому BAX стають крутоспадними, і зварювальний струм іде за шляхом, який показано суцільною лінією. У випадку підключення навантаження до клем “200-350” генератор працює в режимі максимальних струмів, тому що підключена частина послідовної обмотки. Коли обмотка увімкнена повністю, створюється-

ся режим малих струмів, що відповідає навантаженню, підключеному до клем "95-240". Більш низькі значення зварювального струму можна отримати ввімкненням у коло послідовної обмотки баластових реостатів R_1 , R_2 , R_3 .

Генератор ГД-504У2 застосовується для механізованого зварювання під флюсом і в CO_2 , для ручного дугового зварювання, різання і наплавлення. При роботі з жорсткими ВАХ генератор має два ступені вихідної напруги: на 15–30 і на 25–50 В, що отримують шляхом перемикання числа витків вторинної обмотки знижуючого трансформатора, який живить обмотку незалежного збудження через випрямний блок. При роботі зі спадними характеристиками генератор має чотири ступені регулювання струму: 15–30, 60–200, 125–400, 225–500 А.

Універсальний генератор ГСУМ-400 незалежного збудження входить до складу зварювального агрегата АСУМ-400 і застосовується для ручного дугового зварювання, півавтоматичного зварювання в CO_2 , різання у повітрі, а також під водою. Жорсткі зовнішні характеристики отримують при відключенні послідовної обмотки. При жорстких ВАХ є два ступені вихідної напруги: 25–45 і 40–70 В. Оскільки при роботі під водою для водолаза-зварника напруга понад 30 В вважається небезпечною, а напруга неробочого ходу генератора сягає до 105 В, то при перервах в роботі зварник має можливість відключити незалежну обмотку збудження з допомогою спеціального перемикача. Цим же пристроєм можна проводити зміну полярності зварювальної дуги за рахунок зміни напрямку струму збудження в незалежній обмотці. Технічні характеристики генераторів, які змонтовані у перетворювачах чи агрегатах, наведено в табл. 4.6.

4.3. ВЕНТИЛЬНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ

4.3.1. Призначення генераторів та принцип їх дії

Вентильний зварювальний генератор являє собою електричну машину змінного струму з випрямним блоком. Як генератор змінного струму може використовуватись безколекторний синхронний генератор з ротором явно-полюсної конструкції, до обмотки збудження якого подається невеликий струм з допомогою двох контактних кілець і щіток. Може застосовуватись також і безконтактний індукторний генератор, ротор якого не має обмотки. Таким чином, у вентильному

генераторі колектор зі щіточним пристроєм відсутній, що значно спрощує його конструкцію і робить його більш надійним порівняно з колекторним.

Класифікація вентильних генераторів пов'язана в основному з конструкцією генератора змінного струму. У складі вентильного генератора може застосовуватись синхронний генератор із ротором явно-полюсної конструкції. Він легший за індукторний та більш простий у виготовленні, але менш надійний через наявність ковзного струмопідводу. Більш широке розповсюдження одержав індукторний одноіменно-полюсний генератор підвищеної частоти (до 400 Гц), який має кращі зварювальні властивості порівняно з колекторним генератором.

Характеристики вентильного генератора залежать від типу і кількості фаз генератора змінного струму. Однофазна мостова схема випрямлення використовується тільки в малопотужних генераторах струмом до 125 А і доповнюється дроселем для згладжування випрямленого струму та зменшення швидкості наростання струму в часі. Вона застосовується також для розробки універсального генератора. Трифазний мостовий випрямний блок забезпечує добре згладжений струм.

Вентильний генератор може бути універсальним за родом струму, оскільки його можна використовувати у вигляді джерела постійного або змінного струму. Для зварювання на змінному струмі необхідно використовувати клема, розміщені перед випрямним блоком. У вентильного генератора є також ряд інших переваг, порівняно з колекторним, коли йдеться про технічні характеристики. Саме тому вентильний генератор широко застосовується у зварювальних агрегатах. Але, поряд з цим, він має і ряд недоліків. Одним з них є велика, порівняно з випрямлячами, тривалість відновлення напруги після короткого замикання, тобто гірші динамічні властивості, що трохи ускладнює збудження дуги. Крім цього, у вентильних генераторів значно більше відношення пікового струму короткого замикання до сталого, ніж у колекторних. Тому, щоб зменшити викликане цим сильне розбризкування металу, необхідно використовувати індуктивність у вигляді дроселів великих габаритів, що не має сенсу. Відомо, що одним із засобів зниження розбризкування є підвищена частота зварювального струму, в результаті чого закінчення короткого замикання припадає не на пік, а на спад пульсацій випрямленого струму. Це призводить до того, що крапля розплавленого металу переходить у зварювальну ванну зі значно меншою швидкістю і розбризкуванням.

Підвищення частоти зварювального струму у вентильному генераторі досягається за рахунок числа зубців двопакетного ротора-індуктора, набраного з електротехнічної сталі, та числа обертів ротора.

Однофазний індукторний генератор (рис. 4.16) має зубчастий ротор-індуктор-1, обмотку збудження-3, що живиться постійним струмом і розміщена на статорі-2. Обмотка збудження створює постійну намагнічувальну силу, але потік збудження $\Phi_{зб}$, що пронизує силову статорну обмотку-4, має пульсуючий характер, оскільки магнітний опір на його шляху змінюється при обертанні ротора. Потік набуває максимального значення при збіганні осі силових обмотки із зубцем ротора і мінімального – при збіганні із западиною ротора. Тому в силовій обмотці утворюється змінна напруга U_r .

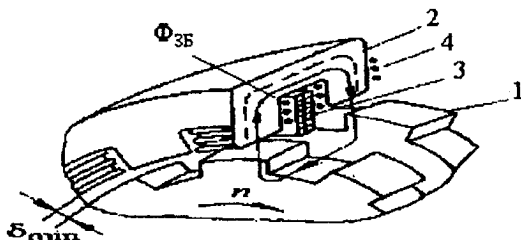


Рис. 4.16. Конструктивна схема індукторного генератора

4.3.2. Вентильний зварювальний генератор зі спадною зовнішньою характеристикою

Вентильний зварювальний генератор типу ГД-312-У1 – це генератор із самозбудженням, який використовується в агрегаті АДБ-318У1 для ручного дугового зварювання і різання (рис. 4.17).

На валу-10 у масивній втулці-9 закріплені два пакети заліза ротора-2,11, які набрані з листів електротехнічної сталі. На станині-12 встановлено два пакети заліза статора-4,13 із трифазною робочою (статорною) обмоткою-3. Між пакетами ротора кріпиться до станини обмотка збудження-5, яка і створює магнітний потік збудження Φ . Генератор фланцем-1 і гнучкою муфтою з'єднаний з двигуном. Трифазний мостовий випрямний блок-8 охолоджується вентилятором-7. У коробці-6 знаходиться пускорегулювальна апаратура. Індуктований магнітний потік направлений аксіально і замикається через пакети заліза ротора, статора, станину. Зубці одного пакета ротора, залежно

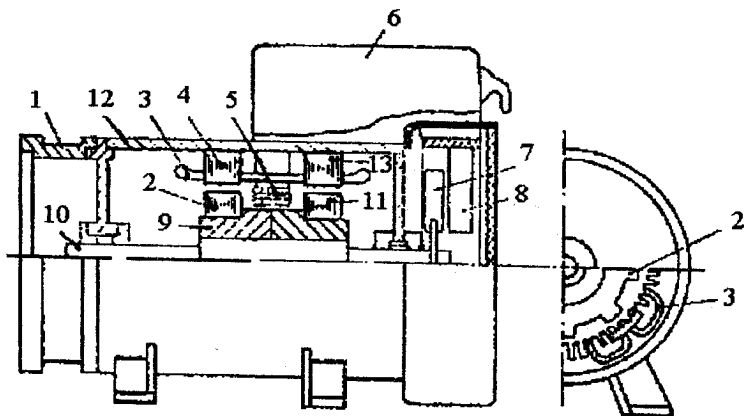


Рис. 4.17. Конструкція вентильного генератора ГД-312

від напрямку струму в обмотці збудження, утворюють N полюс, а зубці іншого – S. Полюси одного пакета зсунуті просторово на 180 електричних градусів відносно полюсів другого. При обертанні ротора кожний виток статорної обмотки пронизується пульсуючим магнітним потоком, миттєве значення якого цілком залежить від кута повороту зубців ротора. В результаті цього у кожній фазі трифазної статорної обмотки утворюються змінні ЕРС, зсунуті на 120 електричних градусів. Величина магнітного потоку періодично змінюється із частотою f , яка визначається за формулою:

$$f = \frac{nZ}{60} \quad (4.25)$$

де n – число обертів ротору за хвилину, Z – число зубців ротора.

При навантаженні змінний струм статорної обмотки наводить потік реакції якоря, який індуктує в ній проти ЕРС, що пропорційна струму. Завдяки цьому вентильний генератор має спадну вольт-амперну характеристику. Для отримання жорсткої ВАХ вводиться додатний зворотний зв'язок за струмом у коло збудження, в результаті чого зі зростанням зварювального струму збільшується струм збудження і ЕРС генератора. Все це компенсує зростання проти ЕРС, що викликана потоком реакції якоря, і забезпечує сталість напруги.

Роботу генератора можна розглянути за принциповою електричною схемою на рис. 4.18а.

При роботі в режимі неробочого ходу поле залишкового магнетизму полюсів ротора індуктує у статорній обмотці ЕРС у 5–7 вольт. Трансформатор *TV* підвищує цю напругу, яка через *VD1* подається на обмотку збудження ОЗ. Генератор самозбуджується до напруги неробочого ходу, величина якої регулюється реостатом *R1*. При навантаженні обмотку ОЗ через *VD3* починає живити одночасно з *TV* трансформатор струму *TA*. У ті півперіоди змінного струму, коли полярність двох трансформаторів змінюється на зворотну, струм по обмотці збудження через *VD2* йде за рахунок енергії, яка нагромаджується у магнітному полі обмотки ОЗ, коли по ній проходив струм в попередній півперіод. Це і забезпечує неперервність збудження. Трифазна змінна ЕРС, яка індуктується у статорних обмотках *CO*, випрямляється силовим випрямним блоком *VD4-VD9*, зібраним за трифазною мостовою схемою випрямлення. Плавне регулювання зварювального струму і крутизни *BAX* генератора виконується резистором *R2*. Крутизна зовнішньої характеристики залежить від величини індуктивних опорів фаз статорної обмотки, які, в свою чергу, залежать від ступеня насичення магнітного кола пакетів-індукторів ротора. Ступінчасте регулювання струму здійснюється з допомогою перемикача *SA*. При вмиканні однієї статорної обмотки в кожні фази генератор працює в режимі малих струмів від 40 до 180 А. Коли обмотки працюють у паралельному режимі – створюються великі струми, які становлять 160–350 А.

Конструкція та принцип дії такого генератора подібні до вентильного генератора типу ГД-316-У2. На рис. 4.18б показано зовнішні характеристики ГД-312У1, де суцільними лініями подані *BAX* генератора при паралельному вмиканні статорних обмоток, пунктирними – при використанні тільки однієї обмотки.

У промисловості широко застосовуються вентильні генератори у складі зварювальних перетворювачів, агрегатів.

Інші конструкції вентильних генераторів мало відрізняються від генератора, який описано вище. Вони відрізняються лише типом приводного двигуна, номінальним струмом, частотою обертання та способами регулювання струму. Винятком є лише перетворювач УДЗ-103У2 з вентильним генератором, до складу якого входить ще й прилад для заряду акумуляторних батарей. Генератор ГД-4003 завдяки введенню додатного зворотного зв'язку за струмом має, окрім крутоспадних, ще й пологоспадні та жорсткі зовнішні характеристики.

260

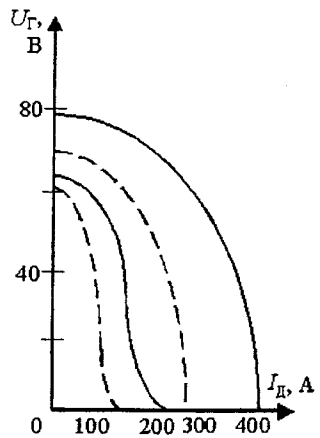
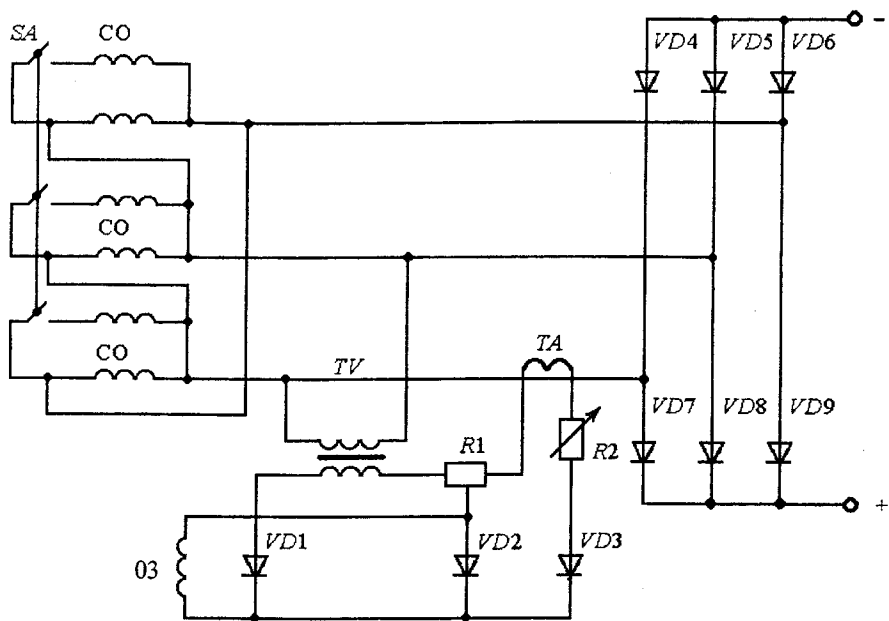


Рис. 4.18. Зовнішні характеристики генератора ГД-312У1

Агрегати АС-2 та АС-3 мають асинхронний генератор, у якого обмотка збудження вбудована в маховик дизельного двигуна, а силові обмотки розміщені на статорі, що охоплює маховик. Двох- та чотирьох-постові агрегати являють собою механічне об'єднання двох- або чотирьох вентильних генераторів, подібних за конструкцією до генератора ГД-312. Багатопостові джерела розроблені для зварювання магістральних трубопроводів, до їхнього складу входить допоміжний генератор для живлення переносного електроінструмента. Деякі агрегати типів: АДД-3115, АДД-3116, АДБ-3123, АДБ-3128, АДД-4002, АДД-4003, АДД-2х2501, АДБ-4х2501, АДД-4х2502, АДД-502, АДД-504 встановлено на автомобільному причепі (табл. 4.6).

4.4. БАГАТОПОСТОВІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ

Багатопостові зварювальні генератори, які укомплектовані у складі перетворювачів або агрегатів, призначені в основному для одночасного живлення декількох зварювальних постів ручного дугового зварювання через послідовно увімкнені в коло дуги регульовані баластові реостати. Вони мають ряд переваг порівняно з однопостовими генераторами, основними з яких є більш високий ККД та $\cos\phi$, менша вартість і значне заощадження виробничої площі. До недоліку можна віднести великі втрати потужності в баластових опорах, низький коефіцієнт корисної дії зварювального поста і т. д.

Кількість постів n , які живляться від багатопостового перетво-

рювача, можна визначити за формулою: $n = \frac{I_H}{I_{\Gamma} K_B}$, де

I_H – номінальний зварювальний струм перетворювача, А;

I_{Γ} – номінальний струм зварювального поста, А;

K_B – коефіцієнт використання поста, який дорівнює 0,5 – 0,7 залежно від виду зварювання.

Зовнішня характеристика багатопостового генератора повинна бути жорсткою, оскільки при невиконанні цієї умови одночасна робота декількох постів неможлива. У разі зміни напруги зварювальної дуги на одному з постів відбулась би зміна напруги генератора, що призвело б до зміни режиму зварювання на інших постах.

Зварювальні пости підключаються між собою паралельно. Для створення спадної ВАХ на посту послідовно з дугою вмикається баластовий реостат.

Напруга генератора, яка подається на пост, поділяється між реостатом та дугою, тобто:

$$U_{\Gamma} = U_{\text{Б}} + U_{\text{Д}}, \quad (4.26)$$

де $U_{\text{Б}}$ – спад напруги на баластовому опорі, $U_{\text{Д}}$ – напруга, яка подається на дугу.

Спад напруги на баластовому опорі пропорційний зварювальному струму $I_{\text{Д}}$ та опору реостата $R_{\text{Б}}$, тобто $U_{\Gamma} = I_{\text{Д}}R_{\text{Б}} + U_{\text{Д}}$. Тоді:

$$U_{\text{Д}} = U_{\Gamma} - I_{\text{Д}}R_{\text{Б}} \quad (4.27)$$

З рівняння (4.27) бачимо, що зі зростанням зварювального струму спад напруги на баластовому опорі збільшується, напруга на дузі спадає, а на посту створюється спадна характеристика, нахил якої залежить від $R_{\text{Б}}$ (рис. 4.19).

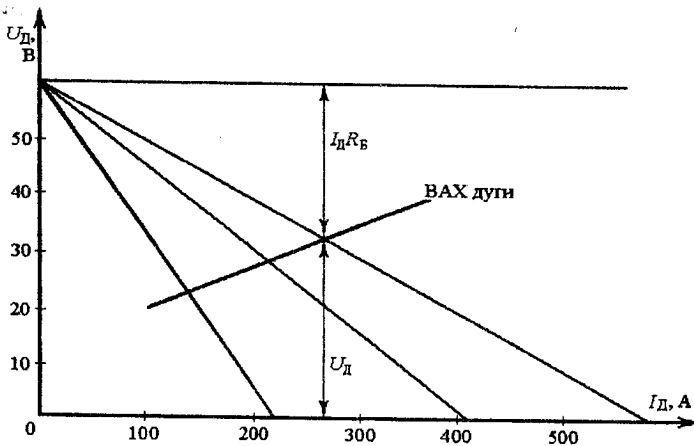


Рис. 4.19. Зовнішні характеристики багатопостового генератора

Регулювання зварювального струму на посту здійснюється за рахунок зміни опору $R_{\text{Б}}$:

$$I_{\text{Д}} = \frac{U_{\Gamma} - U_{\text{Д}}}{R_{\text{Б}}} \quad (4.28)$$

Багатопостові зварювальні генератори належать до генераторів системи із самозбудженням з паралельною намагнічувальною та послідовною підмагнічувальною обмотками збудження. На магнітних полюсах ці обмотки розміщені так, що їхні магнітні потоки діють

узгоджено. Оскільки ВАХ генератора жорстка, то він може працювати тільки в режимах неробочого ходу та навантаження. Допускати його роботу в режимі короткого замикання не можна, оскільки при постійній напрузі струм різко зростає, що може призвести до псування генератора.

Аналіз роботи багатопостового генератора в режимі неробочого ходу та навантаження проводиться аналогічно генератору однопостової системи з незалежним збудженням та послідовною підмагнічувальною обмоткою.

Раніше у промисловості використовувалися зварювальні перетворювачі типу ПСМ-1000-4 з генератором ГСМ-1000-4. Це шестиполюсні машини зі змішаним збудженням, тобто, крім паралельної на полюсах, міститься і послідовна обмотка, яка забезпечує незмінну напругу генератора 60 В.

Промисловістю також випускається чотириполюсний генератор ГСМ-500У2, що входить до складу агрегата типу АСДП-500Г, який одночасно живить два зварювальних пости для ручного дугового зварювання сталевих труб магістральних трубопроводів у польових умовах.

Технічні характеристики генераторів, перетворювачів, агрегатів

Таблиця 4.6

Тип джерела	Зварювальний струм, при ТН=60%, А	Номинальна, напруга, В	Межі регулювання зварюв. струму, А	Напруга неробочого ходу, В	Номін. потужність, кВА	Габаритні розміри L, B, H, мм	Маса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
Зварювальні колекторні генератори							
ГСО-300У2	300	32	100-315	90	9,6	630,520,625	218
ГД-304У3	315	32	15-350	80	9,8	675,600, 700	260
ГД-502У2	500	40	15-500	90	-	950,500, 750	400
ГСМ-500У2	315 на 2 поста	55	50-630	70	27,5	1017,636, 585	680
ГД-310У3	315	32,6	45-350	100	-	683, 544, 896	275
ГД-3120У2	315	32,6	30-350	100	-	690,680, 700	230
Зварювальні перетворювачі і агрегати з колекторними генераторами							
ПСО-3002У2	315	32	115-315	90	10,2	1030,590, 830	435
ПД-502У2	500	40	75-500	80	20,0	1065,650, 935	550
ПД-502-1У2	500	42	75-500	90	30	1010,650, 935	480
ПД-305У2	315	32	45-350	90	10,2	1200,537, 845	280
ПСГ-500-1У3	500	40	60-500	45	20,0	1050,570, 870	460
ПСО-315МУ2	315	32	100-315	90	10,2	1225,485, 780	393
ПСУ-500-2	500	40	120-500	48	20,0	1075,650, 1085	545
УДЗ-101У3	125	25	15-135	80	705	1140,490, 610	230*

Таблиця 4.6 (продовження)

Зварювальні перетворювачі, агрегати з вентильними генераторами							
1	2	3	4	5	6	7	8
АСБ-300-7У1	300	32	115-315	80	22,0	1915,895, 1250	635
АСБ-300МУ1	250	30	100-315	80	15,0	1070,870, 1670	550
АДБ-306У1	315	32	115-315	80	29,0	1915,895, 1165	640
АДБ-310У1	315	32	15-350	80	29,0	1943,1070, 1360	670
АДД-303У1	315	32,6	45-315	100	29	1915,895, 1460	930
АДД-304У1	315	32	100-315	85	18,0	1900,880, 1450	850
АДД-305У1	315	32,6	45-350	100	29,0	1850,980, 1210	880
АСУМ-400	400	70	100-400	100	42,0	1660, 620, 990	850
АСДП-500-1 У1	500	55	50-315	-	27,5	6600,2500, 2850	5020
ПАС-400-6У1	500	40	120-600	-	48,0	2950,900, 1500	1990
АДД-3112У1	315	32,6	30-350	100	29	1860,950, 1210	885

Таблиця 4.6 (продовження)

Зварювальні перетворювачі, агрегати з вентильними генераторами							
1	2	3	4	5	6	7	8
ПД-305У2	315	32	45-350	90	10,2	1200,537, 845	280
АДБ-312У1	315	32	15-350	80	29,0	1900,900, 1200	690
АДБ-3122У1	315	32,6	15-350	100	29,0	1900,950, 1420	670
АДБ-318У1	315	32,0	45-350	80	29,0	1900,880, 1200	720
АДД-501У1	315-2 поста 500-1 пост	32,0 40,0	60-330 250-500	100	37,0	2550,1200, 1270	1600
АДД-4002У1	400	36,0	60-450	90	37,0	3400,2010, 2200	1300
SG-180	180	-	30-180	-	-	430,270, 550	50
ГД-2002	200	-	40-200	100	-	640,440, 680	160
ГД-2507 УЗ	250	30	35-315	100	-	845,570, 620	196
ГД-316У2	315	32,6	35-350	100	-	846,570, 620	196
ГД-4003 У2	300 400	32,6	70-300 15-400	100	-	845,540, 603	245
ГД-4004 У2	400	36,6	35-430	90	-	790,450, 610	196
ПД-1601	160	26,4	15-200	-	-	1080,456, 656	-

Значення у чисельнику відповідають жорстким ВАХ, у знаменнику – спадним ВАХ.

Таблица 4.6 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
АДД-4001 М	315	32,6	15-315	100	17,6	1900,1000, 1350	690
АС-2	315	32,6	60-315	100	-	1620,650, 1070	580
АС-3	$\frac{315}{200}$	$\frac{32,6}{31}$	$\frac{40-350}{20-220}$	$\frac{95}{70}$	-	1180,650, 935	465
АДД-2х2502	250х2	-	50-270	-	-	2000,950, 1250	880
АДД-2х2501У1	250х2	30	60-300	100	-	2250,6500, 2400	3400
АДБ-4х2501У1	250х4	30	70-300	100	-	2350,6600, 2740	5000
АДД-2х3118У1	315х2	32,6	40-315	100	-	2230,2600, 2000	2000
АДД-2х3121У1 АДД-2х3122У1	315х2	32	40-315	100	-	2600,2200, 6200	1900
АДД-502У1	315х2	32	60-330	-	-	6200,2300, 2500	3500
АДД-504У1	315х2	32,6	40-315	100	-	2500,6600, 2900	2100
ГД-2х2501У2	250х2	-	40-280	90	-	845,420, 760	255
ГД-2х2502У2	250х2	30	60-300	100	-	470,485, 475	750
ГД-2х2504У2 ГД-2х2505У2	250х2	30	60-300	100	-	740,790, 735	750

Таблица 4.6 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
ГД-4x2502У2 ГД-4x2503У2	250x4	30	70-300	100	-	965,780, 965	1140
АДД-4004У2	400	36	35-430	100	29	1870, 950, 1200	850
АДД-4005	400	36	35-430	100	-	-	700
АСМ-2	200	28	30-230	100	-	-	884
АДД-3001	300	-	-	-	-	-	450
АДД-5001	500	-	-	-	-	-	1000
АСМ2-400	2x360	-	-	-	-	-	1000
АСМ4-400	2x250	-	-	-	-	-	1600
АДД-4001СУ1	400	36	60-420	100	-	1820,950, 1300	820
АСП-400	400	-	-	-	-	3900,2150, 2600	1500
АДБ-3122У1	315	32,6	15-350	100	29	1900,1000, 1400	670
АДД-4003У1	400	36	60-450	100	36,8	3400, 2010, 2200	1370
АДД-3114	315	32,6	15-350	100	18,4	1900, 950, 1600	730
АДД-4x2501У1	800	40	70-360	100	-	6600, 2350, 2740	5000

5. СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

5.1. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ (ІДЗ) ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ

5.1.1. Призначення та особливості ІДЗ плавким електродом

При імпульсно-дуговому зварюванні плавким електродом здійснюється кероване перенесення електродного металу, що дозволяє у 3–8 разів підвищити продуктивність праці, значно знизити зварювальні напруження і деформації порівняно зі зварюванням неплавким електродом. Цей метод може застосовуватись для зварювання конструкцій відповідального призначення із різних марок сталей, алюмінієвих, нікелевих сплавів і титану товщиною 1 мм і більше при накладанні швів у всіх просторових положеннях.

При зварюванні плавким електродом на краплю електродного металу діють такі сили: (рис. 5.1):

де F_{EP} – радіальна складова електродинамічної сили F_{ED} ;

F_{PH} – сила поверхневого натягу;

F_P – реактивна сила;

F_T – сила тяжіння;

F_{EO} – осьова складова електродинамічної сили F_{ED} .

Електродинамічна сила F_{ED} виникає в результаті радіального стиснення краплі електромагнітним полем, її радіальна складова F_{EP} , пропорційна квадрату сили струму, намагається перетиснути шийку краплі, а осьова складова F_{EO} – відкинути краплю до зварювальної ванни. Сила поверхневого натягу F_{PH} викликана молекулярним зчепленням краплі з електродом і заважає її відокремленню так само, як і реактивна сила F_P , що утворюється в результаті реакції випаровування металу краплі. Сила тяжіння F_T

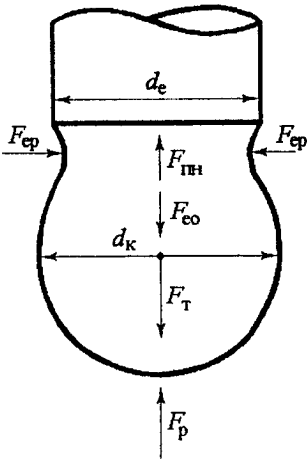


Рис. 5.1. Дія сил на краплю електродного металу при ІДЗ плавким електродом

залежно від просторового положення зварювального шва може сприяти (нижнє положення) або заважати (стельове положення) відокремленню краплі. Вона проявляє свою дію тільки при великокрапельному перенесенні металу, яке не знайшло практичного застосування через низьку стійкість процесу зварювання і неякісне формування шва.

За характером горіння дуги розрізняють зварювання при безперервному горінні дуги і зварювання з періодичними короткими замиканнями дугового проміжку. Зварювання з короткими замиканнями можливе як на великих, так і на малих струмах. Як захисне середовище може застосовуватись газ CO_2 або аргон. Однак перенесення металу в такому випадку характеризується значним розбризкуванням і несплавленнями, які створюють умови для зародження тріщин. Тому зварювання з короткими замиканнями не застосовується для конструкцій відповідального призначення.

Імпульсно-дугове зварювання плавким електродом застосовується в основному при безперервному горінні дуги з використанням захисного середовища аргону або аргоноокислювальних сумішей. Застосування таких газів обумовлено тим, що зварювання при безперервному горінні дуги можливе за умови $F_{\text{ЕД}} > F_{\text{Р}}$. У середовищі вуглекислого газу ІДЗ не застосовується.

При імпульсному зварюванні плавким електродом на базовий (постійний) струм періодично накладаються імпульси струму з частотою в декілька десятків герц, що призводить до зростання електродинамічної сили і, відповідно, до відокремлення краплі. Відбувається кероване перенесення електродного металу з частотою перенесення рівною або кратною частоті імпульсів.

5.1.2. Вимоги до джерел для ІДЗ плавким електродом

На рис. 5.2 зображена крива струму при ІДЗ плавким електродом з такими основними параметрами:

де $I_{\text{Б}}$ – базовий (постійний) струм з невеликим ступенем пульсації;

$I_{\text{і}}$ – імпульсний струм (заштриховані ділянки), тобто імпульси струму, середнє значення яких перевищує базовий струм;

$I_{\text{кр}}$ – критичний струм, тобто рівень струму, нижче якого без накладання імпульсів перенесення металу стає великокрапельним;

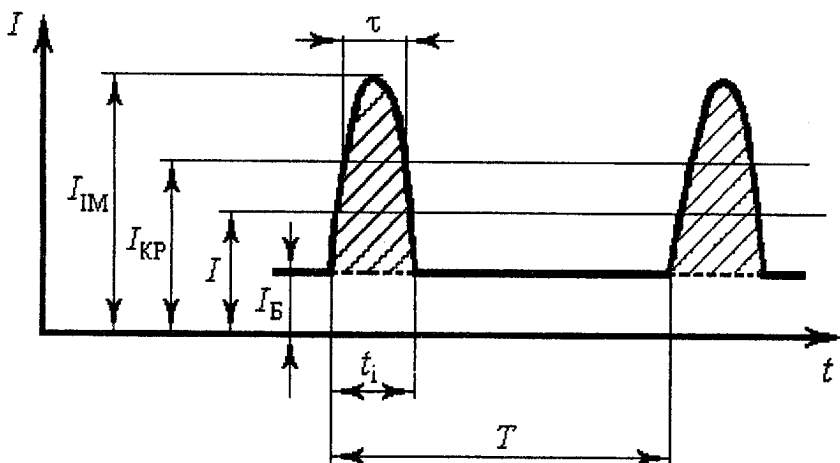


Рис. 5.2. Крива струму для зварювання плавким електродом

I – зварювальний струм, котрий визначається як середнє значення струму $I = I_B + I_i$;

I_{IM} – амплітуда імпульсів струму;

t_i – тривалість імпульсів струму, мс;

τ – час перенесення, або проміжок часу, протягом якого струм або імпульс струму більший I_{KP} , мс;

T, f – відповідно період і частота проходження імпульсів.

Базовий струм I_B обирається залежно від товщини виробу, положення шва у просторі і створюється джерелом постійного струму.

ІДЗ плавким електродом здійснюється в основному пристроями з незалежною швидкістю подачі електродного дроту. При зварюванні великих товщин оплавлення кінця електродного дроту відбувається як при базовому, так і при імпульсному струмі. Тому ВАХ за базовим та імпульсним струмами повинні бути жорсткими з нахилом 0,01–0,03 В/А, що сприяє саморегулюванню довжини дуги. При зварюванні малих товщин базовий струм незначний і слугує тільки для підтримання горіння зварювальної дуги в проміжку між імпульсами, а оплавлення електродного дроту і скидання краплі відбувається під час імпульсу. Для запобігання обривів базового струму необхідна його стабілізація шляхом застосування крутоспадних ВАХ базового струму з нахилом 0,5–1,5 В/А при збереженні імпульсних ВАХ жорсткими. При зварюванні на великих струмах основну частину

становить базовий струм $I_Б$. Зі зниженням зварювального струму і швидкості подачі дроту розмір крапель зменшується. При цьому зростає сила поверхневого натягу $F_{ПН}$, що ускладнює перенесення крапель електродного металу. Тому необхідна енергія імпульсів, і, отже, значення імпульсного струму суттєвих змін не зазнають, а зниження зварювального струму відбувається в основному за рахунок зменшення базового струму. Якщо подальше зниження базового струму неможливе, переходять на меншу частоту імпульсів, що дозволяє зменшити імпульсний струм I_i . Імпульсний струм, призначений для надійного скидання краплі, повинен перевищувати $I_{кр}$. При механізованому зварюванні дротом діаметром 0,8–2,5 мм струм I_i становить від 300 до 1500 А.

Тривалість імпульсу t_i має регулюватися від 1 до 10 мс. Імпульс повинен круто наростати зі швидкістю до 2000 кА/с і мати більш плавний спад. Це забезпечує відрив краплі на спаді імпульсу з невеликою швидкістю її руху, що приводить до зменшення розбризкування. Основним параметром, що визначає швидкість краплі після її скидання, є енергія імпульсу A , яка визначається за наступним рівнянням:

$$A = k \int_0^{\tau} (i^2 - I_{кр}^2) dt,$$

де i – миттєве значення струму, А; k – коефіцієнт пропорційності.

Якщо діаметр краплі перевищує діаметр шийки, що з'єднує її з електродом, то з моменту, коли електродинамічна сила $F_{ЕД}$, яка виникає під час імпульсу, набуває переважного значення, крапля починає рухатися до зварювальної ванни. При цьому вона витягується в напрямку виробу, а діаметр шийки зменшується. Зі зниженням струму імпульсу з моменту, коли $F_{ЕД}$ стає меншою за силу утримання F_y , що дорівнює $F_{ПН} + F_p$, швидкість переміщення центру тяжіння краплі починає зменшуватись. Однак за рахунок нагромадженої кінетичної енергії крапля продовжує переміщення в попередньому напрямку до моменту обриву шийки. Після скидання крапля рухається з незмінною швидкістю через дуговий проміжок і потрапляє у зварювальну ванну. Такий режим перенесення вважається оптимальним.

У випадку перевищеної енергії імпульсу крапля відокремлюється від електрода раніше, ніж $F_{ЕД}$ стане меншою за F_y . Тоді вона має дуже велику швидкість, що супроводжується сильним розбризкуванням.

При зниженій величині A швидкість краплі знижується раніше, ніж відбувається обрив шийки, і крапля знову притягується до кінця електрода.

Другим важливим параметром імпульсів є їхня частота f . Частота імпульсів (величина зворотна періоду проходження імпульсів $f=1/T$) може становити 100, 50, 33 і 25 Гц. При незмінній швидкості подачі електродного дроту маса крапель збільшується пропорційно періоду T . Для отримання крапель однакового розміру необхідно змінювати частоту імпульсів пропорційно швидкості подачі. Однак при дрібно-крапельному перенесенні частота імпульсів мало впливає на формування шва, глибину і форму проплавлення. У достатньо широкому діапазоні зміни зварювального струму її можна залишити незмінною і застосовувати від двох до чотирьох ступенів частоти.

5.1.3. Способи формування струму при ІДЗ плавким електродом

Формування струму при імпульсно-дуговому зварюванні плавким електродом може здійснюватись за рахунок імпульсних приставок з ємнісним нагромаджувачем енергії, тиристорних джерел, джерел із транзисторним комутатором.

Імпульсні приставки типу ИИП-2 містять конденсаторну батарею C , яка живить дугу паралельно з основним джерелом живлення ДЖ (рис. 5.3а).

Протягом одного з півперіодів мережі живлення батарея нагромаджує енергію від трансформатора T через діод VD . Протягом другого півперіоду схемою керування відкривається тиристор VS і батарея імпульсом розряджається на дугу. Форма імпульсу має вигляд згасаючої синусоїди або експоненти з частотою 50 Гц (рис. 5.3б). Енергія імпульсу встановлюється ступінчасто з допомогою зміни ємності конденсаторної батареї або напруги зарядного трансформатора.

Найбільш досконалими є приставки (генератори імпульсів) з тиристорним випрямним блоком типу ГИД або ГИ-ИДС, які живлять дугу паралельно з основним джерелом живлення. При цьому способі дуга живиться базовим струмом I_b від джерела постійного струму G , а імпульсами струму I_i від генератора імпульсів (рис. 5.4).

▶ Протягом одного півперіоду змінного струму імпульсний струм проходить по колу $T-VS1$ –дуга– $VD2-T$. Тиристор $VS1$ відкривається

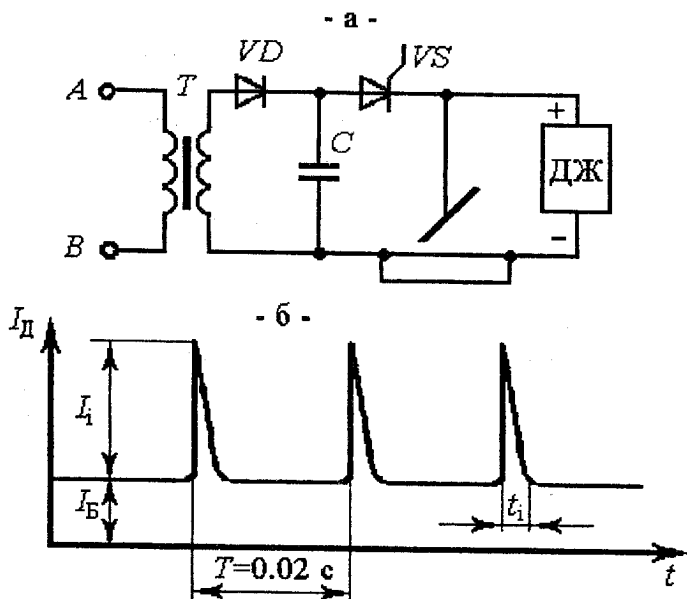


Рис. 5.3. Спрощена електрична схема (а) і осцилограма імпульсного струму (б) при використанні пристрою із сумісним нагромаджувачем енергії

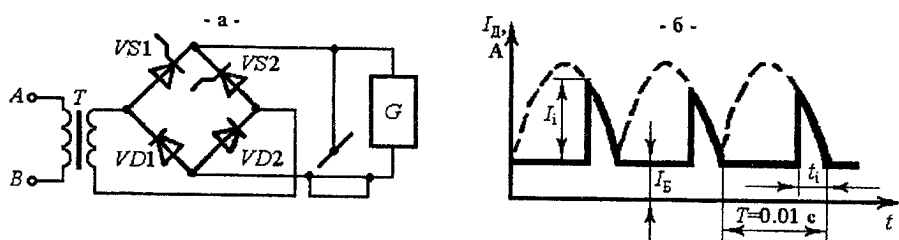


Рис. 5.4. Спрощена електрична схема (а) і осцилограма імпульсного струму (б) при використанні тиристорного блока

на спаді півхвилі, тому імпульс має форму відрізка синусоїди. При зменшенні кута керування тиристором амплітуда і тривалість імпульсу збільшуються. При вмиканні одного тиристора частота імпульсів становить 50 Гц, при черговому вмиканні двох тиристорів – 100 Гц (рис. 5.4б). Перевагою цього способу є можливість використання достатньо простого генератора імпульсів із джерелами постійного струму, що виробляються серійно. До недоліків можна віднести комутацію

базового струму, тобто його зниження після закінчення імпульсу до неприпустимо малого значення, що часто призводить до обриву дуги. Комутація пов'язана з тим, що під час накладання імпульсу напруга генератора перевищує напругу джерела живлення, і базовий струм I_B зменшується (рис. 5.5).

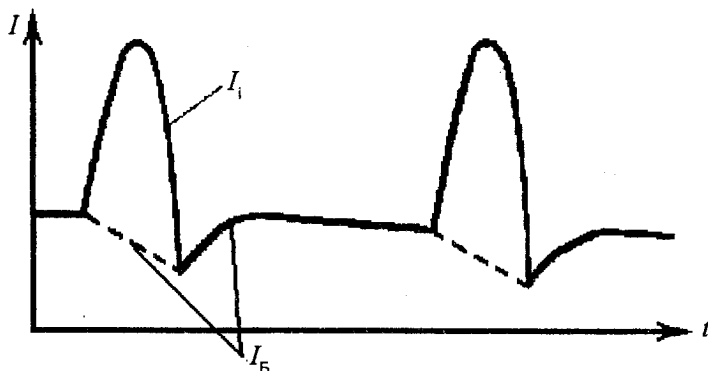


Рис. 5.5. Крива струму при зварюванні від паралельно з'єднаних джерел

Інший спосіб формування струму полягає в шунтуванні згладжувального дроселя (рис. 5.6).

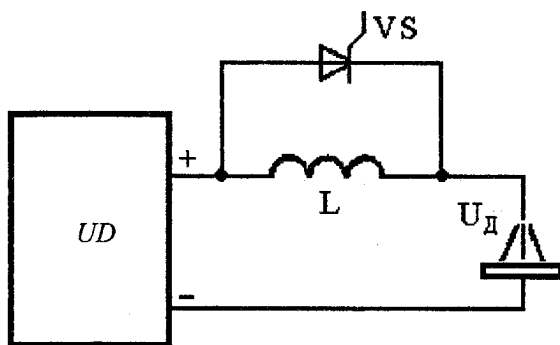


Рис. 5.6. Схема формування струму з допомогою тиристорного регулятора при ІДЗ плавким електродом

Силова частина джерела живлення містить у своєму складі тиристорний регулятор UD , згладжувальний дросель L і тиристор VS , що формує імпульси.

Тиристорний регулятор складається з однофазного зварювального трансформатора і двопівперіодного тиристорного випрямляча. Криву напруги U зображено на рис. 5.7 у вигляді штрихової лінії. Середнє значення напруги визначається кутом α_{VS} вмикання тиристорів регулятора.

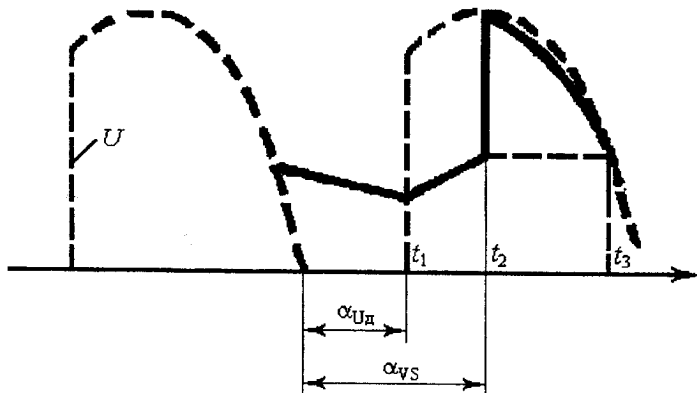


Рис. 5.7. Крива напруги, що сформована тиристорним регулятором

З моменту t_1 починається наростання зварювального струму, що згладжується дроселем L . У момент t_2 вмикається імпульсний тиристор VS і напруга U у вигляді імпульсу накладається на дугу. Через VS протікають два зустрічні струми: прямий струм імпульсу і зворотний струм, який запасено дроселем L . Поки прямий струм більший за зворотний, струм тиристора дорівнює їхній різниці, і VS відкритий. Зі зменшенням напруги U імпульс струму знижується. Поки тиристор відкритий, струм дроселя (базовий струм) за час імпульсу практично не встигає змінитися. У момент t_3 , коли імпульсний струм знижується до рівня базового струму, VS закривається, імпульс згасає і дуга живиться базовим струмом I_B за рахунок енергії, яку запасено дроселем. Таким чином, на ділянці t_1-t_2 I_B наростає, і одночасно дросель запасує енергію. В інтервалі t_2-t_3 I_B залишається незмінним, енергія L не витрачається. З моменту t_3 до моменту появи чергової ділянки синусоїдної напруги на виході тиристорного регулятора базовий струм знижується, і енергія дроселя віддається до зварювального кола. Таким чином, при зміні кута керування тиристора VS відбувається перерозподіл значень базової та імпульсної напруг (струмів) при незмінній напрузі дуги. Розглянений спосіб фор-

мування струму реалізований в імпульсних випрямлячах типу ВДГІ, що випускаються серійно. Він, зокрема, має такі переваги:

- відсутня комутація базового струму, тому що дросель під час імпульсу зашунтовано;
- значно знижені масо-габаритні показники, тому що джерело виготовлено в однокорпусному виконанні;
- є можливість стабілізації базової напруги і зміни нахилу базових ВАХ завдяки наявності тиристорного регулятора.

5.1.4. Джерела живлення для ІДЗ плавким електродом

Джерело живлення імпульсної дуги ІУП-1 являє собою джерело постійного струму з великим коефіцієнтом пульсації, містить тиристри у вторинній обмотці силового трансформатора для плавного регулювання напруги дуги (рис. 5.8а). Зміна напруги неробочого ходу та індуктивності зварювального кола – ступінчата.

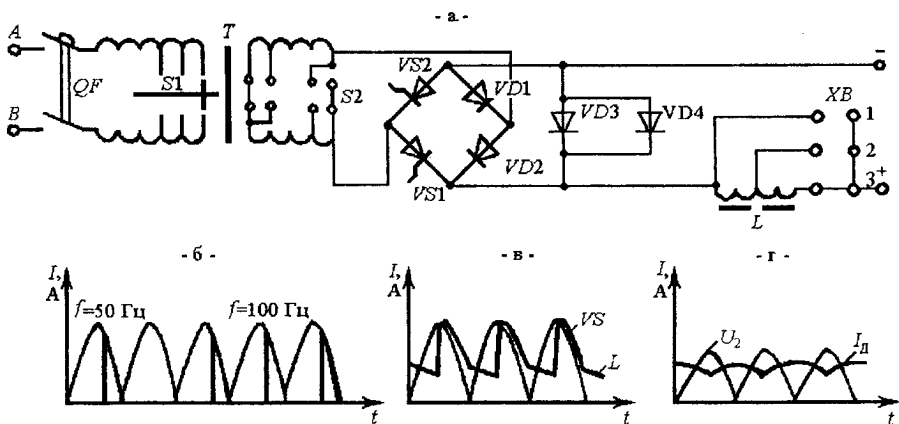


Рис. 5.8. Спрощена електрична схема силової частини ІУП-1 (а) і криві струму, при роботі ІУП-1 як імпульсного пристрою (б), імпульсного джерела (в), джерела постійного струму (г)

Джерело містить трансформатор T і діодно-тиристорний блок $VD1, VD2, VS1, VS2$. В колі випрямленого струму є згладжувальний дросель L і зворотні вентилі $VD3, VD4$. При зварюванні на струмах менше 350 А джерело працює в автономному режимі, оскільки забезпечує і базовий, й імпульсний струми. Для цього дросель вми-

кається перемикачем XB у положення 2. Протягом імпульсу при увімкненому тиристорі L запасається енергією, а під час паузи – повертає цю енергію дузі, підтримуючи базовий струм, який замикається через $VD3, VD4$ (рис. 5.8в). При зварюванні на струмах, вищих за 350 А, ИУП-1 використовується як імпульсна приставка, котра послідовно з'єднана із серійними джерелами живлення постійного струму. В такому випадку приставка не створює протиструму в колі основного джерела, тому після завершення імпульсу у кривій основного струму немає провалу, що підвищує стійкість процесу. Для створення імпульсу крутої форми індуктивність дроселя знижують до нуля шляхом перемикачання XB в положення 1. Імпульсний струм отримують при вмиканні $VS1$ і $VS2$ на спаді півхвилі змінної напруги (рис. 5.8б). Параметри імпульсів налагоджуються за рахунок фазового керування тиристорами, а також за рахунок виткового регулювання трансформатора за допомогою пакетного перемикача $S1$ і пластинчатого $S2$. Частота імпульсів при вмиканні одного тиристора становить 50 Гц, двох – 100 Гц. Джерело може використовуватись також і для неімпульсного зварювання. Для цього трансформатор повинен створювати малу амплітуду напруги, тиристори – вмикатися з невеликим кутом відкриття, а індуктивність дросельної котушки – мати максимальну величину для якісного згладжування струму (рис. 5.8г). ИУП-1 може використовуватися також і для зварювання пульсуючою дугою, генеруючи імпульси групами тривалістю 0,04–1 с, з розривами між групами по 0,04–1 с.

Випрямляч типу ВДГИ-301УЗ використовується для комплектації зварювальним напівавтоматом ПДИ-303УЗ. Спрощену принципову електричну схему такого випрямляча подано на рис. 5.9.

Первинна і вторинна обмотки силового трансформатора T секціоновані. Протягом півперіоду напруги мережі живлення при увімкнених тиристорах $VS1$ або $VS2$ струм через вентиль $VD1$ та індуктивність L подається на зварювальну дугу, тобто джерело працює в базовому режимі. Протягом другого півперіоду базовий струм проходить по колу $T-VD2-L$ -дуга- T . При імпульсному режимі $VS5$ ($VS6$) вмикаються із запізненням відносно моменту вимикання $VS1$ ($VS4$), а кут їх відкриття визначає амплітуду і тривалість імпульсу. Якщо з $VS5$ ($VS6$) вмикається $VS2$ ($VS3$) із одночасним вимиканням $VS1$ ($VS4$), то створюються імпульси крутої форми з великою амплітудою. Коли $VS2$ ($VS3$) не увімкнені, працюють $VS1$ ($VS4$), випрям-

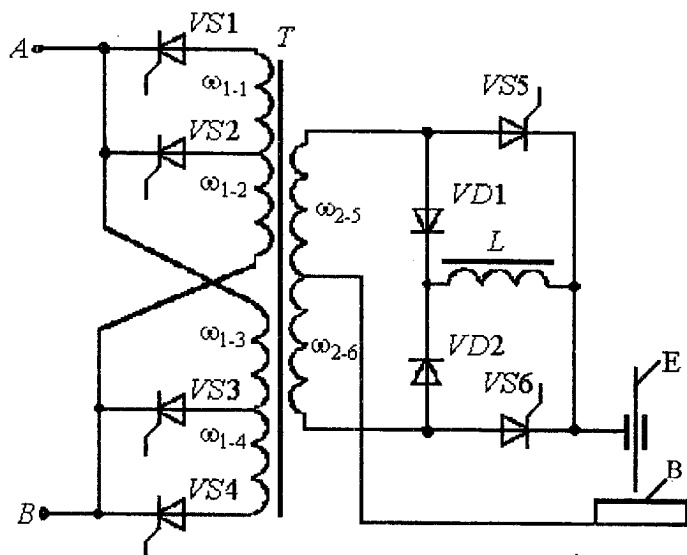


Рис. 5.9. Спрощена електрична схема силової частини джерела ВДГИ-301

ляч формує пологі імпульси з малою амплітудою. При роботі джерела в базовому режимі у схемі керування передбачено можливість нахилу зовнішніх характеристик. Крутоспадні ВАХ можна отримати при зварюванні на малих струмах з метою запобігання обривів дуги, жорсткі ВАХ – при зварюванні на великих струмах з метою саморегулювання дуги.

Більш досконалою є конструкція випрямляча типу ВДГИ-302УЗ (рис. 5.10).

Напряга вторинної обмотки силового трансформатора T з нормальним магнітним розсіянням випрямляється блоком вентилів $VD1$, $VD2$, $VS1$ - $VS6$ з двома дроселями $L1$, $L2$. Базовий струм створюється $VS3$, $VS4$ і згладжувальним дроселем $L1$. Фазове керування тиристорами використовується для налагодження середнього значення базового струму. Однак при глибокому керуванні у кривій базового струму з'являються провали. Тому для отримання невеликого, але добре згладженого струму в схемі передбачене коло підживлення у складі оптотиристорів $VS5$, $VS6$ і дроселя $L2$ з великою індуктивністю. Оптотиристри забезпечують також незалежність роботи кіл керування від дії височастотних перешкод зварювального кола.

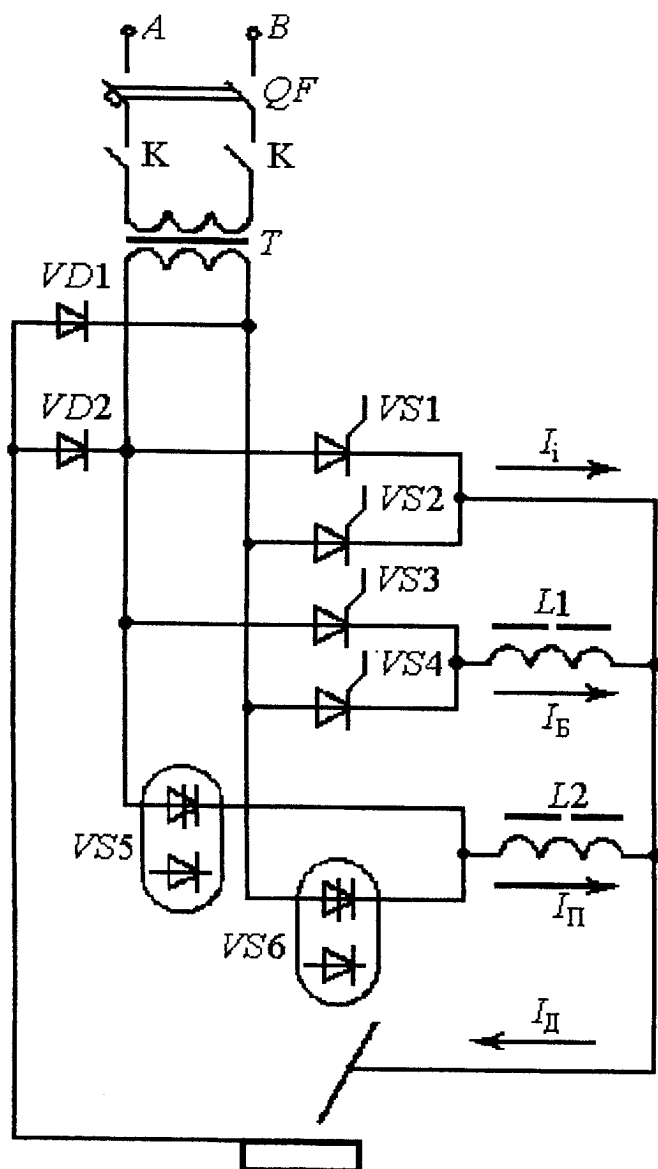


Рис. 5.10. Спрощена електрична схема силової частини джерела ВДГИ-302

VS1 і VS2 застосовуються для генерування пікових імпульсів, амплітуда і тривалість яких визначається кутом відкриття, а частота 50 або 100 Гц – використанням одного або двох тиристорів. ВДГИ-302 може працювати як у режимі базового струму, так і імпульсного. Частіше використовується спільний режим, при якому зварювальний струм визначається сумою імпульсного і базового струмів, а також струму підживлення. Технічні характеристики тиристорних джерел для ІДЗ плавким електродом наведено в табл. 5.1.

Зовнішні характеристики випрямляча наведені на рис. 5.11.

ВАХ імпульсного струму 1 має невеликий нахил, що необхідно для отримання крутого фронту в імпульсів струму. Характеристика базового струму 2 сформована завдяки введенню зворотних зв'язків за струмом і за напругою в систему керування тиристорів VS3, VS4 та її нахил автоматично знижується зі зростанням струму. При крутому нахилі на малих струмах підвищується еластичність дуги, при пологому нахилі на великих струмах здійснюється саморегулювання дуги. Для поліпшення запалювання дуги створюється характеристика запалювання 3, яка забезпечує постійний рівень напруги при будь-яких струмах. Характеристика відсічки 4 обмежує максимальну величину зварювального струму, а підживлення 5 гарантує мінімум струму.

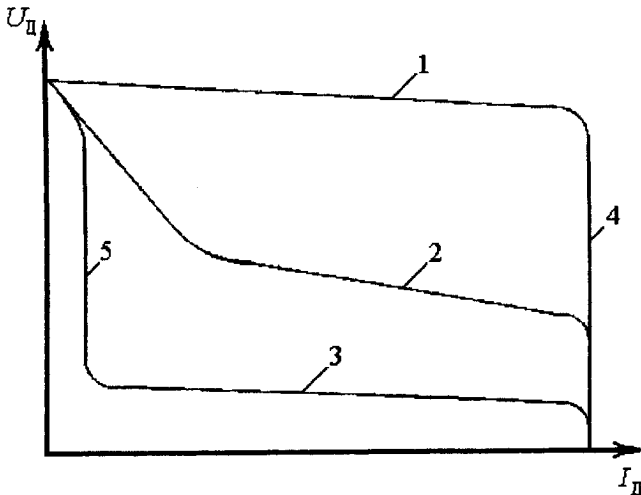


Рис. 5.11. Зовнішні характеристики тиристорного випрямляча

Останнім часом застосовуються розробки транзисторних імпульсних джерел, в яких силовий транзистор керує зварювальним струмом і забезпечує необхідний струм протягом імпульсу і паузи. На рис. 5.12 подано схему джерела такого типу, яке складається із силового трансформатора T і випрямного блока $VD1$.

Для створення імпульсного режиму передбачено комутатор, який складається із силового транзистора VT , дроселя L і зворотного діода $VD2$.

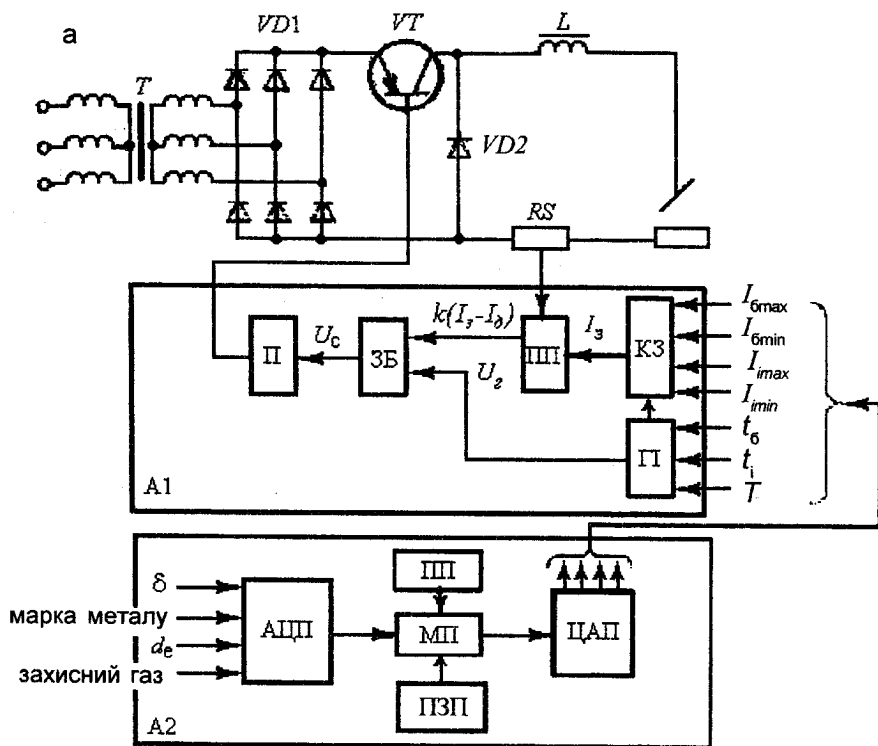


Рис. 5.12. Схема силової частини з транзисторним комутатором

Система керування $A1$ складається з комутатора $K3$, з допомогою якого послідовно вводяться значення заданого струму I_3 , базового – I_{bmin} та I_{bmax} , імпульсного струму – I_{imin} та I_{imax} . У пристрої порівняння $ПП$ задана величина порівнюється з фактичним струмом I_D , що знімається з датчика струму RS . У схему збігання $3Б$ поряд із різни-

цевим сигналом $K(I_3 - I_D)$ подаються також сигнали U_r від генератора імпульсів ПІ, параметри яких: t_6 – тривалість базового струму, t_i – тривалість імпульсів і T – період проходження імпульсів встановлюються зазделегідь. При збіганні в часі позитивного сигналу $k(I_3 - I_D)$ та імпульсу U_r на виході схеми ЗБ виникають імпульси U_c , які через підсилювач П подаються на базу VT. Силовий транзистор працює в режимі ключа, і при надходженні на його базу сигналу від системи керування у момент t_0 на дугу подається базовий струм I_6 , швидкість наростання якого залежить від індуктивності дросельної котушки L (рис. 5.13).

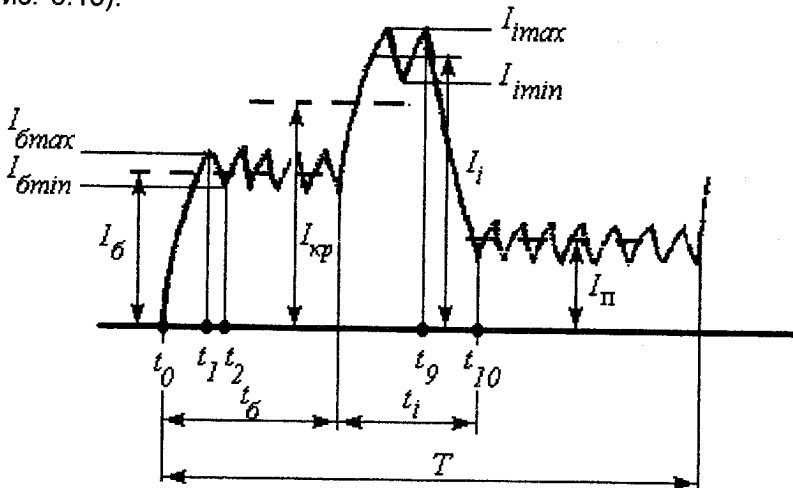


Рис. 5.13. Осцилограма і параметри імпульсного струму

До моменту t_1 I_6 досягає максимальної величини I_{6max} , різницевий сигнал змінює полярність, напруга U_c зникає, і VT вимикається. Зварювальний струм при цьому продовжує протікати через VD2 за рахунок електромагнітної енергії, нагромадженої дроселем у проміжку $t_0 - t_1$.

Зниження струму до значення I_{6min} буде продовжуватись до моменту t_2 , після чого VT увімкнеться знову. Такий процес буде повторюватись протягом усього інтервалу t_6 базового струму. Середнє значення I_6 може бути достатнім для плавлення електродного дроту і нижчим за критичний струм $I_{кр}$. У момент часу, що перевищує t_6 , струм навантаження буде підтримуватись уже на рівні імпульсного I_p з тривалістю імпульсу t_i , яка гарантує скидання краплі на спаді

кривої струму в інтервалі t_9-t_{10} і перенесення її без розбризкувань. При транзисторному регулюванні можна отримувати і струм паузи $I_{\text{п}}$ (нижчий рівень струму) для підтримання стійкого горіння дуги. Тривалість інтервалу проходження імпульсів T і їх частота $f=1/T$ регулюються плавно і в широкому діапазоні. Реальність процесу "один імпульс на краплю" можлива тільки при точному настроюванні всіх наведених вищеперерахованих параметрів, що при частій зміні режиму являє значну складність. Тому раціонально проводити керування процесом з допомогою математичної моделі, так зване "синергетичне", тобто одночасне керування декількома параметрами. Для цього в систему керування вводиться мікропроцесорний пристрій А2 (рис. 5.12). Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) перетворює аналогову форму подання початкових даних у вигляді товщини і марки металу, що зварюється, діаметру електродного дроту і т. д. в дискретну форму, і передає їх до мікропроцесора МП для обробки. Рівняння моделей, які зберігаються в пристрої ПЗП, будуть використовуватись МП для розрахунку оптимальних величин параметрів режиму ІДЗ плавким електродом. Ці величини за допомогою цифро-аналогового перетворювача ЦАП набувають вигляду рівнів напруг і використовуються як задані значення в системі керування транзисторного джерела. Програмний пристрій ПП може забезпечувати різке наростання струму на початку зварювання для надійного запалювання дуги і плавне зниження його в кінці зварювання з метою заварювання кратера. Транзисторні джерела забезпечують можливості широкого регулювання параметрів як в базовому, так і в імпульсному режимах, але мають обмежену потужність.

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблено імпульсне джерело живлення И-169, параметри якого плавно регулюються за рахунок керованої примусової комутації тиристорів. У ньому здійснюється програмування форми імпульсу струму, зображеного на рис. 5.14, з якого видно, що імпульс струму можна розділити на дві частини.

Першу (від t_1 до t_2) – з більш низьким значенням струму $I_{\text{п1}}$ – призначено для розплавлення на торці електрода краплі рідкого металу. Змінюючи час від t_1 до t_2 і значення струму $I_{\text{п1}}$, можна регулювати розмір цієї краплі і ступінь її нагріву. Другу частину імпульсу (від t_2 до t_3) – з більшим значенням струму $I_{\text{п2}}$ – призначено для скидання цієї розплавленої краплі з торця електрода. Регулюючи для різних матеріалів і діаметрів електродного дроту значення струмів $I_{\text{п1}}$, $I_{\text{п2}}$ і

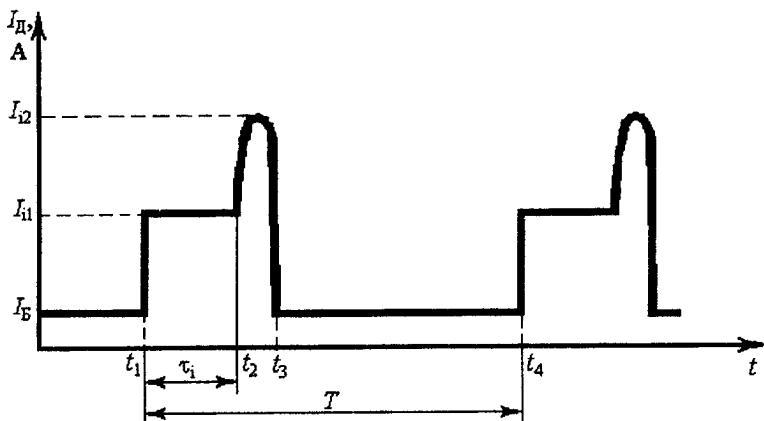


Рис. 5.14. Осцилограма і параметри імпульсного струму джерела И-169

час їх протікання, можна досягти оптимального керування перенесення електродного металу, коли за один імпульс відривається одна крапля необхідного діаметру. Між імпульсами від t_3 до t_4 протікає базовий струм I_B , значення якого знаходиться в межах 50...100 А. Цей струм повинен підтримувати стабільне горіння дуги між імпульсами. Роботу спрощеної електричної схеми джерела подано на рис. 5.15.

Живлення силової частини схеми здійснюється від двох трифазних випрямних пристроїв: з напругою U_1 для живлення кіл імпульсного струму і U_2 для живлення кіл базового струму. При відкриванні тиристора VS3 в момент часу t , за сигналом таймера напруга формування імпульсу струму U_1 підводиться до відпайки 2 дроселя L . Відбувається швидке наростання струму в колі частини дроселя і навантаження до рівня, який визначається з виразу:

$$L_1 = I_B \frac{W_L}{W_{L2-4}}$$

де I_B – базовий струм; W_L , W_{L2-4} – кількість витків усієї обмотки дроселя (1–4) та її частини між відпайками 2–4 відповідно.

Після наростання струму до значення I при t_1 його стрімке зростання припиняється. Подальше збільшення струму відбувається під дією напруги U_1 , і обмежене індуктивністю частини дроселя між відпайками 2–4 і навантаженням.

► По закінченні часу t_1 відкривається пара тиристорів VS1, VS5 або VS2, VS4 (залежно від полярності заряду конденсатора С)

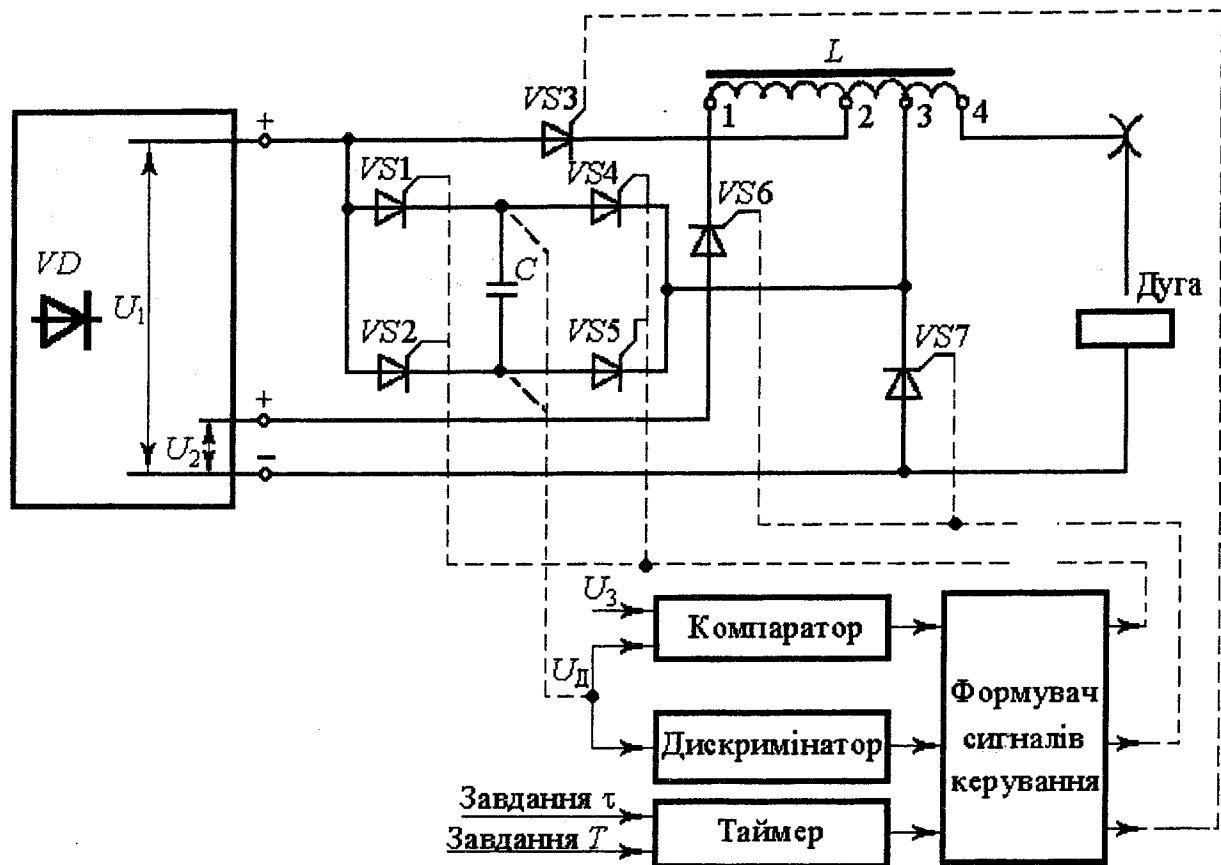


Рис. 5.15. Спрощена електрична схема джерела И-169

і тиристор VS3 примусово вимикається. При цьому через навантаження протікає струм перезаряду конденсатора С, попередньо зарядженого до зазделегідь обраного регульованого рівня напруги. Перезаряд конденсатора має коливальний характер. Амплітуда його при інших рівних умовах залежить від напруги заряду конденсатора С, а період, який визначається в основному значеннями індуктивності дроселя і ємності конденсатора, залишається практично постійним. Період обирається з розрахунку забезпечення гарантованого скидання розплавленої на торці електрода краплі рідкого металу в діапазоні амплітуд струму 450...800 А. Перезарядження конденсатора С триває до тих пір, поки напруга на ньому U_c не стане рівною напрузі завдання U_3 . Після цього відкриваються тиристри VS6 і VS7, заряд конденсатора зупиняється, а від випрямляча з напругою U_2 через дросель і навантаження протікає базовий струм I_b . Наступний силовий імпульс струму формується через час T за сигналом таймера на відкривання тиристора VS3. Період проходження імпульсів регулюється плавно із завданням часу T роботи таймера. Таким чином, в імпульсному джерелі живлення И-169 здійснюється плавне незалежне регулювання частоти проходження імпульсів струму в межах 30...300 Гц, тривалості – $1,5 \cdot 10^{-3}$... $5 \cdot 10^{-3}$ с і амплітуди – 450...800 А. При цьому забезпечується плавне регулювання середнього значення струму в межах 50...315 А і напруги на дузі – 16...40 В.

Порівняно з існуючими імпульсними джерелами живлення И-169 має такі нові можливості:

- плавне регулювання частоти проходження, тривалості, амплітуди і форми імпульсів струму, що дозволяє програмувати процеси розплавлення електрода і перенесення крапель електродного металу з оптимальними значеннями їхньої маси і температури. Все це приводить до покращення складу і якості металу шва зварного з'єднання;

- плавне і рівномірне регулювання середніх значень зварювального струму і напруги на дузі, що дає можливість легше і точніше задавати і підтримувати необхідні оптимальні режими зварювання;

- дистанційне керування роботою і параметрами джерела з допомогою стандартного сигналу, що дозволяє використовувати його в системах програмного керування процесом зварювання конструкцій;

- більш широкий діапазон регулювання параметрів режимів;

- просте поєднання системи керування джерела і роботизованих комплексів, а також просте використання його в комплексах із "синергетичним" керуванням.

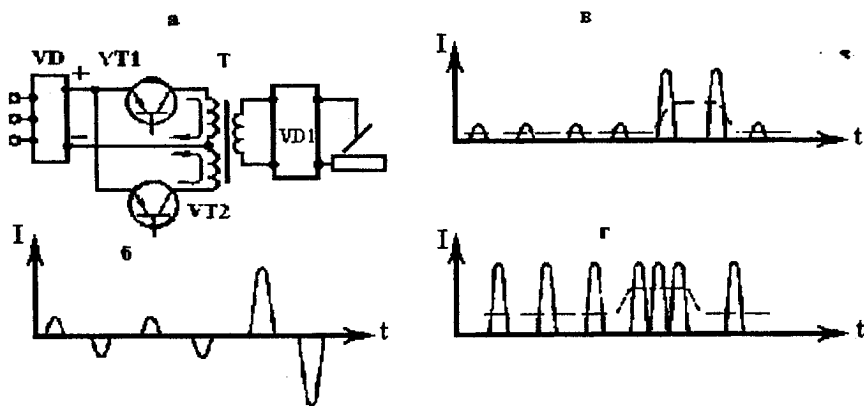


Рис. 5.16. Інверторне імпульсне джерело:
 а – спрощена схема, б – імпульсний змінний струм,
 в – амплітудна модуляція струму, г – частотна модуляція струму

Такий спосіб імпульсного дугового зварювання плавким електродом може широко застосовуватись для зварювання виробів зі сплавів алюмінію, титану, міді, низьковуглецевих, легованих сталей і сталей підвищеної міцності в аргоні, гелії та їх сумішах.

Високочастотні імпульсні джерела (рис. 5.16) створюються на базі інверторних джерел. Високочастотний змінний струм створюється за рахунок почергового вмикання транзисторів $VT1$ і $VT2$. При цьому на дугу може подаватись як змінний струм від трансформатора T (рис. 5.16б), так і незгладжений випрямлений з блока $VD1$ (рис. 5.16в і г). Пульсуючий струм може бути отриманий також із постійного за допомогою високочастотного напівпровідникового комутатора.

5.2. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ НЕПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ В ІНЕРТНИХ ГАЗАХ

5.2.1. Основні вимоги до джерел живлення

Джерела живлення для зварювання неплавким електродом призначені для ручного дугового або автоматичного зварювання в інертних газах виробів з високоміцних, корозійно-стійких і жароміцних сталей, кольорових, легких і титанових сплавів невеликої товщини як

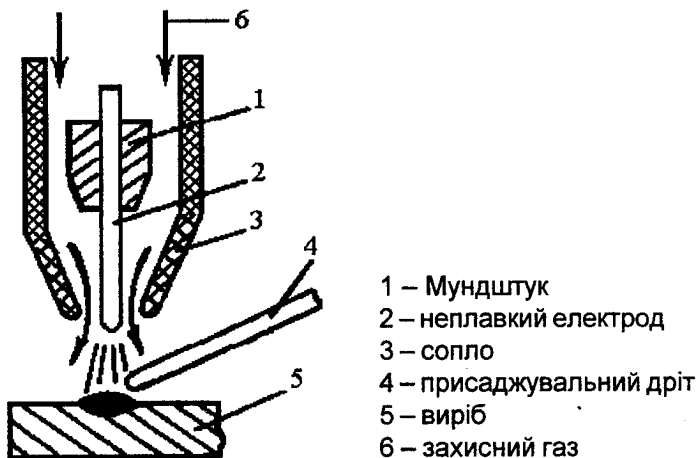


Рис. 5.17. Схема зварювання неплавким електродом в інертних газах

на постійному, так і на змінному струмі в безперервному й імпульсному режимах. Широко застосовуються джерела для аргонно-дугового зварювання вільною (нестиснутою) дугою неплавким вольфрамовим електродом, нерухомо закріпленим у зварювальному пальнику (рис. 5.17).

Інертний газ аргон захищає зону зварювання і електрод від впливу повітря. Характерною рисою таких джерел є створення крутоспадної зовнішньої характеристики, за рахунок чого забезпечується стабільність струму при коливаннях довжини дуги і стійкість процесу зварювання. Це пов'язано з тим, що глибина проплавлення при зварюванні неплавким електродом дуже чутлива до коливань струму. Ступінь стабілізації залежить від товщини зварювального матеріалу. При зварюванні металів середніх товщин (2–5 мм) достатньо підтримувати зварювальний струм з точністю до 5 %, при зварюванні дуже тонких матеріалів – до 2 %. Створення крутоспадної ВАХ досягається за рахунок більшого індуктивного опору джерела або зворотного зв'язку за струмом.

Джерелом живлення для зварювання неплавким електродом в основному є випрямляч, який складається з трифазного понижуючого трансформатора і силового випрямного блока на керованих або некерованих вентилях з широким діапазоном регулювання струму.

Широкий діапазон регулювання викликаний необхідністю зниження струму дуги в кінці зварювання для заварювання кратера. З цієї причини не використовуються джерела зі ступінчастим або механічним регулюванням струму. При плавноступінчастому регулюванні діапазони повинні перекриватись так, щоб забезпечувати необхідне для заварювання кратера зниження струму в одному діапазоні. Крім цього, джерела зварювального струму цілого ряду установок повинні забезпечувати плавне наростання струму на початку зварювання, що дозволяє уникнути руйнування вольфрамового електрода і перенесення його у шов через різкі стрибки струму при холодному електроді.

Джерела живлення повинні забезпечувати режими зварювання пульсуючою дугою, які широко застосовуються в технології зварювання неплавким електродом. Час імпульсу і паузи повинні змінюватися від 0,01 до 1–3 с, глибина модуляції – до 10–12 разів. Характер модуляції (імпульсний уніполярний, імпульсний різнополярний, високочастотний) залежить від марки і товщини зварюваного матеріалу.

Початкове запалювання дуги має виконуватися безконтактним способом з допомогою осцилятора або збуджувача, оскільки при контактному способі запалювання спостерігаються забруднення шва вольфрамом і підвищене руйнування електрода.

Джерела живлення постійного струму застосовуються для аргоно-дугового зварювання усіх перелічених матеріалів, за винятком алюмінієвих сплавів (рис. 5.18).

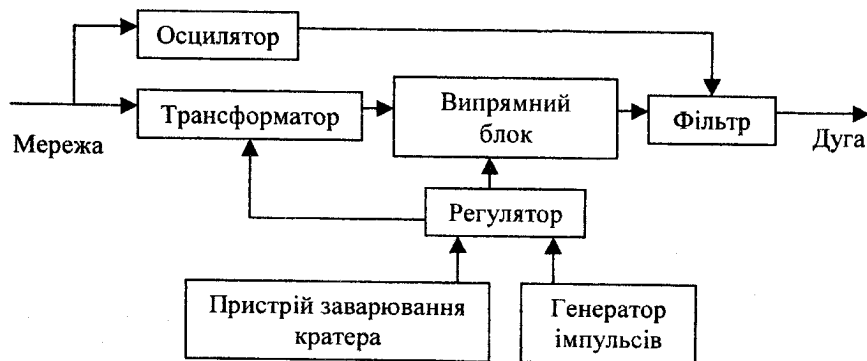


Рис. 5.18. Функціональна схема джерела постійного струму

Зварювання ведеться дугою прямої полярності, оскільки більша частина тепла дуги, розподіляючись на зварюваний виріб (анод), дозволяє збільшити струмове навантаження на електроді і, відповідно, збільшити продуктивність процесу. Як джерела живлення постійного струму, за винятком спеціальних джерел, можуть застосовуватися зварювальні випрямлячі з крутоспадною зовнішньою характеристикою типу ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-601. Також можуть застосовуватися і багатопостові випрямлячі з постовими регуляторами струму. Використання таких випрямлячів доцільне там, де зосереджено велику кількість зварювальних постів.

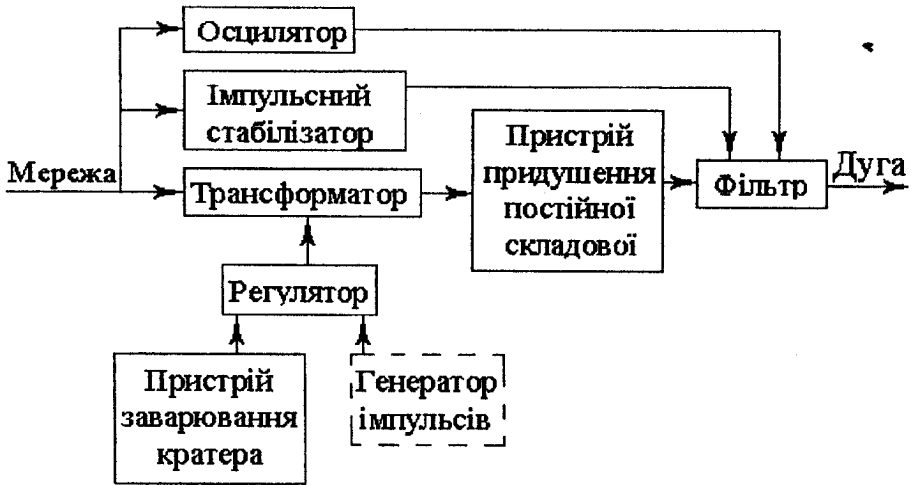
Джерела живлення змінного струму використовують при зварюванні алюмінієвих сплавів (рис. 5.19а).

При горінні дуги змінного струму необхідно враховувати різницю у фізичних властивостях тугоплавкого вольфрамового електрода і легкоплавкого основного металу-алюмінію. Протягом півперіоду прямої полярності, коли катодом є нагрітий вольфрамовий електрод, потужна термоелектронна емісія забезпечує значний струм $I_{\text{пр}}$ та інтенсивне плавлення основного металу (рис. 5.19б). Напруга запалювання приблизно дорівнює напрузі дуги $U_{\text{пр}}$ і при короткій дузі в аргоні може становити 10 В. У півперіоді зворотної полярності для запалювання дуги потрібна висока напруга, яка сягає 200 В, оскільки термоелектронна емісія з холодного алюмінієвого катода незначна.

Напруга горіння дуги зворотної полярності $U_{\text{звор}}$ вища від $U_{\text{пр}}$ і складає більше 20 В, а величина струму зворотної полярності нижча за $I_{\text{пр}}$ на 20–50 %. Однак в півперіоді цієї полярності йде процес руйнування оксидної плівки алюмінію завдяки бомбардуванню виробу позитивними іонами, що значно покращує процес зварювання. Для надійного повторного запалювання дуги при переході до півперіоду зворотної полярності необхідно надіслати імпульс, який перевищує напругу $U_{\text{звор}}$ в 2–3 рази. Це досягається застосуванням імпульсного стабілізатора горіння дуги (ІСГД), який складається із силової частини і електронної схеми керування.

У зв'язку з великою різницею напруг горіння дуг прямої і зворотної полярності виникає постійна складова струму дуги. Оскільки $I_{\text{пр}}$ більший від $I_{\text{звор}}$, криву зварювального струму можна подати як суму симетричного змінного струму і постійної складової $I_{\text{пост}}$ (рис. 5.19б). Постійна складова негативно відображається на роботі трансформатора, підмагнічуючи осердя магнітопроводу, викликаючи його перегрів і сильну вібрацію. Стимування або зменшення сталої

- а -



- б -

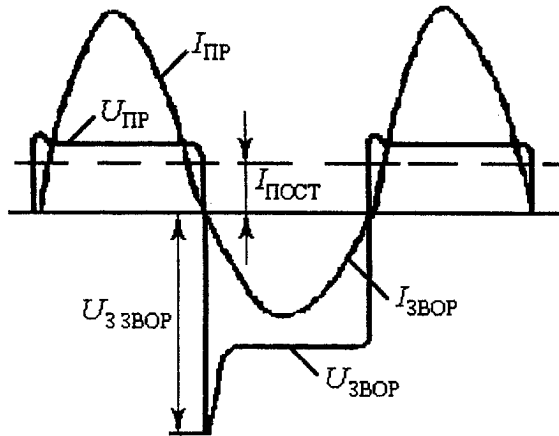


Рис. 5.19. Функціональна схема (а), осцилограма струму і напруги (б) джерела змінного струму

складової здійснюється спеціальними пристроями, спрощені схеми яких наведено на рис. 5.20.

Найпростіший пристрій складається з діода VD і резистора R , в якому струм зворотної полярності проходить через VD , а струм прямої полярності йде через R і тому знижується. Такий пристрій застосовується у джерелах малої потужності через великі втрати на резисторі (рис. 5.20а).

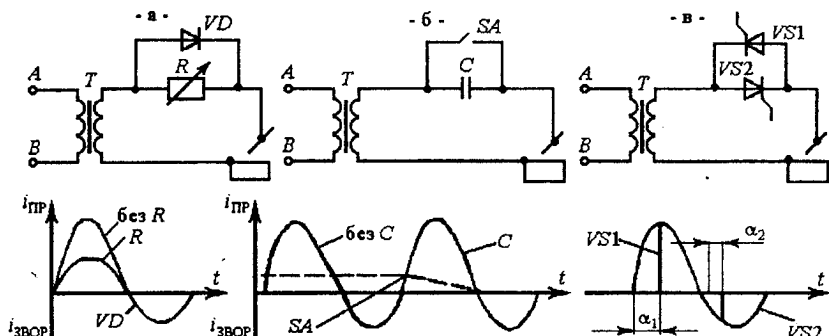


Рис. 5.20. Схеми придушення постійної складової струму з допомогою резистора (а), конденсатора (б) тиристорного комутатора (в)

Повна компенсація при зварюванні на будь-яких режимах досягається за рахунок використання конденсаторної батареї. Для покращення початкового запалювання дуги у схемі передбачений ключ SA , який шунтує коло батареї C . Після запалювання дуги і розмикання SA у півперіоди прямої полярності C заряджається, а при зворотній полярності – розряджається, підживлюючи тим самим дугу і ліквідує постійну складову (рис. 5.20б). Недоліком такого способу є наявність у пристрої громіздкої батареї спеціальних конденсаторів.

Найчастіше для придушення постійної складової струму застосовується комутатор, який складається із двох зустрічно-паралельно увімкнених тиристорів $VS1$ і $VS2$, що працюють із різними кутами керування (рис. 5.20в). У півперіоди прямої полярності кут відкриття " α_1 " $VS1$ повинен бути більшим за " α_2 " тиристора $VS2$.

Імпульсні джерела живлення призначені для зварювання пульсуючою дугою виробів малої товщини. При зварюванні пульсуючою дугою неплавким електродом імпульси струму дозволяють керувати формуванням зварного шва, у той час як при імпульсно-дуговому зварюванні плавким електродом вони призначені для керування перенесенням електродного металу.

Імпульсна подача енергії сприяє якісному формуванню шва при зварюванні тонколистових з'єднань, при накладанні вертикальних і стельових швів, де дозований вклад енергії запобігає стіканню розплавленого металу. За час імпульсу утворюється зварювальна ванна невеликих розмірів, метал якої за час паузи встигає закристалізуватись (рис. 5.21а). Параметри імпульсу – струм I_I час t_I – повинні обиратись так, щоб забезпечити проплавлення виробу, а час паузи t_{II} – гарантувати перекриття ванночок з метою отримання суцільного шва (рис. 5.21б).

Керування параметрами імпульсу і паузи можна виконувати з допомогою спеціальних пристроїв – генераторів імпульсів, в яких час і струм імпульсу або паузи повинні налаштуватися плавно і незалежно. Струм паузи I_{II} необхідний для підтримування міжелектродного проміжку в іонізованому стані і може сягати до 15 А, що дозволяє підвищити стійкість горіння пульсуючої дуги.

Для зварювання алюмінієвих сплавів може застосовуватись також джерело різнополярних імпульсів (рис. 5.22а). Воно має два силових блоки (канали), кожний з яких складається з понижуючого трансформатора і випрямного пристрою, причому один канал призначений для живлення дуги прямої полярності, а другий – зворотної полярності.

З допомогою електронного комутатора блоки по чергову живлять дугу, генеруючи імпульси прямокутної форми прямої і зворотної

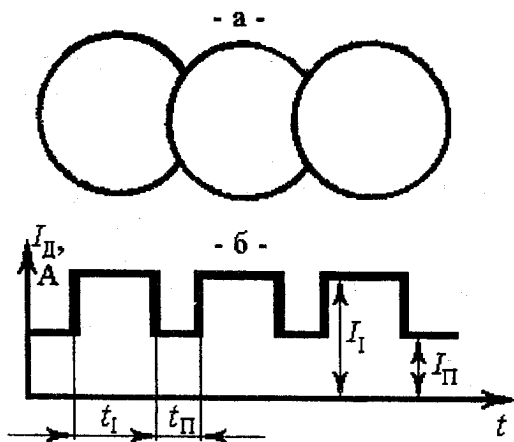


Рис. 5.21. Зварювання пульсуючою дугою. Формування шва (а), пульсуючий уніполярний струм (б)

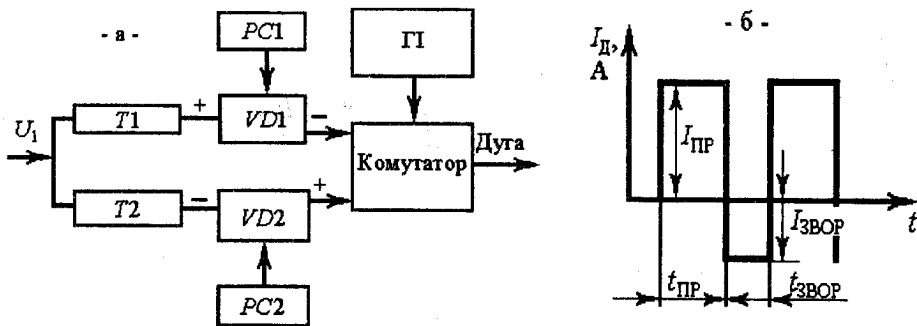


Рис. 5.22. Функціональна схема (а) і осцилограма струму (б) джерела різнополярних імпульсів

полярності (рис. 5.22б). Керування тривалістю імпульсів $t_{\text{пр}}$ і $t_{\text{звор}}$ виконується генератором імпульсів П, який подає команди на перемикання комутатора. Величина $t_{\text{пр}}$ може змінюватись від 0,001 до 0,1 с, а $t_{\text{звор}}$ – від 0,001 до 0,01 с. Струм прямої і зворотної полярності регулюється плавно і незалежно в кожному з каналів за допомогою регуляторів PC1 і PC2. Величина $I_{\text{пр}}$ налагоджується залежно від товщини зварного виробу і діаметра електрода, а $I_{\text{звор}}$ встановлюється достатнім для руйнування оксидної плівки.

5.2.2. Пристрої для збудження, стабілізації дуги та придушення постійної складової струму

Для початкового збудження дуги без короткого замикання електрода широко застосовуються осцилятори і збуджувачі. Це високовольтні, високочастотні апарати, здатні створювати іскровий розряд між електродом і виробом. Пробій міжелектродного проміжку призводить до його іонізації, завдяки чому від основного джерела живлення запалюється дуга. Серійні осцилятори і збуджувачі виготовляють на напругу 2–20 кВ, струм розряду 1–10 А, частоту розряду до 1000 кГц. При такій частоті висока напруга безпечна для зварювальника, оскільки високочастотний струм протікає по поверхні тіла, викликаючи при цьому тільки опіки.

Підпалюючі пристрої безперервної (іскрові осцилятори) й імпульсної дії (збуджувачі) з основним джерелом можуть вмикатися паралельно або послідовно.

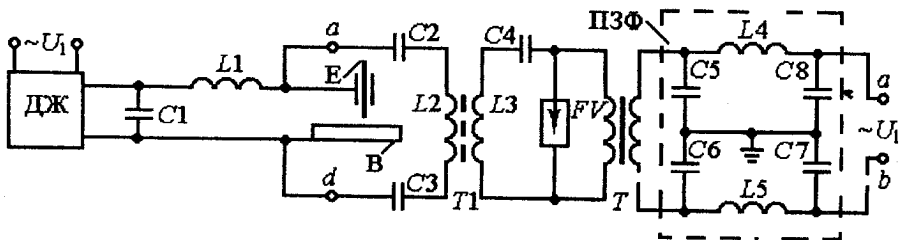


Рис. 5.23. Принципова електрична схема осцилятора паралельної дії

Іскрові зварювальні осцилятори із джерелами живлення постійного струму застосовують для початкового збудження дуги. Із джерелами змінного струму їх застосовують як для початкового збудження дуги, так і для збудження дуги при зміні полярності, тобто після переходу струму через нуль. Принципова електрична схема осцилятора паралельного вмикання типу ОСПЗ-2М наведена на рис. 5.23.

Підвищуючий трансформатор T створює напругу 3–6 кВ, яка через вторинну обмотку T підводиться до розрядника FV , що входить до коливального контуру $C4-L3-FV$. При наростанні напруги на вторинній обмотці T конденсатор $C4$ заряджається і в його електричному полі нагромаджується енергія $C4 \cdot U^2/2$. При досягненні визначеної величини напруги відбувається пробій повітряного проміжку розрядника і $C4$ розряджається на індуктивність $L3$, яка є первинною обмоткою імпульсного трансформатора $T1$. У коливальному контурі виникає струм I . Енергія $C4 \cdot U^2/2$ перетворюється в енергію магнітного поля індуктивності $L3 \cdot I^2/2$, і в коливальному контурі створюється знакозмінний згасаючий за амплітудою коливальний процес з кутовою частотою, що залежить від параметрів $C4$ і $L3$. Високовольтна напруга підвищеної частоти передається на вторинну обмотку $T1$, котушка якої $L2$ здійснює введення цієї напруги на дуговий проміжок. Захистом джерел від такої напруги є Γ -подібний фільтр, який складається з індуктивності $L1$ (великогабаритного дроселя) і ємності $C1$. Якщо трансформатор джерела живлення має розвинене магнітне розсіяння, то необхідність у його захисті відпадає. Блокувальні конденсатори $C2$, $C3$ затримують низькочастотну складову зварювального струму основного джерела, захищають вторинну обмотку імпульсного трансформатора $T1$ і створюють умови безпечної роботи зварювальника. Перешкодо-захисний фільтр ПЗФ призначений для захисту мережі живлення від високочастотних коливань, оскільки

осцилятор створює значні перешкоди радіоприйому, і тому його безперервна робота допускається не довше ніж 1 с.

Для надійного запалювання дуги осцилятор генерує згасаючі імпульси тривалістю близько 2 мкс по 10–15 імпульсів за півперіод. Амплітуда напруги імпульсу може сягати 6 кВ. Осцилятори паралельного вмикання застосовують в основному із джерелами живлення постійного струму.

В осциляторах послідовної дії типу ОСППЗ-300М зварювальний струм проходить через котушки індуктивності $L1$ коливального контуру $C2-L1-FV$, внаслідок чого різко зростає переріз котушки $L1$. Захист джерела живлення від дії високовольтної високочастотної напруги здійснюється конденсатором $C1$, який має малий опір для високих частот (рис. 5.24).

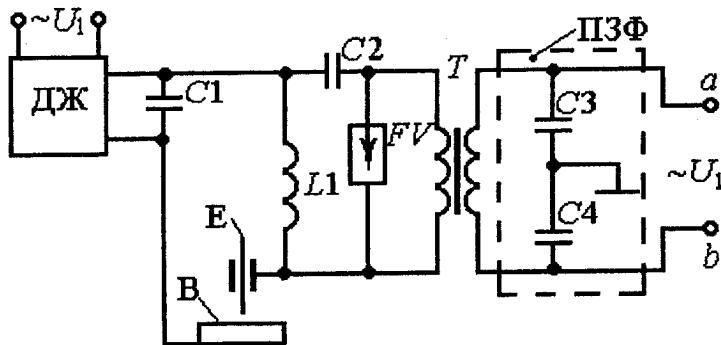


Рис. 5.24. Принципова електрична схема осцилятора послідовної дії

Осцилятори послідовної дії простіші й компактніші, ніж пристрої паралельного вмикання, і застосовуються в основному на струми, не більші 400 А. В них відсутній великогабаритний захисний дросель, зменшуються втрати вихідної напруги на елементах зварювального кола, знижується рівень радіоперешкод.

Основними недоліками іскрових зварювальних осциляторів є:

- спрацьовування електродів розрядника, необхідність їх старанного регулювання в процесі експлуатації;

- наявність цілої серії високовольтних високочастотних імпульсів, які видаються осцилятором у кожному півперіоді напруги промислової частоти, що збільшує небезпеку пробою ізоляції джерела живлення і створює значні перешкоди радіоприйому;

– вплив параметрів розрядника (стану поверхні зношених контактів, величини робочого проміжку, температури контактів та ін.) на величину його пробивної напруги;

– обмежений діапазон зварювальних струмів, що застосовуються в осциляторах послідовного вмикання.

Останній недолік можна усунути за рахунок застосування осцилятора із спеціальним вихідним трансформатором (рис. 5.25).

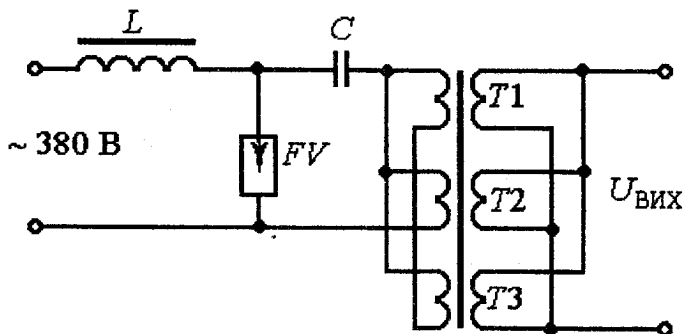


Рис. 5.25. Електрична схема застосування осцилятора із трансформатором

Такий трансформатор складається з декількох однакових імпульсних трансформаторів T_1 , T_2 , T_3 , вторинні обмотки яких з'єднано між собою паралельно. Первинні обмотки трансформаторів, на які розряджається нагромаджувальний конденсатор C , можуть бути з'єднані паралельно або послідовно. Тоді допустиме значення зварювального струму I_D визначається за таким співвідношенням:

$$I_D = I_1 \cdot n,$$

де I_1 – припустимий зварювальний струм одного трансформатора, який визначається перерізом його вторинної обмотки;

n – кількість паралельних трансформаторів.

Іскрові осцилятори безперервної дії поступово витискаються імпульсними збуджувачами дуги, важливою перевагою яких є відсутність високої напруги промислової частоти, небезпечної для життя обслуговуючого персоналу. До них можна віднести збуджувачі типу ВИС-501 і ВІР-101, живлення яких здійснюється від зварювального кола постійного струму. В апараті ВИС-501 як зарядний опір застосовується дросель L_1 , який має високу індуктивність, що дозволяє здійснити особливий (резонансний) режим заряду нагромаджувального конденсатора C_1 (рис. 5.26).

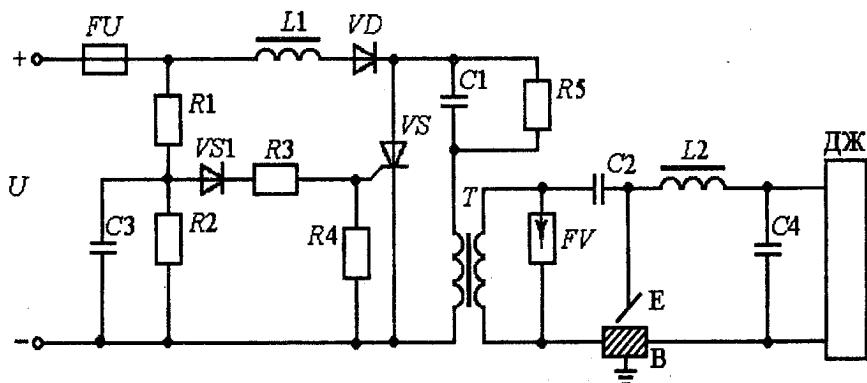


Рис. 5.26. Принципова електрична схема збуджувача ВІС-501

У цьому режимі струм зарядки конденсатора поступово наростає, поки напруга на нагромаджувальному конденсаторі не зрівняється з напругою живлення U . Після цього струм починає спадати, що викликає появу на дроселі $L1$ ЕРС самоіндукції, яка намагається зберегти струм незмінним, тобто діє згідно з напругою джерела живлення. Зарядка конденсатора буде продовжуватись до тих пір, поки напруга на ньому не досягне приблизно подвоєного рівня напруги живлення $2U$. Через відсутність вентиля VD струм у зарядному колі змінив би свій напрямок і $C1$ став би розряджатися через джерело живлення. При наявності VD $C1$ залишається зарядженим до тих пір, доки не відкриється тиристор VS . Після цього конденсатор буде розряджатися через первинну обмотку імпульсного трансформатора T і тиристор VS . Високовольтний імпульс із вторинної обмотки трансформатора заряджає конденсатор $C2$ і викликає коливальний високочастотний розряд. Після пробією розрядника FV імпульс амплітудою 7–10 кВ, частотою проходження імпульсів 100–150 Гц з частотою контура – 2000 кГц пробиває міжелектродний проміжок. Конденсатор $C2$ разом із дроселем $L2$ утворює фільтр високих частот. Оскільки втрати в цьому контурі малі, то до моменту, коли $C1$ буде повністю розряджений, струм розряду досягне найбільшого значення. Завдяки індуктивності трансформатора цей струм буде підтримуватись, внаслідок чого $C1$ перезарядиться. Коли напруга на конденсаторі стане за величиною близькою до напруги перед початком розряду, тобто дорівнюватиме подвоєному значенню напруги U , струм розряду спаде до нуля і VS закриється. Знову почнеться процес зарядження $C1$ через джерело живлення. Але струм через дросель $L1$ буде визнача-

тись уже сумою напруги живлення і згідної з її діючою напруги на конденсаторі, що призведе в кінці зарядження до наростання напруги на $C1$ до величини $(3...5)U$. Резистори $R1$, $R2$, конденсатор $C3$ і діодний тиристор (діністор) $VS1$ утворюють релаксатор, при спрацюванні якого $C3$ розряджається через керувальне коло VS , тобто керує роботою тиристора VS . Частота надсилання керувальних імпульсів залежить від напруги живлення і сталої часу заряду конденсатора $C3$. Вибором співвідношення $R1/R2$ визначається найменша напруга живлення, при якій напруга конденсатора може сягнути напруги перемикачання. При U більшій за це граничне значення збуджувач буде працювати, при меншій – VS буде закритий і висока напруга не генеруватиметься. При живленні від зварювального кола ВИС-501 може бути налагоджений так, щоб він надійно працював при неробочому ході джерела, але припиняв роботу після збудження дуги, тобто коли U_d набуває робочого значення.

Імпульсний збуджувач типу ВІР-101 призначений для збудження чергової дуги в установках для повітряно-плазмового різання. У зв'язку з високою напругою неробочого ходу при плазмовому різанні, необхідність підвищення напруги на нагромаджувальному конденсаторі відпадає, тому замість дроселя встановлено активний опір. Крім того, в збуджувачі передбачено конденсатор для зв'язку між колом живлення чергової і основної дуг. У решті схема ВІР-101 подібна до схеми ВИС-501. Технічні дані збуджувачів наведено в табл. 5.2.

Пристрої запалювання дуги типу УПД також є імпульсними збуджувачами послідовного вмикання, але вони живляться змінним струмом. Низький у порівнянні з іскровими осциляторами рівень напруги радіоперешкод забезпечив добру їх електромагнітну сумісність з установками для газоелектричного зварювання неплавким електродом, мікроплазмового і плазмового зварювання в захисних газах, а також повітряно-плазмового різання металів. Ці пристрої випускаються трьох типів, їхні технічні характеристики наведено в табл. 5.2.

Пристрої запалювання дуги типу 13 РП-315-004 призначені для початкового збудження дуги при мікроплазмовому, плазмовому зварюванні і газоелектричному зварюванні неплавким електродом. При повітряно-плазмовому різанні застосовується пристрій типу 13 РП-80-003, при зварюванні неплавким електродом на струмах, більших за 300А-13 РП-500-005. Принципова електрична схема пристрою 13 РП-80-005 наведена на рис. 5.27.

Елементи $L1$, $R1$, $R2$, $R3$, $C1$ і $C2$ являють собою LCR фільтр, який забезпечує зниження рівня радіоперешкод, що утворюються в

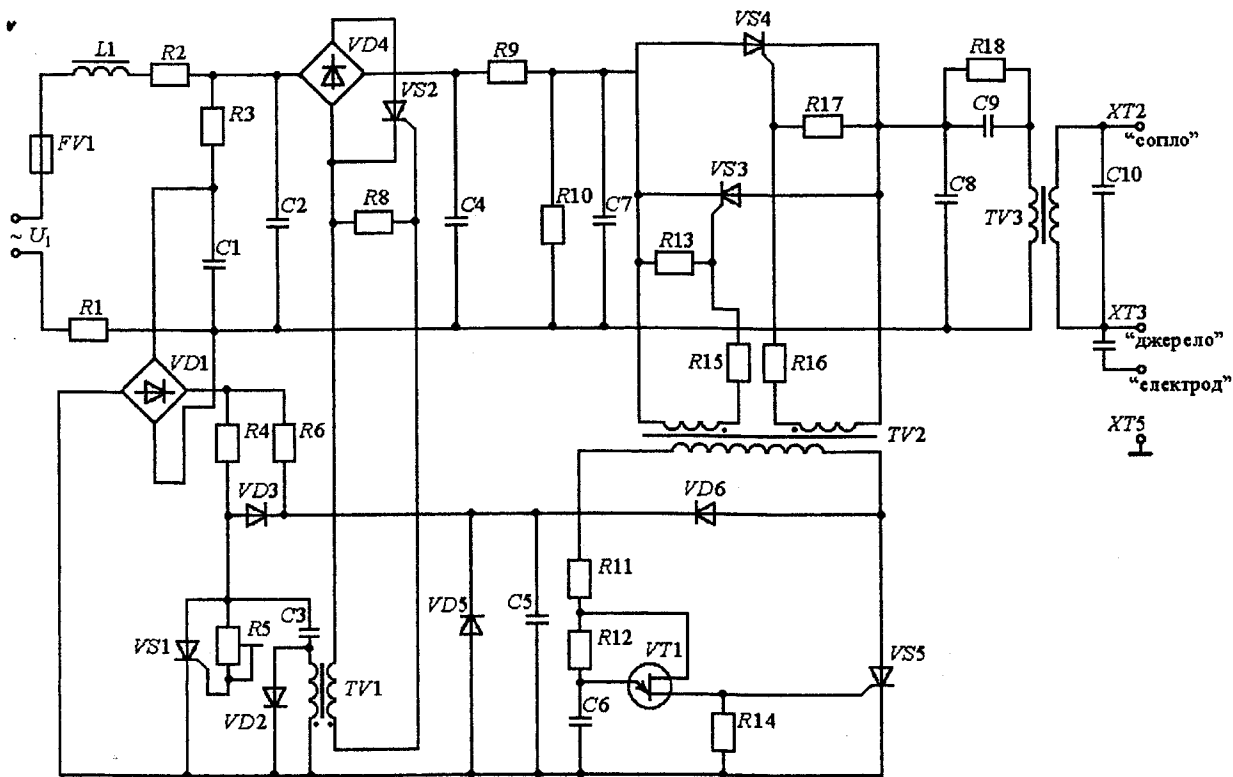


Рис. 5.27. Принципова електрична схема пристрою підпалювання дуги 13-РП-80-003

результаті перехідних процесів при комутації напруги тиристорами VS_2 , VS_3 , VS_4 .

Резистор R_9 та конденсатори C_4 і C_7 , випрямляч VD_4 і тиристор VS_2 утворюють зарядний контур, а резистор R_{18} , конденсатори C_8, C_9 і первинна обмотка трансформатора – TV_3 -розрядний контур. При цьому резистор R_9 і конденсатор C_4 слугують для обмеження швидкості наростання напруги на тиристорі VS_2 , а конденсатор C_8 – для захисту тиристорів VS_3 , VS_4 від перенапружень, що виникають у момент комутації. Елементи, які встановлено на печатній платі, резистори R_4 і R_6 , імпульсний трансформатор TV_2 складають схему керування тиристорами VS_2 , VS_3 , VS_4 . Конденсатор C_{10} призначений для поліпшення форми вихідних імпульсів напруги, а конденсатор C_{11} – для захисту джерела живлення чергової дуги від дій цих імпульсів. На початку кожного півперіоду мережі живлення конденсатор C_3 заряджається по колу: “плюс” випрямляча VD_1 , резистор R_4 , діод VD_2 , “мінус” випрямляча VD_1 . Конденсатор C_5 – по колу: “плюс” випрямляча VD_1 , резистор R_6 , “мінус” випрямляча VD_1 , а конденсатор C_6 -через резистори R_{11} , R_{12} .

Одночасно з цим через резистори R_4 , R_5 і керуючий електрод VS_1 протікає струм керування тиристором. При досягненні цим струмом значення, яке викликає надійне відкриття VS_1 , відбудеться розряд конденсатора C_3 через відкритий тиристор VS_1 та первинну обмотку імпульсного трансформатора TV_1 . Наведена на вторинній обмотці цього трансформатора напруга викличе відкриття тиристора VS_2 , в наслідок чого відбувається заряд конденсаторів C_4 , C_7 до амплітудного значення напруги мережі живлення. Після закінчення заряду конденсаторів C_4 , C_7 тиристор VS_2 закривається. Стала часу заряду конденсатора C_6 вибрана таким чином, щоб увімкнення тиристора VT_1 здійснювалось в кінці півперіоду мережі живлення.

Увімкнення VT_1 викличе відкриття тиристора VS_5 і розряд конденсатора C_5 через первинну обмотку імпульсного трансформатора T_2 та відкритий тиристор VS_5 . Наведена на вторинній обмотці імпульсного трансформатора TV_2 напруга прикладається до керуючих електродів VS_3 і VS_4 . При цьому відкриється той тиристор, до аноду якого прикладена напруга позитивного знаку, і відбувається заряд конденсатора C_9 через первинну обмотку підвищуючого трансформатора TV_3 . У міру заряду конденсатора C_9 струм через первинну обмотку трансформатора TV_3 знижується, і після закінчення

заряду конденсатора $C9$ тиристор $VS4$ ($VS3$) вимикається. Наведена на вторинній обмотці $TV3$ імпульсна напруга через конденсатор $C11$ прикладається до міжелектродного проміжку плазмотрона. Після закінчення півперіоду напруги мережі тиристори $VS1$ і $VS5$ вимикаються. Протягом другого півперіоду всі процеси у схемі повторюються, при цьому знак напруги на конденсаторі $C7$ змінюється. Буде відкриватись відповідно до цього знаку тиристор $VS3$ ($VS4$), і відбудеться перезаряд конденсатора $C9$ через первинну обмотку $TV3$. Часові параметри високовольтних імпульсів визначаються відношенням ємності конденсатора $C9$ та індуктивності трансформатора $TV3$. В 13-РП-500-005 передбачено синхронізацію схеми керування з напругою на дузі.

Імпульсні стабілізатори (ІС) призначені для повторного запалювання дуги змінного струму і застосовуються в установках для зварювання алюмінію і його сплавів неплавким електродом. Стабілізатор повинен генерувати піковий імпульс з амплітудою напруги $U_i=200-600$ В і підтримувати переддуговий струм $I_{\text{ПС}}$ не нижчим від 1–10 А (рис. 5.28).

Це досягається тоді, коли імпульс струму має амплітуду $I_i=60-100$ А при тривалості $t_i=60-80$ мкс і генерується із затримкою $t_3=60-100$ мкс після переходу кривої струму через нуль.

Стабілізатор із частотою проходження імпульсів 50 Гц поліпшує запалювання дуги тільки зворотної полярності, з частотою 100 Гц – прямої і зворотної.

Імпульсні стабілізатори можуть бути пасивної і активної дії. У пасивних ІС енергія, необхідна для повторних запалювань, нагро-

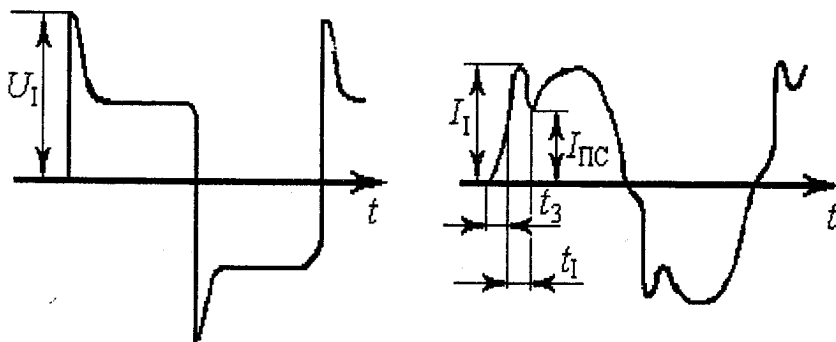


Рис. 5.28. Осцилограма напруги (а) і струму (б) при імпульсній стабілізації дуги змінного струму

маджується в реактивних елементах, увімкнених у коло дуги послідовно або паралельно дуговому проміжку, і виділяється при перехідних процесах, пов'язаних із згасанням дуги. Параметри імпульсу і момент його введення в дуговий проміжок залежать від процесів у дузі, від параметрів зварювального кола і властивостей самого стабілізатора. Можливості пасивних ІС обмежені, незважаючи на простоту конструкції.

В активних стабілізаторах енергія запасується в нагромадженні, який відокремлено від дуги комутатором, і в необхідний момент вводиться до дугового проміжку. Параметри і момент подачі імпульсів можуть бути обрані відповідно до потреб процесу, що свідчить про переваги активних ІС. Крім того, вони побічно не впливають на процеси у зварювальному колі. Структурна схема активного імпульсного стабілізатора наведена на рис. 5.29, 5.30.

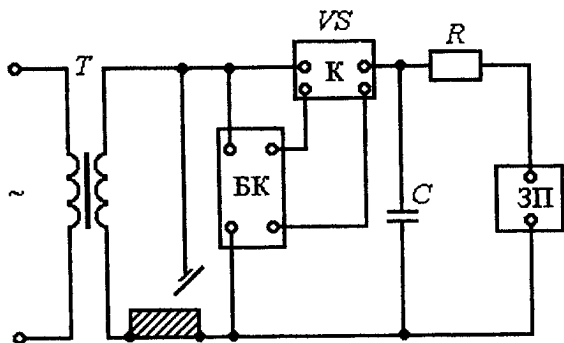


Рис. 5.29. Структурна схема активного стабілізатора зі зворотним зв'язком за напругою

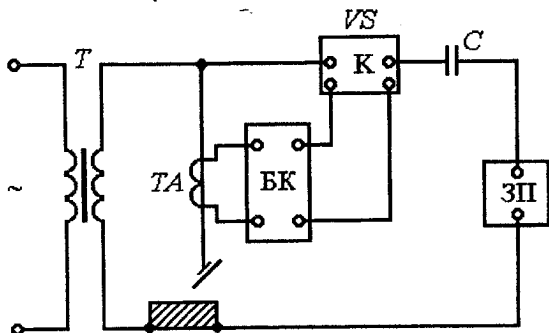


Рис. 5.30. Структурна схема імпульсного стабілізатора зі зворотним зв'язком за струмом

ІС складається із зарядного пристрою ЗП, комутуючої ємності C , комутатора VS і блока керування БК. Блок керування комутатором може працювати зі зворотним зв'язком за напругою (ЗЗН) (рис. 5.29) або за струмом (ЗЗС) (рис. 5.30). При роботі із ЗЗН БК забезпечує запуск комутатора як при навантаженні, так і при неробочому ході зварювального трансформатора T . У цьому випадку необхідно, щоб БК відрізняв момент переходу зварювальної напруги через нуль, коли напруга на дузі практично падає до нуля. При роботі із ЗЗС створюється висока синхронність між подачею імпульсів в дугу і моментом переходу кривої зварювального струму через нуль, а також нечутливість схеми керування до коротких замикань.

У стабілізаторі для аргоно-дугового зварювання неплавким електродом конденсатор C заряджається від трансформатора T через діод VD і струмообмежуючий резистор $R1$ (рис. 5.31).

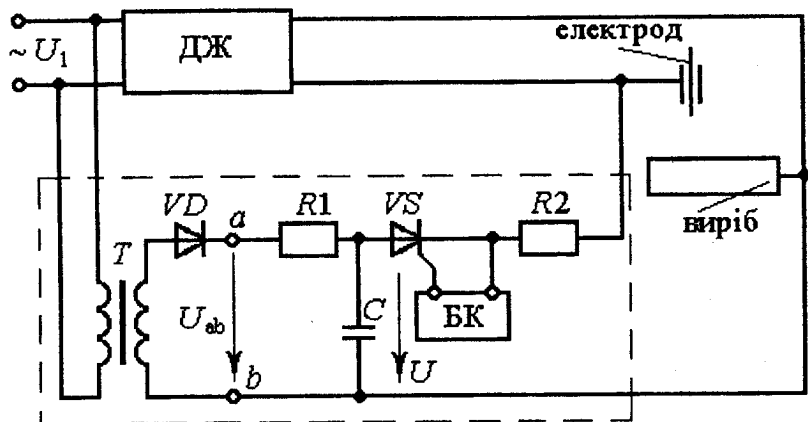


Рис. 5.31. Спрощена електрична схема ІСГД для аргоно-дугового зварювання неплавким електродом

Наявність VD запобігає розряду C на трансформатор. У коло розряду конденсатора увімкнено тиристор VS і баластовий резистор $R2$. Розряд конденсатора на дуговий проміжок відбувається при відкритті комутуючого пристрою VS блоком керування БК після зміни полярності дугової напруги з прямої на зворотню. Така схема є загальною для стабілізаторів дуги в деяких установках аргоно-дугового зварювання змінним струмом.

В установках типу УДГ-301, УДГ-501 стабілізатор об'єднано з осцилятором, утворюючи єдиний блок запалювання – генератор імпульсів (рис. 5.32).

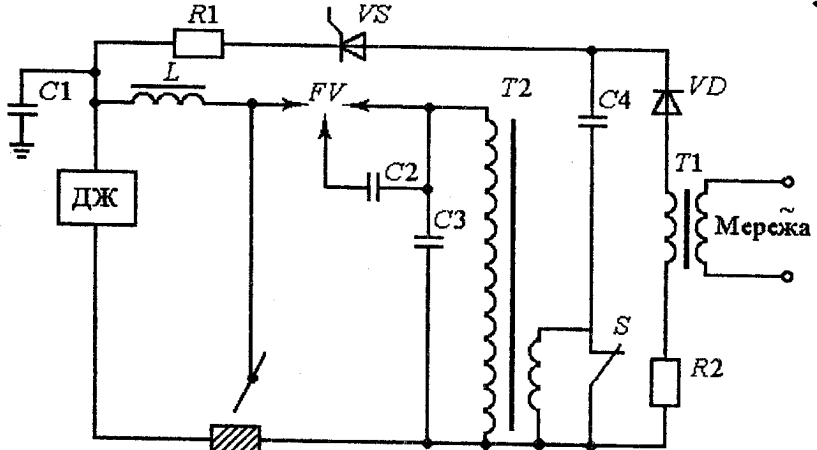


Рис. 5.32. Спрощена електрична схема спільного блоку підпалювання і генератора імпульсів

Заряд нагромаджувального конденсатора $C4$ здійснюється від трансформатора $T1$ через вентиль VD і резистор $R2$ в негативні відносно електрода півперіоди напруги. Розряд $C4$ відбувається через тиристор VS , резистор $R1$, дросель L і дуговий проміжок один раз у період при позитивній полярності напруги на електроді із зсувом відносно нульового значення зварювального струму на 40–60 мкс. На початку процесу до моменту запалювання дуги контакт S розімкнутий, тому розряд конденсатора $C4$ відбувається через первинну обмотку імпульсного трансформатора $T2$. Трансформований високовольтний імпульс розряду конденсатора заряджає $C3$ до напруги пробую іскрового проміжку розрядника FV . При його пробі створюється коливальний контур, який складається з індуктивності дроселя L , конденсаторів $C2$ і $C3$. У контурі генерується імпульс високочастотних коливань з максимальною напругою близько 15 кВ і частотою порядку 3 МГц, що прикладається до проміжку електрод–виріб, створюючи іскровий розряд, який переходить в дуговий. При запалюванні дуги S замикається, і пристрій починає працювати в режимі генератора імпульсів. Живлення зварювальної дуги здійснюється від джерела живлення ДЖ.

Схема стабілізації резонансного типу, яка може використовуватись як при зварюванні алюмінієвих сплавів неплавким електродом, так і при ручному дуговому зварюванні покритим електродом; наведена на рис. 5.33.

Вона складається із трансформатора $T1$ для живлення нагромаджувальної ємності C і тиристорного комутатора $VS1$ і $VS2$ із блоком керування. Стабілізатор живить дугу паралельно джерелу – зварювальному трансформатору $T2$. При роботі $T2$ в режимі неробочого ходу на початку півперіода прямої полярності відкривається $VS2$, і по колу, показаному тонкою лінією, проходить імпульс струму. При цьому ЕРС трансформаторів $T1$ і $T2$, які діють узгоджено, заряджають конденсатор C полярністю, вказаною на рис. 5.33а. Струм заряду конденсатора наростає до тих пір, поки напруга на ньому не

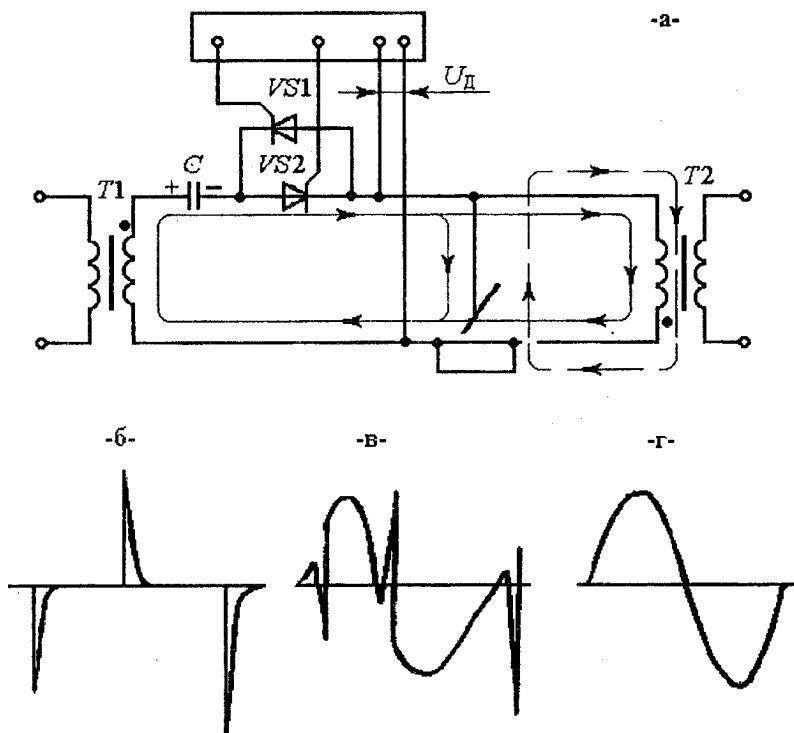


Рис. 5.33. Спрощена електрична схема стабілізатора резонансного типу (а), осцилограми стабілізуючих імпульсів (б), напруги на міжелектродному проміжку (в), напруги основного джерела (г)

зрівняється з сумарною напругою трансформаторів $T1$ і $T2$. Після цього струм починає зменшуватись, що викличе появу в колі ЕРС самоіндукції, яка прагне зберегти струм незмінним. Тому заряд конденсатора C буде продовжуватися, поки напруга на ньому не досягне подвоєної напруги живлення. Напруга конденсатора, що прикладена до $VS2$ у зворотному напрямку, закриє тиристор. У півперіод зворотної полярності відкривається $VS1$ і імпульсний струм піде в протилежному напрямку. В цьому випадку імпульс буде потужнішим, оскільки він створюється узгодженою дією ЕРС трансформаторів $T1$ і $T2$, а також заряду конденсатора. В результаті відбудеться перезаряд C до ще більш високого рівня. Такий резонансний характер перезаряду дозволяє отримати стабілізуючі імпульси напруги частотою 100 Гц, амплітудою близько 200 В при порівняно низькій напрузі джерела живлення (рис. 5.33б). На міжелектродний проміжок поряд із імпульсами подається також напруга від основного джерела (рис. 5.33г). При вказаному на рис. 5.33а фазуванні трансформаторів $T1$ і $T2$ полярність напруги, яка подається на проміжок між електродом і зварювальним виробом від основного джерела (пунктирна лінія) і від стабілізатора (тонка лінія) протилежна, що говорить про зустрічне вмикання стабілізатора. На рис. 5.33в показано криву напруги при сукупній дії стабілізатора і джерела живлення. Імпульс в цьому випадку, як і при узгодженому вмиканні, сприяє повторному запалюванню дуги.

Пристрій для придушення постійної складової змінного струму значно покращує умови роботи зварювального трансформатора. На рис. 5.34 наведена електрична схема такого пристрою з діодно-тиристорним комутатором.

Зварювальний струм півхвилі зворотної полярності проходить через $VD1$, а прямої полярності – через $VS1$, який відкривається після 0,001 с після появи на його аноді напруги $U=U_{20}-U_D$. Струм дуги від моменту закінчення півперіоду зворотної полярності до вмикання тиристора $VS1$ підтримується на мінімально необхідному рівні через резистор $R7$. Конденсатор $C1$ заряджається до напруги перемикавання $U_n=kU_c$, де U_c – напруга стабілізації, яка забезпечується стабілітроном $VD3$, струм якого задається резистором $R2$. В момент перемикавання одноперехідного транзистора $VT1$ розрядний струм конденсатора $C1$ відкриває малопотужний допоміжний тиристор $VS2$ і в коло керування $VS1$ надходить імпульс струму необхідної

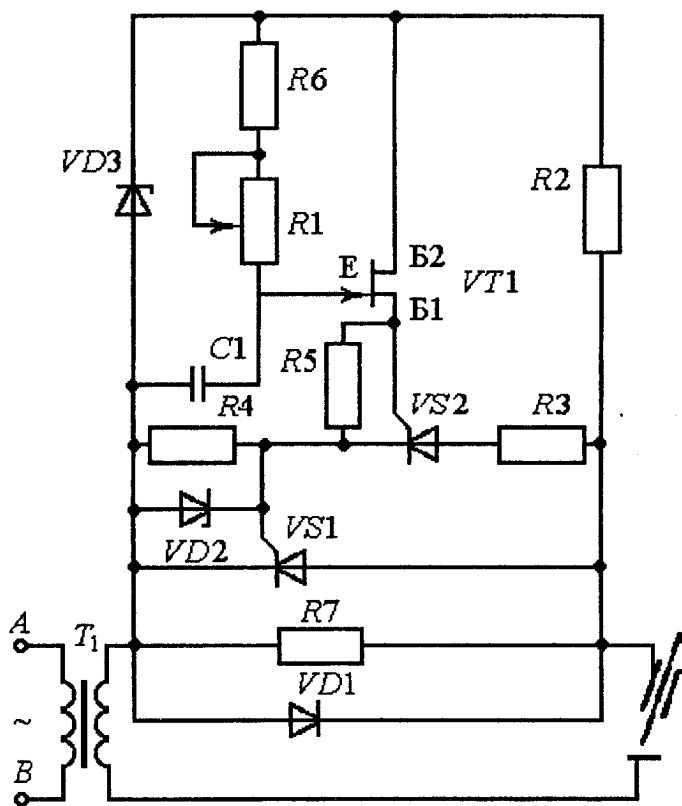


Рис. 5.34. Принципова електрична схема пристрою для компенсації постійної складової змінного струму

тривалості. Струм керування обмежений резистором $R3$, напруга – стабілітроном $VD2$. Після вмикання $VS1$ всі елементи схеми знеструмлюються.

Регулятор зниження зварювального струму (РЗЗС) або пристрій зварювання кратера (ПЗК) застосовується для плавного зниження струму в кінці зварювання з метою виключення утворення кратера в шві. При живленні дуги від зварювальних перетворювачів зменшення струму в кінці шва відбувається плавно за рахунок інерції частин генератора, які обертаються, при вимиканні двигуна від мережі. У статичних джерелах плавне зниження струму можна здійснювати за

рахунок конденсаторних батарей, які забезпечують подачу на вхід регулятора струму джерела керуючої напруги. Однак для цього необхідні батареї великої ємності. Тому для зменшення ємності можуть використовуватись проміжні підсилювачі на транзисторах, що створює можливість не тільки зниження ємності, але і регулювання процесу зниження зварювального струму.

На рис. 5.35 наведена принципова електрична схема регулятора такого типу, де підсилювач зібрано на транзисторах за схемою із загальним емітером (на схемі показаний один транзистор).

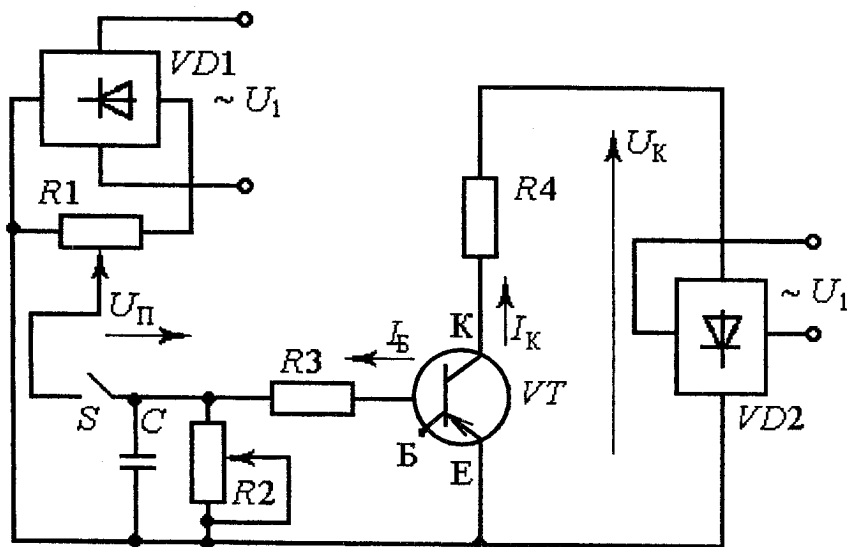


Рис. 5.35. Принципова електрична схема пристрою зварювання кратера

У процесі зварювання ключ S замкнений і конденсатор C заряджається до напруги U_{Π} яка знімається з потенціометра $R1$ від випрямного пристрою $VD1$. До колекторного кола транзистора VT підведено напругу U_{κ} від випрямляча $VD2$. Резистор $R4$ умовно являє в схемі обмотку керування регулятора струму джерела. При усталеному процесі зварювання колекторний струм I_{κ} визначається напругою U_{κ} , опором $R4$ і струмом бази транзистора $I_{\text{б}}$. Наприкінці зварювання S автоматично розмикається, але струм $I_{\text{б}}$ і, відповідно I_{κ} , не перериваються, оскільки деякий час напруга і струм $I_{\text{б}}$ підтримуються конденсатором C , який розряджається на коло емітер-база. Таким

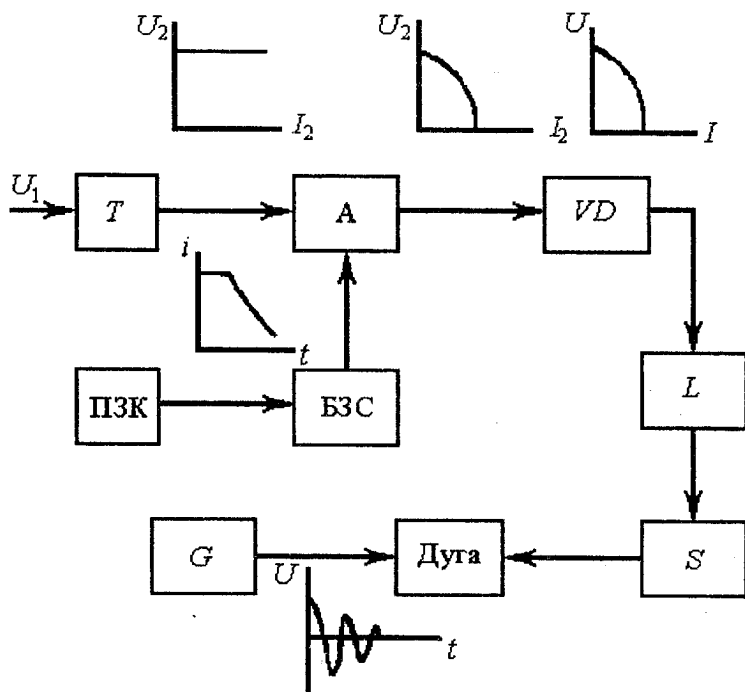


Рис. 5.36. Функціональна схема джерела УДГ-101

чином, кінцевий процес зварювання керується конденсатором, напруга на якому при розряді спадає по експоненті до нуля приблизно за 5–6 с.

5.2.3. Джерела живлення постійного струму для аргоно-дугового зварювання неплавким та плавким електродами

Установка типу УДГ-101 призначена для зварювання неплавким електродом виробів з корозійно-стійких сталей постійним струмом у середовищі аргону. Функціональна схема її наведена на рис. 5.36.

Магнітний підсилювач А, увімкнений до вторинного кола силового трифазного трансформатора Т, призначений для отримання спадних зовнішніх характеристик і плавної зміни струму навантажен-

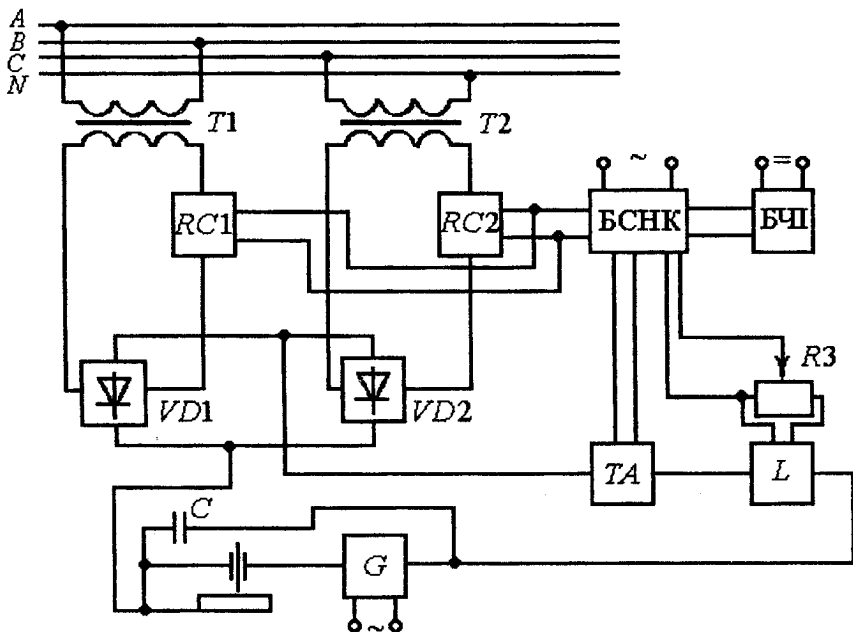


Рис. 5.37. Структурна схема джерела ТИР-200 В

ня на двох ступенях регулювання. Випрямний блок VD , зібраний за трифазною мостовою схемою, служить для отримання зварювального струму з частотою пульсацій 300 Гц. Задання величини зварювального струму здійснюється резистором блоку БЗС, увімкненим в коло керування магнітного підсилювача. Лінійний дросель L згладжує пульсацію випрямленого струму і напруги, зменшує стрибки струму при збудженні дуги. Пристрій ПЗК плавно знижує струм у кінці зварювання з метою запобігання утворенню в шві кратера. У корпусі установки є також осцилятор паралельної дії G і водоохолоджувальний пальник зі змінними цангами для електродів. Перемикач S забезпечує можливість проводити зварювання на прямій і зворотній полярності. Установка облаштована також педальною кнопкою вмикання струму, вимірювальними пристроями, апаратурою для увімкнення води і захисного газу. Виносний пульт керування забезпечує регулювання зварювального струму і часу заварювання кратера, перевірку роботи осцилятора і газового клапана. Технічні характеристики УДГ-101 наведені в табл. 5.3.

Джерело живлення ТИР-200В призначене для аргано-дугового зварювання виробів неплавким електродом постійним струмом у безперервному та імпульсному режимах і має крутоспадні зовнішні характеристики. Як регулятор струму застосовується дросель насичення з розділеними робочими обмотками, який має високу швидкість, а його габарити і маса на той же зварювальний струм у багато разів менші, порівняно із дроселями загальнопромислового виконання. Джерело живлення передбачає стабілізацію зварювального струму. Структурна схема його наведена на рис. 5.37, де $T1$ і $T2$ однофазні знижуючі трансформатори з різними коефіцієнтами трансформації, живлення яких здійснюється від силової мережі.

Вторинні напруги трансформаторів рівні за величиною і зсунуті на кут $\pi/2$. Регуляторами струму є $RC1$ і $RC2$, в основу яких покладено дросель насичення з розділеними обмотками, який працює в режимі вільного намагнічування. Однофазні силові випрямні блоки $VD1$ і $VD2$ однакові і з'єднані паралельно. Лінійний дросель L у колі дуги має вторинну малопотужну обмотку, для якої навантаженням служить потенціометр $R3$. Напруга з потенціометра подається в блок стабілізованої напруги керування БСНК з метою поліпшення динамічних властивостей регулятора струму. Для корекції форми зовнішньої характеристики джерела в схемі передбачено трансформатор струму TA , функціонально пов'язаний з БСНК. Блокувальний конденсатор C захищає випрямні блоки від пробую високочастотними імпульсами високої напруги осцилятора. Оскільки ТИР-200В має напругу неробочого ходу 30В, то в схемі передбачено допоміжне джерело постійного струму з напругою 65В, яке ввімкнене паралельно основному джерелу з метою забезпечення стійкого збудження дуги (на схемі він не поданий). Часові параметри імпульсного режиму визначаються генератором імпульсів, який входить в блок часових інтервалів БЧІ і змінює величину опорної напруги керування, яка видається блоком БСНК. Величина зварювального струму і часові параметри імпульсного режиму регулюються дистанційно від спеціальної приставки, від якої також подаються команди на вмикання і вимикання джерела. Дуга збуджується осцилятором, зовнішні характеристики мають високу степінь крутизни в діапазоні робочих напруг. Технічні данні ТИР-200В наведені в табл. 5.3. Джерело може також використовуватись для ручного аргано-дугового зварювання в спрощеному режимі роботи. При цьому регулятор часових інтервалів БЧІ не працює.

Тиристорні джерела живлення серій ВСВУ, ВСВ призначені для автоматичного зварювання неплавким електродом виробів зі звичайних, корозійно-стійких і жароміцних сталей та титанових сплавів. Вони виконані на базі єдиної електричної схеми, яка реалізована у вигляді уніфікованих блоків. Джерела забезпечують стабілізацію зварювального струму при змінах напруги мережі, довжини дуги і температури навколишнього середовища. Випрямлячі серії ВСВУ призначені для зварювання на струмах 40, 80, 160, 315, 400 і 630 А в неперервному та імпульсному режимах відкритою і стиснутою дугою. Вони можуть здійснювати автоматичне, плавне, регульоване в часі нарощування струму на початку зварювання з метою рівномірного розігрівання вольфрамового електрода і, відповідно, підвищення його стійкості. Вони можуть також забезпечувати плавне регулювання струму чергової дуги в імпульсному режимі, модулювати імпульси від прямокутної до трикутної форми, плавно знижувати струм в кінці зварювання при заварюванні кратера. Функціональна схема джерела типу ВСВУ подана на рис.5. 38, де T – зварювальний трансформатор, VS – силовий тиристорний блок, RS – датчик струму, ДДЖ – допоміжне дже-

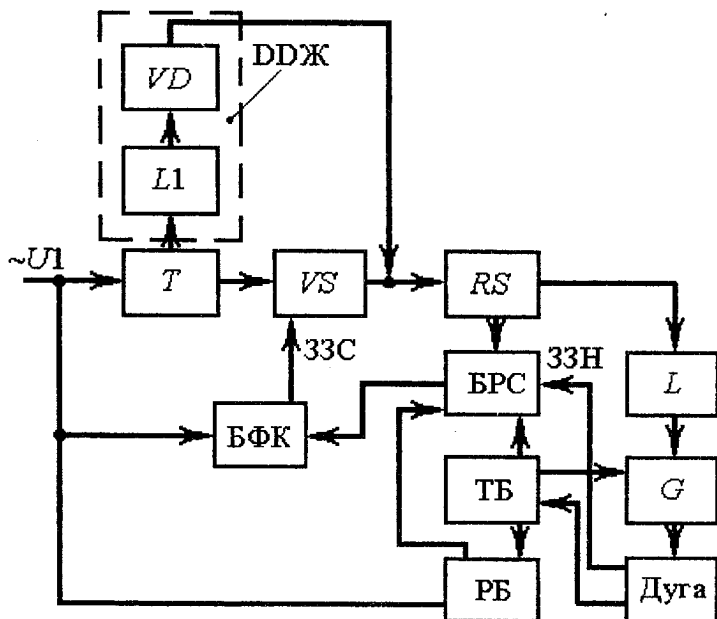


Рис. 5.38. Функціональна схема джерела живлення типу ВСВУ

рело живлення для збудження дуги, БФК і БРС – блоки фазового керування і регулювання струму, ТБ і РБ – тригерний і релейний блоки, L, G – згладжуючий дросель і осцилятор.

Спрощена принципова електрична схема силової частини джерела подана на рис. 5.39.

Силовий трифазний трансформатор має одну первинку і дві вторинні обмотки, з'єднані в "зірку". Основне джерело живлення – тиристорний випрямляч VS , який має положистоспадну зовнішню характеристику і увімкнений на дугу паралельно з допоміжним малопотужним джерелом ДДЖ, яке формує крутоспадну ВАХ з напругою

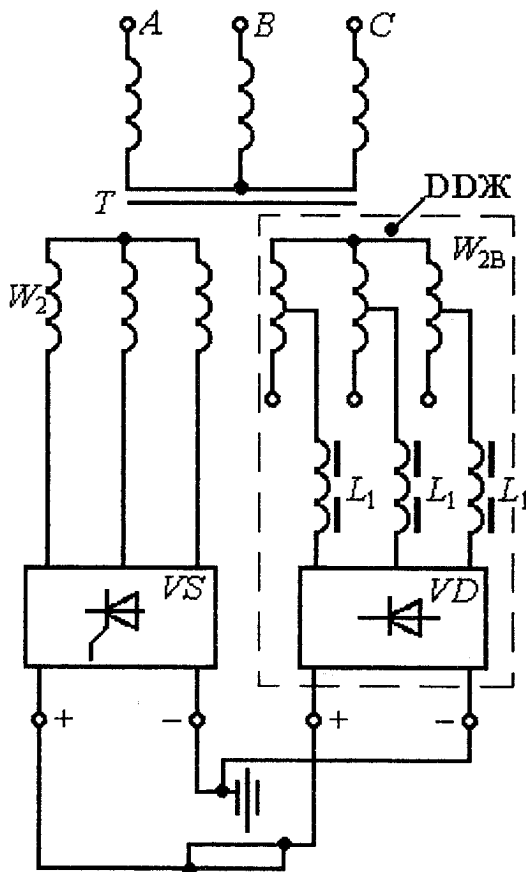


Рис. 5.39. Спрощена електрична схема силової частини джерела ВСВУ-315

неробочого ходу $U_{20}=100$ В для зварювання в аргоні і 200 В – в середовищі гелію. U_{20} можна змінювати від 65 до 200 В за рахунок секціонування вторинних обмоток і зміни їх з'єднання за допомогою перемикача допоміжного джерела. Крутоспадна характеристика ДДЖ забезпечується регулюючими однофазними лінійними дроселями $L1$ з роз'ємними феромагнітними осерддями. Вони також виконують функції згладжуючих фільтрів на малих струмах і запобігають виникненню автоколивального режиму при глибокому регулюванні. У процесі зварювання горять одночасно дві дуги. Сполучення двох різних за формою зовнішніх характеристик (рис. 5.40), коли ДДЖ має достатню

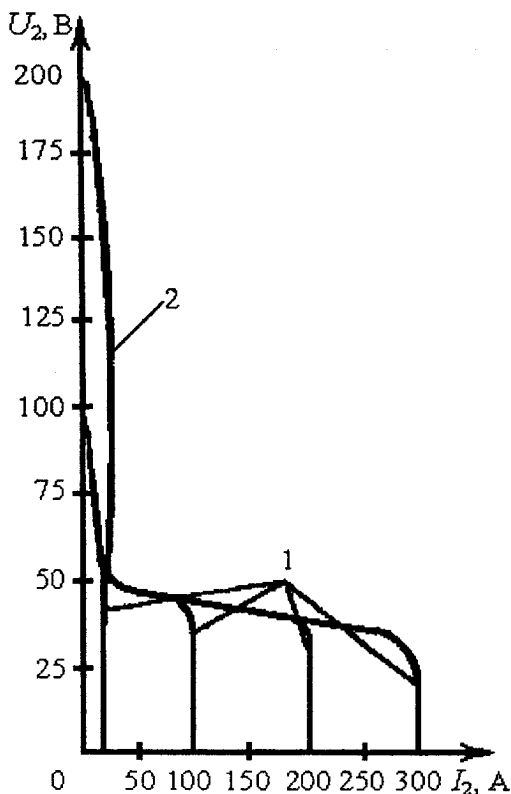


Рис. 5.40. Зовнішні характеристики джерела ВСБУ-315

напругу для надійного запалювання дуги-2, а основне джерело VS–вертикальну характеристику в діапазоні робочих напруг-1, дозволяє значно знизити напругу неробочого ходу основного джерела. Це приводить до зниження спожитої потужності, масо-габаритних показників, а також до підвищення ККД і $\cos\phi$.

Датчик струму RS видає сигнал зворотного зв'язку за струмом і являє собою водоохолоджувальну трубку з корозійно-стійкої сталі. Блок БФК виконано за “вертикальним” принципом керування тиристорами, який полягає в порівнянні пилкоподібної напруги і напруги керування з наступним формуванням керуючих імпульсів на запуск силових тиристорів блока VS.

Блок регулювання струму БРС виконано за схемою диференційного підсилювача постійного струму на транзисторах. Результуючі сигнали, що надходять з БРС на VS через БФК, забезпечують плавне регулювання зварювального струму на початку і зниження його в кінці зварювання, стабілізацію режиму, імпульсну комутацію струму і модуляцію імпульсів, формування зовнішніх характеристик.

Тригерний блок ТБ слугує для задання імпульсного режиму і забезпечує незалежне регулювання тривалості імпульсів і пауз, формує імпульси напруги, які періодично повторюються й регулюються за тривалістю і частотою. Ці імпульси через блоки БРС і БФК задають імпульсний режим роботи блоку VS.

Температурний захист силових тиристорів здійснюється релейним блоком РБ. Датчиком температури є терморезистор, який встановлено в радіаторі тиристора, що увімкнений в систему водяного охолодження останнім. При перевищенні допустимої температури охолоджуючої води силове коло вимикається і спалахує сигнальна лампочка.

Дросель L призначений для згладжування пульсацій випрямленого струму.

Початкове запалювання дуги виконується з допомогою осцилятора типу ОСППЗ-300М. Технічні характеристики джерел типу ВСВУ наведені в табл. 5.3.

Джерела живлення серії ВСВ призначені для автоматичного зварювання зануреною дугою на струмах 1000, 2000А. Вони забезпечують збудження дуги дотиком електрода до виробу на мінімальному струмі, плавне місцеве або дистанційне керування зварювальним струмом, плавне нарощування струму до заданого значення на по-

чатку зварювання і зниження його в кінці при зварюванні кратера. В електричній схемі містяться такі самі блоки, як і в схемі джерел типу ВСВУ, за винятком тригерного блока і осцилятора. Форма зовнішніх характеристик також подібна до форми ВАХ джерел серії ВСВУ. В ділянці робочих напруг зовнішня характеристика крутоспадна.

Джерела живлення серії ВСП призначені для дугового зварювання в захисних газах плавким електродом. Цей спосіб зварювання вимагає жорсткої або пологоспадної ВАХ. Тому функціональна схема цих джерел відрізняється від схеми ВСВУ тим, що на блок БФК надходить сигнал із блока регулювання напруги БРН, а блоки ТБ і G – відсутні.

Технічні дані джерел типу ВСВ, ВСП наведені в табл. 5.3.

Транзисторне джерело живлення типу АП-5М призначене для аргоно-дугового зварювання неплавким електродом постійним неперервним або пульсуючим струмом прямої і зворотної полярності чорних та кольорових металів. Функціональна схема АП-5М подана на рис. 5.41.

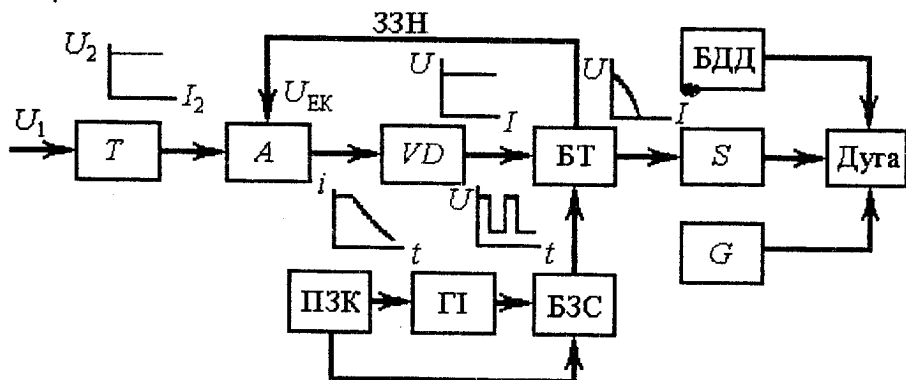


Рис. 5.41. Функціональна схема транзисторного джерела АП-5М

Послідовно з дугою і випрямлячем VD увімкнено блок паралельно з'єднаних транзисторів БТ в кількості 20 штук, які є регуляторами, стабілізаторами та імпульсними модуляторами зварювального струму. Зварювальний струм регулюється плавно при зміні струму загальної бази цих транзисторів. Магнітний підсилювач А, робочі обмотки якого увімкнені у плечі випрямного блоку VD, пов'язаний через обмотку керування зворотним зв'язком за напругою (ЗЗН) із блоком БТ, що дозволяє автоматично регулювати крутизну ВАХ. Зовнішні

характеристики джерела-1 в зоні робочих напруг (заштрихована ділянка-2) є майже вертикальними (рис. 5.42).

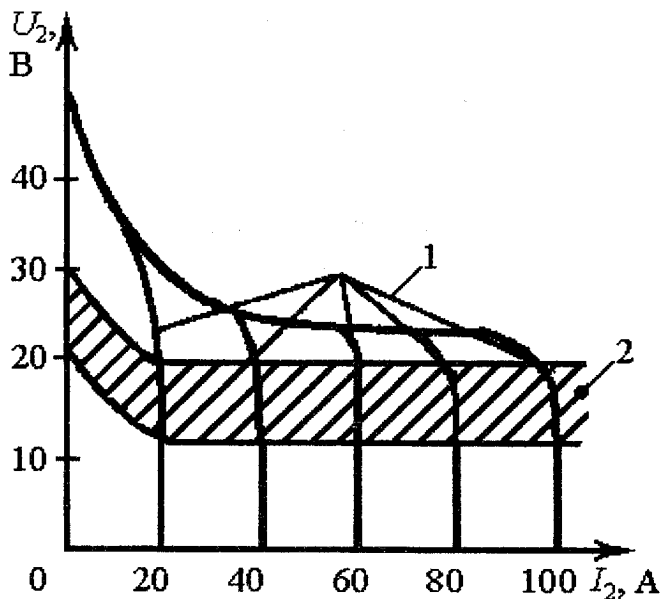


Рис. 5.42. Зовнішні характеристики джерела АП-5М

Блок керування базового кола живиться від малопотужного джерела стабілізованої напруги. Для отримання імпульсної дуги в коло керування введено напівпровідниковий генератор імпульсів ПІ, який дозволяє модулювати зварювальний струм за амплітудою та тривалістю. Регулювання тривалості імпульса і паузи ступінчасте (20 ступенів), їх тривалість може встановлюватись в межах 0,03–0,6 с. Зварювальний струм, який дорівнює колекторному струму блока БТ повторює багаторазово підсилений імпульсний струм сигналу. Дуга запалюється з допомогою осцилятора G. Блок малопотужного допоміжного джерела БДД забезпечує горіння чергової дуги напругою 70 В. У зварювальний контур увімкнено перемикач полярності S. Пристрій ПЗК призначено для заварювання кратера при зварюванні в неперервному та імпульсному режимах. Технічні дані джерела наведені в табл. 5.3.

Багатопостові системи живлення аргано-дугового зварювання комплектуються транзисторними постовими пристроями типу УДГ-201.

Із шинами багатопостового випрямляча вони з'єднується з допомогою перемикача QF і захисного діода $VD11$. Через малу потужність транзисторів силова частина зібрана з 10 транзисторних модулів $A1$ - $A10$ (рис. 5.43).

Кожний модуль складається із транзистора VT , дроселя L і зворотного діода VD та керує струмом за принципом широтно-імпульсного регулювання (рис. 5.44).

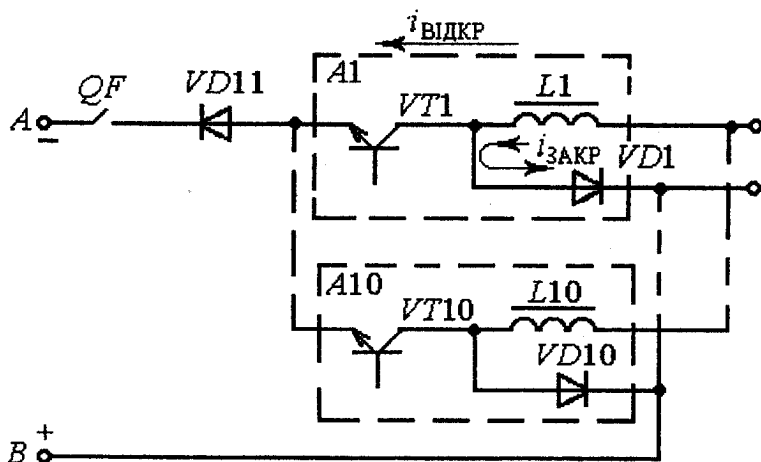


Рис. 5.43. Спрощена електрична схема силової частини пристрою УДГ-201

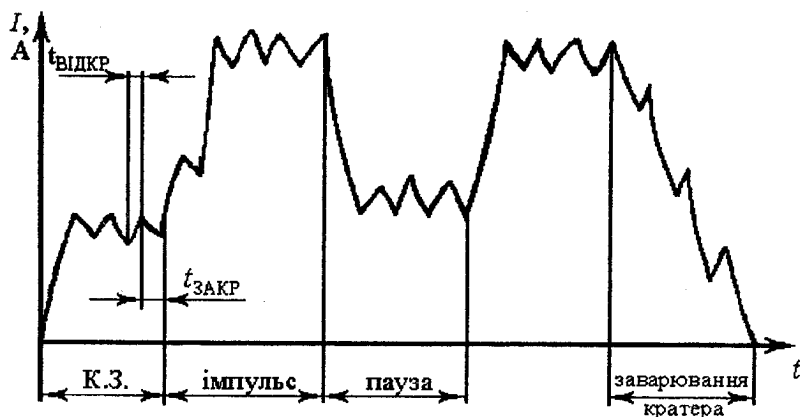


Рис. 5.44. Осцилограми струму при зварюванні джерелом УДГ-201

У відкритому стані транзистора на протязі інтервала $t_{\text{ВІДКР}}$ відбувається нарощування струму, при закритому – в інтервалі $t_{\text{ЗАКР}}$ струм підтримується індуктивністю L з допомогою зворотного діода. При високій частоті перемикачів до 1000 Гц коливання струму незначні. Передбачено контактне запалювання дуги при малому початковому струмі (10–12 А). Після відривання електрода від виробу струм поступово наростає до робочого значення. Передбачено можливість плавного зниження струму при заварюванні кратера і затримки вимикання газу в кінці зварювання. Пристрій може використовуватись також і для зварювання пульсуючою дугою. Технічні характеристики УДГ-201 наведені в табл. 5.3.

5.2.4. Джерела живлення змінного струму для аргано-дугового зварювання

Зварювальні установки типу УДГ-301, УДГ-501 призначені для ручного дугового зварювання змінним струмом виробів з алюмінію та його сплавів неплавким електродом у середовищі аргону. Змінний струм потрібен для руйнування тугоплавкої оксидної плівки, яка утворюється на поверхні деталей і перешкоджає нормальному плавленню металу.

Функціональна схема установок наведена на рис. 5.45.

У цих установках функції знижуючого силового трансформатора та регулятора струму виконує трансформатор T з підвищеним магнітним розсіянням, який має нерухомий підмагнічувальний шунт. Магнітний підсилювач A із самопідмагнічуванням призначено для керування струмом шунта. Пристрій заварювання кратера ПЗК зібраний на транзисторних елементах і працює в колі обмотки керування магнітного підсилювача. Зварювальний струм спадає по експоненціальній кривій, час заварювання кратера регулюється від 0 до 30 с. Збуджувач дуги G , що здійснює її первинне запалювання, та імпульсний стабілізатор горіння дуги змінного струму конструктивно об'єднано і виконано у вигляді самостійного блока. Спадні зовнішні характеристики формуються силовим трансформатором з підвищеними індуктивностями розсіяння обмоток. Магнітопровід трансформатора складається із двох взаємоперпендикулярних стрижнів, які вставлено один в інший. Внутрішній стрижень являє собою магнітний шунт з обмоткою, яка створює магнітнорушійні сили, що не змінюються

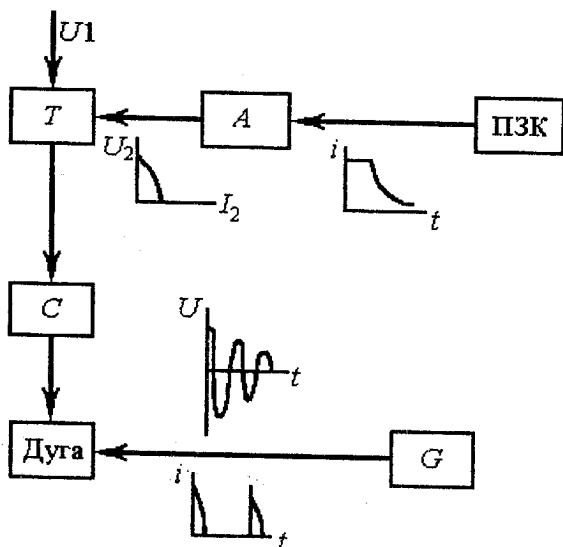


Рис. 5.45. Функціональна схема джерел УДГ-301, УДГ-501

в часі. Первинна та вторинна обмотки трансформатора розміщені симетрично на обох вертикальних стрижнях магнітопровода. Трансформатор виконано з частковим рознесенням обмоток, причому вторинна обмотка складається з двох послідовних котушок (основної та додаткової). Основну обмотку з більшим числом витків розташовано з одного боку шунта, а додаткову – з другого, там, де первинна обмотка. Регулювання струму комбіноване. Ступінчасте (грубе) регулювання здійснюється шляхом послідовного чи паралельного з'єднання котушок трансформатора, а плавне – підмагнічуванням шунта за рахунок зміни величини постійного струму в його обмотці керування. Зварювальний струм має несинусоїдну форму, його крива несиметрична відносно осі часу і містить постійну складову. Для її компенсації передбачено конденсаторну батарею С. Змінна складова, яка індуктується в колі керування шунта, також порушує синусоїдальність зварювального струму. Для придушення змінної складової в колі обмотки керування шунта передбачено допоміжні магнітопроводи з повітряними проміжками, які називаються пакетами розсіяння. Технічні дані установок типу УДГ-301, УДГ-501 наведені в табл. 5.3.

Розглянемо конструкцію установки типу УДГ-501-1, спрощена електрична схема якої наведена на рис. 5.46а.

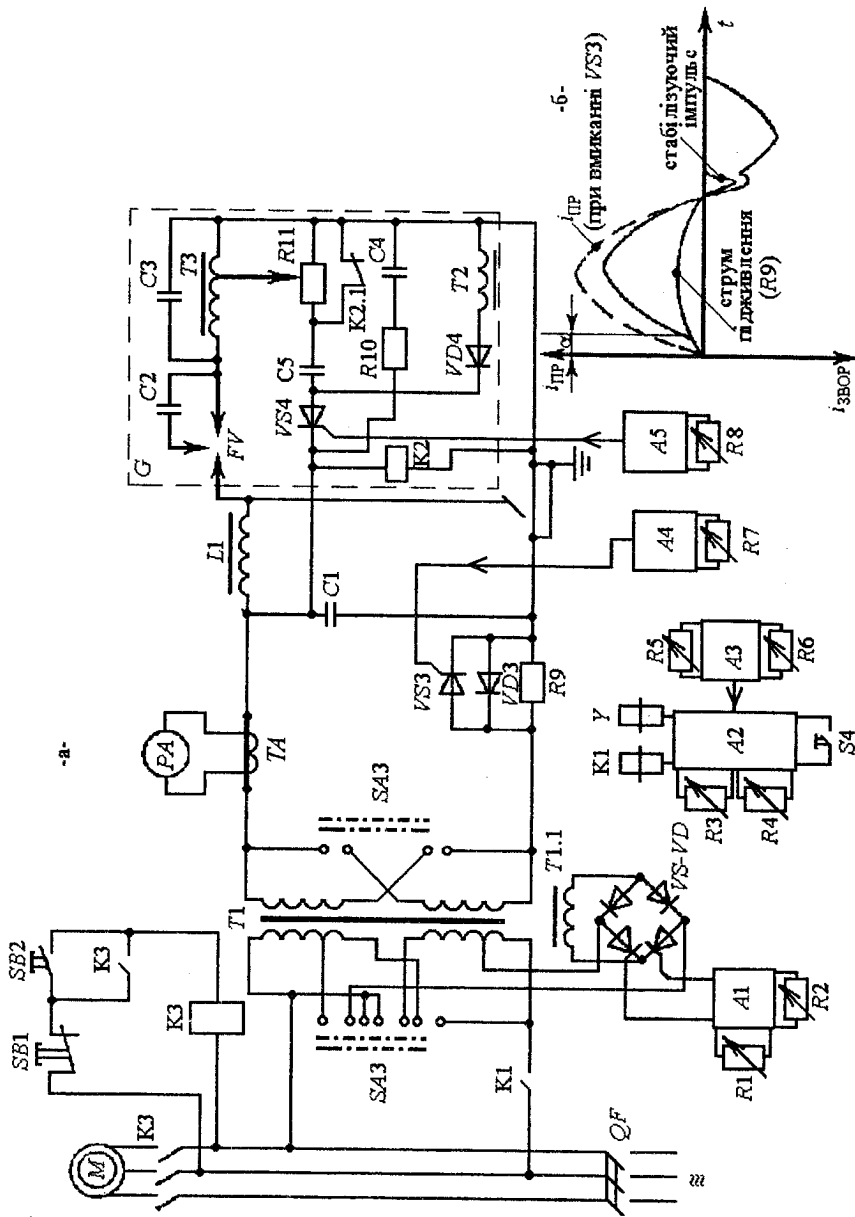
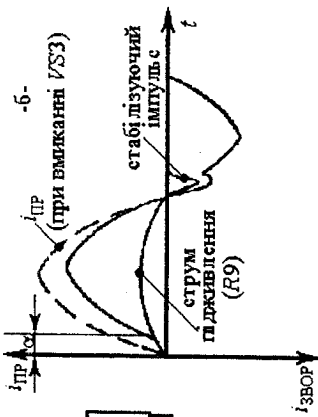


Рис. 5.46. Спрощена електрична схема установки УДГ-501 (а), осцилограми струму (б)



До складу установки входять автоматичний вимикач QF , вентилятор з двигуном M , магнітний пускач $K1$, силовий трансформатор $T1$ з перемикачем $SA3$, діодно-тиристорний блок $VD3, VS3$, пристрій підпалювання G з фільтром $L1-C1$, а також система керування на платах $A1-A5$. Обмотки магнітного шунта силового трансформатора $T1$ живляться від випрямного блоку $VS-VD$, який керується схемою регулювання струму на платі $A1$. Зварювальний струм плавно налагоджується резистором $R1$, а тривалість спаду струму при заварюванні кратера – резистором $R2$. Ступінчасте регулювання струму здійснюється перемикачем $SA3$. Для придушення постійної складової струму слугує $VD3, VS3$, де в півперіоді зворотної полярності струм $i_{звор}$ безперешкодно пропускається діодом $VD3$ (рис. 2.29б). В півперіоді прямої полярності струм $i_{пр}$ проходить через тиристор $VS3$ з затримкою на кут “ α ”, який задається схемою $A4$ і резистором $R7$. Для підвищення стійкості дуги, струм прямої полярності невеликої величини в інтервалі “ $0-\alpha$ ” пропускається через баластовий опір $R9$. Переносний блок G використовується для початкового запалювання зварювальної дуги, а також і для повторного запалювання в півперіоді зворотної полярності. Контакт $K2.1$ розмикається при спрацьовуванні реле $K2$ від напруги неробочого ходу трансформатора $T1$, внаслідок чого блок починає працювати в режимі імпульсного високочастотного збуджувача. При цьому, в півперіоді прямої полярності струму здійснюється заряд конденсатора $C5$ по колу $T2-VD4-C5-R11-T2$. З початку півперіода зворотної полярності схемою $A5$ відкривається $VS4$, внаслідок чого конденсатор $C5$ розряджається по колу $C5-VS4-R10-C4-R11-C5$. З резистора $R11$ імпульс напруги подається на підвищуючий автотрансформатор $T3$ і в контурі обмотки $T3-C3$ виникають високовольтні згасаючі коливання. При пробі розрядника FV на міжелектродному проміжку утворюється напруга з амплітудою до 15 кВ і по каналу іскрового розряду запалюється основна дуга від трансформатора $T1$. Після запалювання дуги її напруга знижується, реле $K2$ відключається, контакт $K2.1$ замикається і блок підпалювання починає працювати як імпульсний стабілізатор. В цьому випадку в півперіоді зворотної полярності при відкритті $VS4$ конденсатор $C5$ видає потужний розрядний імпульс до 500 В на дугу по колу $C5-VS4-L1$ –дуга– $K2.1-C5$ і стабілізуючий імпульс запалює дугу на початку кожного півперіода зворотної полярності. Затримка подачі стабілізуючого імпульса налагоджується резистором $R8$.

Перед початком роботи установки замикають QF і запускають двигун M вентилятора за допомогою пускової кнопки $SB2$ та пускача $K3$.

Потім після натискання $S4$ вмикається електрогазовий клапан Y та силовий контактор $K1$ в черзі, яка задана схемою $A2$ керування зварювальним циклом і $A3$ – обмеження роботи блоку підпалення. Час подачі газу до зварювання регулюється резистором $R3$, а після зварювання – $R4$. Час неперервної роботи блоку підпалення визначається $R5$, а час роботи $T1$ на неробочому ході – регулятором $R6$.

Універсальна установка УДГУ-301 призначена для ручного аргону-дугового зварювання неплавким електродом нержавіючих сталей, титанових, мідно-нікелевих сплавів на постійному струмі, а також алюмінію та його сплавів на змінному струмі. На відміну від установки УДГ-501-1 у ній передбачено вентильний блок $A1$ та блок підживлення $A2$ (рис. 5.47).

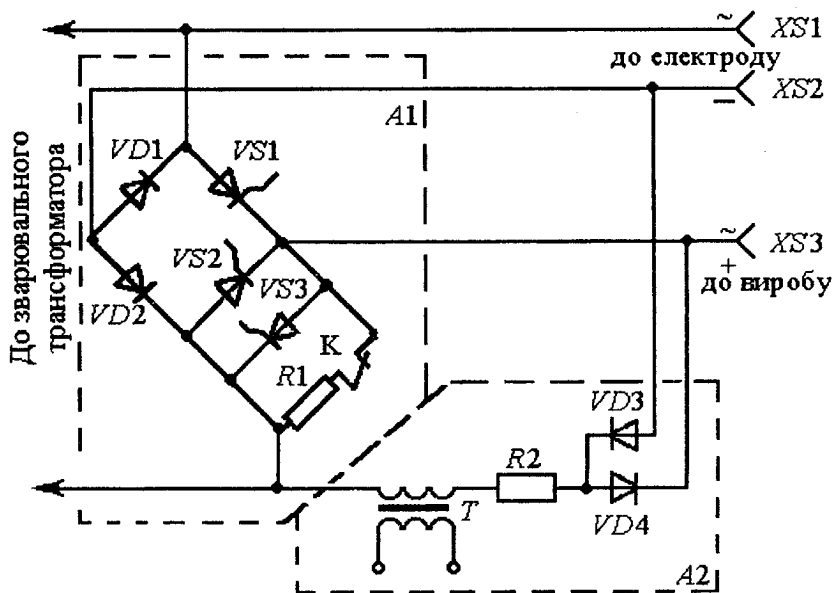


Рис. 5.47. Спрощена електрична схема силовій частини установки УДГУ-301

Живлення дуги змінним струмом здійснюється шляхом почергового вмикання силових тиристорів $VS2$ і $VS3$. Для живлення дуги постійним струмом вмикаються тиристори $VS1$ і $VS2$, які разом з діодами $VD1$ і $VD2$ створюють однофазну мостову схему випрямлення. Для підвищення стійкості горіння дуги провали у кривій випрямленого

струму заповнюються струмом підживлення від блоку, який складається з трансформатора T , баластового реостата $R2$ та діодів $VD3, VD4$. Вентильний блок $VS2-VS3$ також може використовуватись і для компенсації постійної складової струму. У цьому випадку тиристор $VS2$ в колі дуги прямої полярності відкривається із запізнюванням на кут " α ", а баластовий реостат $R1$, який вмикається контактором K , забезпечує необхідний для стійкого горіння дуги струм підживлення.

Установка УДГУ-302 УХЛ4 (рис. 5.48а) містить автоматичний вимикач QF , контактор K , силовий трансформатор $T1$ зі збільшеним розсіянням, вентильний блок $VD1 - VS6$, блок підживлення $VD3, VD4$, R , імпульсний стабілізатор IC і збуджувач дуги G .

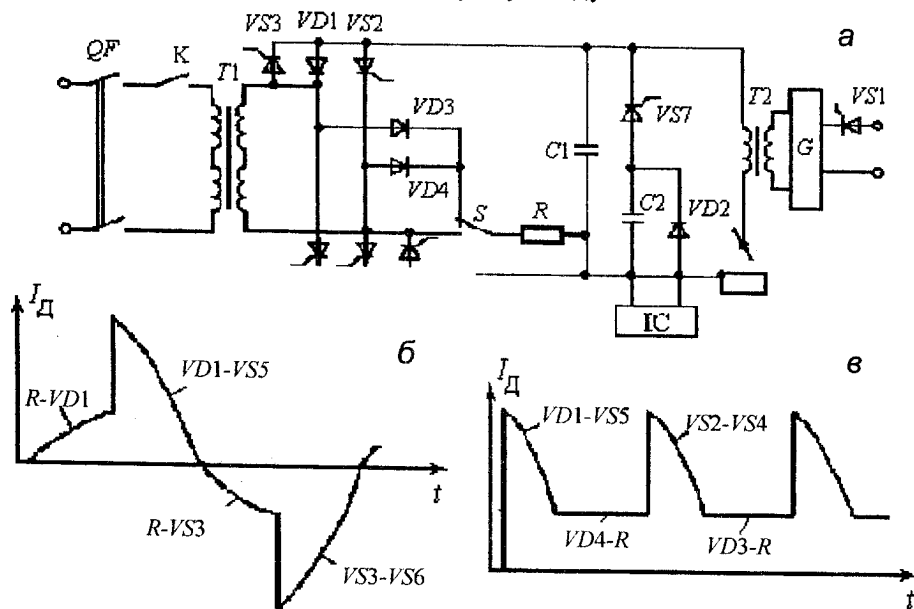


Рис. 5.48. Спрощена схема (а) і осцилограма змінного (б) та постійного струму установки УДГУ-302УХЛ4

При зварюванні на змінному струмі працюють діод $VD1$, нерегульований тиристор $VS3$, що вмикається повнофазно, і регульовані тиристори $VS5, VS6$. Так в півперіоді прямої полярності струм йде по колу $T1-VS5$ -дуга- $VD1-T1$, а в півперіоді зворотної полярності по колу $T1-VS3$ -дуга- $VS6-T1$. За допомогою тиристорів $VS5, VS6$ регулюється струм, формується спадна ВАХ і придушується постійна складова. При зварюванні на постійному струмі працюють діод $VD1$ і тиристори $VS2, VS4, VS5$, утворюючи несиметричну однофазну мо-

стову схему випрямлення, в якій почергово працюють то пара вентилів $VD1, VS5$, то пара $VS2, VS4$. При зварюванні на постійному і змінному струмі використовується блок підживлення. При зварюванні на постійному струмі підживлення при вказаному на схемі положенні контакта S утворено діодами $VD3, VD4$ і баластовим реостатом R . При зварюванні на змінному струмі контакт S перемикається і підживлення йде від трансформатора $T1$ через баластовий реостат R . Осцилограма змінного струму показана на рис. 5.48б, а постійного струму – на рис. 5.48в. Початкове запалювання дуги виконують з допомогою збуджувача G і трансформатора $T2$ вмиканням тиристора $VS1$. Імпульс збуджувача має початкову високовольтну складову, що забезпечує пробій міжелектродного проміжка, і низьковольтну потужну складову, що сприяє розвитку розряда. Конденсатор $C1$ захищає основне джерело від високої напруги збуджувача. При зварюванні на змінному струмі діє також стабілізатор ІС. У півперіоди прямої полярності з допомогою діода $VD2$ заряджається конденсатор $C2$, а на початку півперіоду зворотної полярності він розряджається на дугу при вмиканні тиристора $VS7$. Установка може використовуватися для зварювання пульсуючою дугою, де струми імпульсу і паузи налаштовуються роздільно і плавно. Тривалість імпульсу і паузи регулюються дискретно в інтервалі 0,1–9,9 с.

Установка зварювальна УДГУ-251 АС/DC УЗ.1 призначена для ручного (ММА) та для аргоно-дугового зварювання (TIG) на постійному (DC) та змінному (AC) струмах всіх видів металів і сплавів.

Установка забезпечує безконтактне запалювання в режимі TIG на змінному та постійному струмах.

Установка забезпечує:

- можливість вибору одного з режимів:
- ручне зварювання плавким електродом на постійному струмі (ММА-DC);
- ручне зварювання плавким електродом на змінному струмі (ММА-AC);
- аргоно-дугове зварювання неплавким електродом на постійному струмі (TIG-DC);
- аргоно-дугове зварювання неплавким електродом на змінному струмі (TIG-AC).

▶ Аргоно-дугове зварювання може здійснюватися в режимах “довгі шви” або “короткі шви”.

У режимі *TIG* установка забезпечує:

- при натисканні кнопки на пальнику – продувку газового тракту протягом 0,2–8 с з подальшим увімкненням вихідної напруги;
- регулювання часу плавного наростання струму зварювання від 0,1 до 10 с;
- регулювання плавного зниження струму в кінці зварювання у межах від 0,1 до 10 с;
- регулювання часу продувки протягом 0,2 – 30 с в кінці зварювання;
- збудження дуги дотиком у режимі *MMA* та безконтактне запалювання в режимі *TIG*;
- можливість регулювання очищувальної та проплавляючої здатності дуги в режимі *TIG-AC*;
- можливість підключення пульта дистанційного керування;
- регулювання початкового струму зварювання;
- плавне регулювання зварювального струму.

Випрямляч зварювальний типу ВД-506ДК призначено:

- для зварювання вуглецевих, легованих та корозійно-стійких сталей на постійному струмі (*MMA-DC*) електродами з основним та целюлозним покриттям діаметром 2–6 мм;
- для зварювання неплавким електродом у середовищі аргону (*TIG-DC*) всіх металів, за винятком алюмінію та його сплавів при комплектуванні випрямляча блоком керування зварювальним процесом БУСП-ТИГ та збуджувачем дуги ВСД-02;
- для напівавтоматичного зварювання в середовищі CO_2 або в сумішах CO_2 -аргон (*MAF-DC*) і напівавтоматичного зварювання на постійному струмі в середовищі аргону (*MIG-DC*) при комплектації випрямляча механізмом подачі ПДГО-510Т або ПДГО-511.

Випрямляч забезпечує ступеневе регулювання нахилу зовнішньої вольтамперної характеристики. Технічні характеристики УДГУ-251 та ВД-506ДК наведено в табл. 5.3.

Високочастотна установка типу УДГ-350 УХЛ4 (рис. 5.49) призначена для аргоно-дугового зварювання постійним струмом як неперервною, так і пульсуючою дугою. До її складу входять автоматичний вимикач *QF*, мережевий фільтр *C1-C6*, *L1-L3*, мережевий випрямний блок *VD*, згладжуючий дросель *L4* і чотири транзисторних інверторних модулі *A1-A4*. Кожен інверторний модуль у свою чергу зібраний з 10 транзисторів за однократною півмостовою схе-

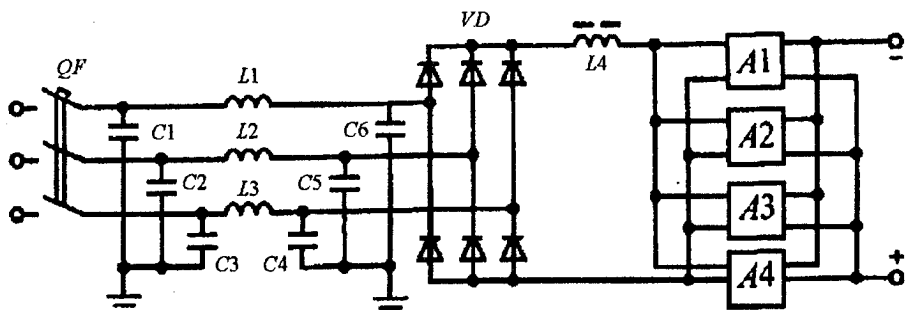


Рис. 5.49. Спрощена електрична схема установки УДГ-350 УХЛ4

мою. У складі кожного модуля містяться власний високочастотний трансформатор і випрямний блок із фільтром.

Завдяки цьому підвищується надійність роботи джерела, оскільки після виходу з ладу одного з модулів установка працює, хоча і при меншому струмі. Частота інвертора сягає 16 кГц. Зовнішні крутоспадні характеристики формуються за рахунок зворотного зв'язку за струмом. Установка забезпечує регулювання струму з високою кратністю, а також плавне наростання струму і заварювання кратера.

Джерела ТИР-ВЧ-160 і ТИР-ВЧ-250 містять тиристорний інвертор і призначені для аргоно-дугового зварювання як в неперервному, так і в імпульсному режимі. Джерело ТИР-ВЧ-250 може також використовуватися для зварювання покритим електродом і для механізованого зварювання в середовищі активних газів.

Установка УДГ-161 являє собою тиристорний випрямляч, що може працювати в імпульсному режимі. Запалювання дуги виконується контактним способом при зниженому струмі. Установку можливо використовувати для запуску автомобільних двигунів і зарядки акумуляторних батарей.

Для побутового використання рекомендована найпростіша установка УДГ-82. Вона містить однофазний трансформатор з рознесеними обмотками і витковим регулюванням на 12 ступенів, діодний випрямляч і газовий клапан. Вона укомплектована збуджувачем ВСД-82, але може працювати і без нього. В останньому випадку дуга збуджується коротким замиканням.

Універсальним джерелом є ТИР-300Д, яке використовується для аргоно-дугового зварювання неплавким електродом постійним струмом прямої полярності та змінним струмом прямокутної форми. Його

також можна застосовувати для ручного зварювання покритими електродами. Джерело забезпечує автоматичний процес зварювання усіх металів, включаючи алюміній та його сплави (табл. 5.3).

Регулювання струму навантаження і його стабілізація, поліпшення форми кривої змінного струму забезпечуються дроселем насичення з роздільними робочими обмотками, які працюють у режимі змушеного намагнічування. Спрощена принципова електрична схема такого дроселя наведена на рис. 5.50, де T_1 і T_2 – стрижні дроселя насичення з розподільними робочими обмотками Wp_2 ; L – лінійна індуктивність, яка увімкнена в коло випрямного моста, зібраного на тиристорах VS_1 – VS_4 ; L_1 –лінійна індуктивність у колі обмотки керування; VD_1 – VD_4 –діоди, які забезпечують необхідний напрямок струму в обмотках дроселя Wp_1 .

Індуктивність L використовується при зварюванні як постійним, так і змінним струмом. При зварюванні постійним струмом міждуговий проміжок вмикається послідовно з L , а при зварюванні змінним струмом – у коло струмових обмоток замість опору R_z . Якщо в котушці із стрижнем створити якусь початкову напруженість магнітного поля за рахунок протікання по її обмотці струму, то при підключенні такої котушки до джерела напруги струм у колі “мережа живлення–котушка” в перший момент після вмикання буде рівний струму до вмикання. Подальше зростання струму (при відповідній полярності напруги U) струм у колі буде визначатися лише величинами напруги U та індуктивності L і часом прикладення напруги. При достатньо великій величині L струм у колі котушки протягом півперіоду незначно збільшиться. Якщо через деякий час лінійну індуктивність підключити до напруги U іншої полярності, то струм почне зменшуватися за величиною за рахунок віддачі в мережу частини енергії, яка накопичується в магнітному полі індуктивності. За умови жорсткого контролю величини додаткового струму режим роботи індуктивності не зміниться, і початкове значення струму залишиться на заданому, встановленому заздалегідь рівні. Залишиться незмінним за величиною і струм у колі “джерело напруги (мережа) – обмотка котушки з індуктивністю L ”. Змінюючи величину початкового струму в лінійній індуктивності L , можна регулювати рівень струму в навантаженні R_z дроселя у певному діапазоні. Вмикання індуктивності L до мережі здійснюється за допомогою тиристорів VS_1 – VS_4 випрямного моста. Завдяки цьому створюються можливості циркуляції струму з мережі

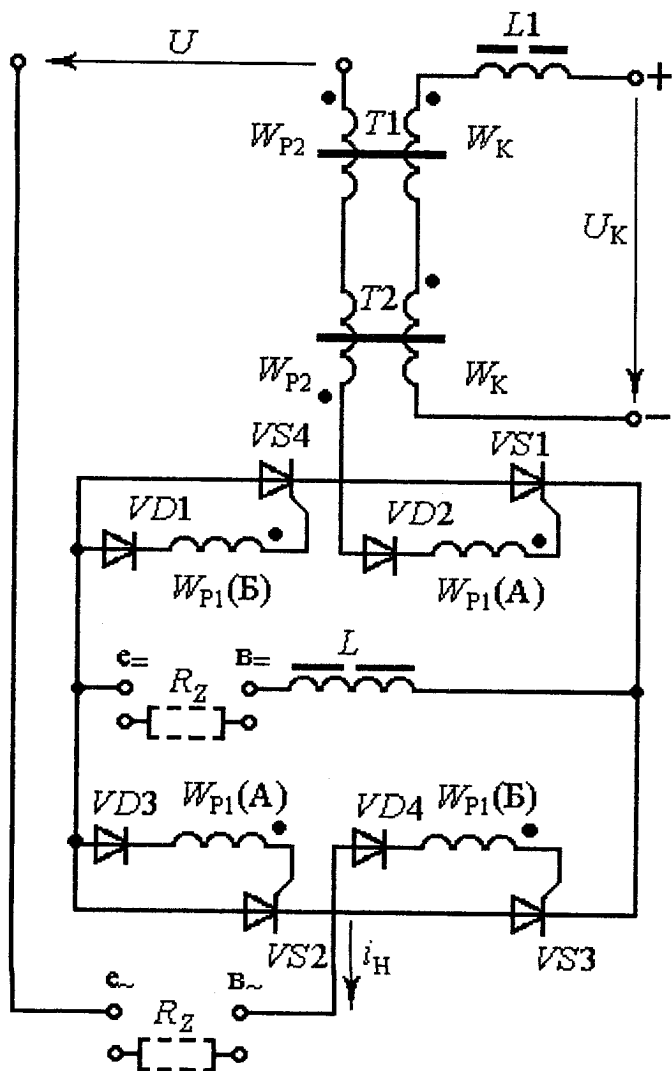


Рис. 5.50. Електрична схема дроселя з розподільними робочими обмотками

до L і назад через навантаження R_Z . Контроль перевищення величини створеного наростання струму порівняно із заданим в індуктивності L та зниження його до встановленого рівня здійснюються за рахунок вмикання і певного порядку роботи тиристорів у межах періоду частоти мережі живлення. Цей контроль проводиться за допомогою малопотужного дроселя насичення, який працює у режимі змушеного намагнічування.

Величина струму I_H в колі навантаження R_Z визначається струмом керування I_K дроселя насичення:

$$I_H = \frac{W_K}{W_p 2} I_K$$

Універсальність застосування дроселів насичення з роздільними робочими обмотками в режимі змушеного намагнічування у джерелах живлення типу ТІР-300Д без додавання допоміжних силових елементів є однією з переваг регуляторів струму даного типу.

Структурна схема джерела типу ТІР-300Д наведена на рис. 5.51.

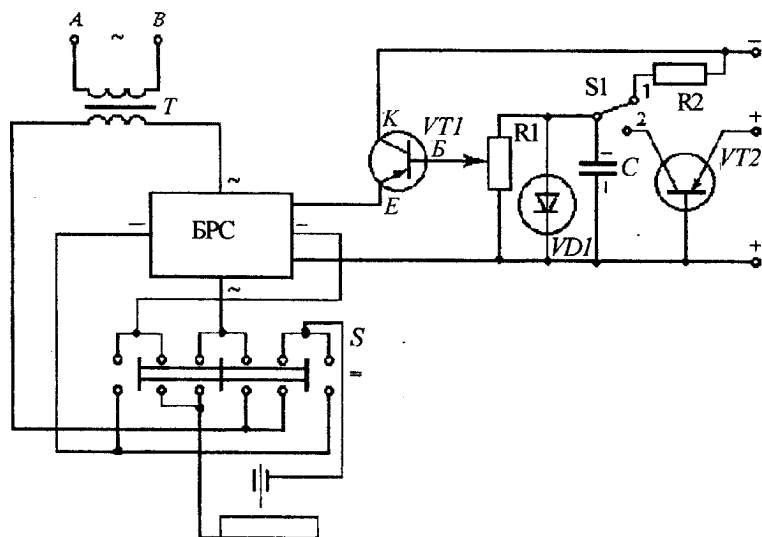


Рис. 5.51. Структурна схема джерела живлення ТІР-300Д

де T —силовий однофазний понижуючий трансформатор із жорсткою зовнішньою характеристикою; БРС—блок регулювання струму, який побудований на базі дроселя насичення з роздільними робочими

обмотками; S –триполюсний перемикач, з допомогою якого здійснюється перемикання джерела для зварювання на постійному чи змінному струмі; $VT1$ –транзистор підсилювача, який зібрано за схемою емітерного повторювача; C –електролітичний конденсатор, який забезпечує (при переведенні перемикача $S1$ в положення 2) зменшення струму в колі керування в кінці зварювання при розряді його на транзистор $VT2$; $R1$ – регулятор струму в колі керування дроселем.

Заряджається C при зварюванні, коли $S1$ знаходиться в положенні 1. У лівому положенні триполюсного перемикача S дуговий проміжок між електродами і виробом “ $e-v$ ” вмикається на клемах “ $e_- - v_-$ ” у колі вторинної обмотки силового трансформатора T послідовно з робочими обмотками W_{p2} дроселя (рис. 5.50). Одночасно клемах “ $e_- - v_-$ ” закорочуються і джерело готується для зварювання на змінному струмі. У правому положенні S дуговий проміжок вмикається на клемах “ $e_- - v_-$ ” в колі L , а клемах “ $e_- - v_-$ ” при цьому закорочуються.

Силове коло джерела має автоматичний захист та комутуючу апаратуру. Збудження дуги на початку зварювання здійснюється з допомогою подання на проміжок “ $e - v$ ” серії високочастотних високочастотних імпульсів напруги, що виробляються осцилятором. Збудження дуги на зворотній полярності при зварюванні на змінному струмі здійснюється шляхом введення послідовно в коло дуги імпульсу напруги тривалістю близько 50 мкс і амплітудою до 400 В. Регулювання струму в межах кожного ступеня плавне.

Для зварювання на змінному струмі випускається також імпульсне джерело живлення типу ИСВУ-315-1 з покращеною формою кривої струму, технічні характеристики якого наведені в табл. 5.3.

Джерело ИСВУ-315-1 (рис. 5.52а) містить трансформатор T з нормальним розсіянням. Тиристорний блок $VS1-VS4$ використовується для формування спадної характеристики та регулювання зварювального струму. При вмиканні тиристорів $VS1, VS3$ по колу $T-VS1-L-VS3$ –дуга- T проходить струм прямої полярності, при вмиканні тиристорів $VS2, VS4$ – струм зворотної полярності і в дузі утворюється змінний струм. Дросель L , що встановлений у діагоналі випрямного блока, нагромаджує енергію при амплітудному значенні струму, що по ньому проходить, а на початку і в кінці півперіоду повертає її. Тому крива зварювального струму має приблизно прямокутну форму, що підтримує стійке горіння дуги (рис. 5.52б). Дросель також перерозподіляє енергію між двома півперіодами, що усуває необхідність у

пристрої придушення постійної складової. До складу джерела входять імпульсний стабілізатор ІС і осцилятор послідовного вмикання G.

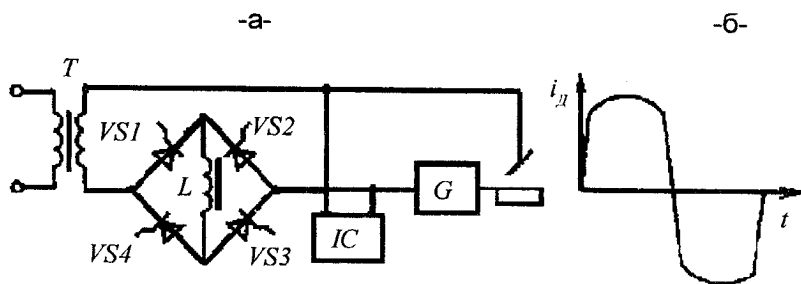


Рис. 5.52. Спрощена схема (а) і осцилограма струму (б) джерела ІСВУ-315-1

Система програмного керування забезпечує плавне наростання та спад струму, а при необхідності й зварювання пульсуючою дугою.

Установка УДС-251 призначена як для аргоно-дугового зварювання, так і для ручного дугового зварювання плавким електродом на змінному струмі. Крім понижуючого трансформатора зі збільшеним розсіянням, вона має тиристорний блок для регулювання струму і придушення його постійної складової. З допомогою тиристорного блока виконується також "холодний пуск", а саме запалювання дуги коротким замиканням при зниженому струмі. До складу установки входить стабілізатор горіння дуги. Установка УДГ-180 являє собою трансформатор з рухомих магнітним шунтом, а УДГ-121 – трансформатор із тиристорним регулюванням. Установка може комплектуватися збуджувачем-стабілізатором ВСД-121.

Пост аргоно-дугового зварювання алюмінію та його сплавів на змінному струмі можна також зібрати на базі зварювального трансформатора типу ТД чи СТШ, із збуджувачем-стабілізатором типу ВСД-01 або пристроєм підпалювання дуги 13РП-80 і конденсаторною батареєю для компенсації постійної складової струму. При зварюванні на невеликих струмах, якщо можливе контактне запалювання дуги, можна використовувати трансформатори типу "Разряд" чи ТДК-315, які укомплектовано імпульсними стабілізаторами.

Для поліпшення якості виконання зварювальних робіт доцільне застосування модульованого зварювального струму, який дозволяє вирішувати такі технологічні проблеми, як зменшення зони перегріву металу, зменшення залишкових напруг та деформацій, проведення

зварювання в будь-яких просторових положеннях без зміни стабільності процесу. Процес модулювання зварювального струму успішно здійснюється з допомогою джерел з індуктивними нагромаджувачами енергії (ІНЕ), які дають можливість у широких межах регулювати параметри процесу, обираючи найбільш оптимальні технології зварювання, і сполучати високо- та низькочастотну модуляцію в одному пристрої. Основною перевагою ІНЕ є виділення у зварювальній дузі постійної величини електричної енергії, яка акумулюється в електромагнітній системі нагромаджувача, що дозволяє підвищити еластичність дуги і стабільність процесу зварювання. Завдяки ЕРС самоіндукції на дуговому проміжку завжди виникає така напруга, яка потрібна для підтримання дугового розряду при даному струмі нагромаджувача, і тому зникає необхідність у застосуванні стабілізаторів дуги.

Розглянемо роботу джерела живлення типу И-126 з індуктивними нагромаджувачами енергії, яке широко застосовується при зварюванні алюмінію та його сплавів різнополярними імпульсами. Спрощена принципова електрична схема силової частини наведена на рис. 5.53.

До складу И-126 входять два автономних джерела постійного струму, які складаються з регульованих випрямлячів $UD1$ і $UD2$, індуктивних нагромаджувачів енергії – дроселів $L1$, $L2$, розподільних діодів $VD1$ і $VD2$, тиристорного комутатора $VS1$, $VS2$, комутувального конденсатора C . Випрямляч $UD1$ з нагромаджувачем $L1$ живить дугу прямої полярності по колу $UD1-L1$ -дуга- $VD2-VS2$, а випрямляч $UD2$ з нагромаджувачем $L2$ живить дугу зворотної полярності по колу $UD2-L2$ -дуга- $VD1-VS1$. На рис. 5.54 наведена часова діаграма струмів нагромаджувачів і струму навантаження.

У момент часу t_1 блоком керування відкривається тиристор $VS1$ і дросель $L1$ нагромаджує електромагнітну енергію за рахунок наростання струму i_{L1} (рис. 5.54 а), протікання якого показано на рис. 5.53 суцільною тонкою лінією. У той самий момент t_1 вимикається $VS2$, але $L2$ підтримує спадаючий струм i_{L2} , віддаючи раніше нагромаджену енергію. При цьому дросель $L2$ живить дугу струмом зворотної полярності по колу, показаному пунктирною лінією (рис. 5.53), і одночасно заряджає конденсатор C . У момент t_2 відкривається тиристор $VS2$ і розрядом по колу $C-VS2-VS1-C$ закривається $VS1$. З моменту t_2 дросель $L2$ починає нагромаджувати, а $L1$ – віддавати енергію,

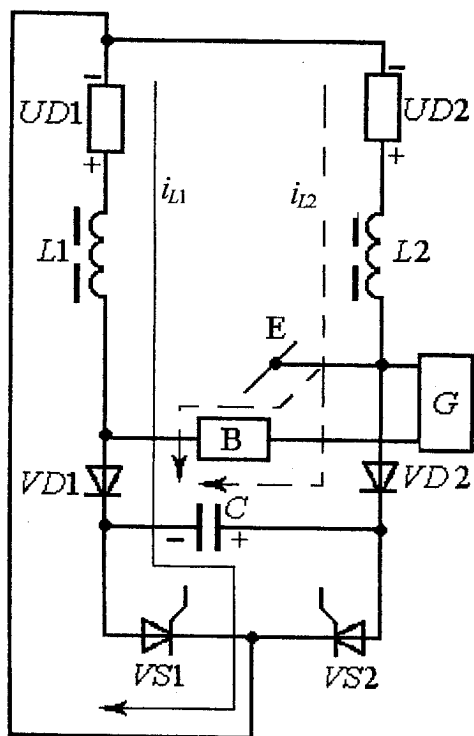


Рис. 5.53. Спрощена електрична схема силової частини джерела з різнополярними імпульсами

підтримуючи струм у дузі прямої полярності і перезаряджаючи конденсатор C до моменту t_3 , коли процеси у джерелі знову повторюються. Таким чином, струм дуги має форму різнополярних імпульсів (рис. 5.54в). Струм обох імпульсів настроюється незалежно і плавно за допомогою випрямлячів $UD1$ та $UD2$. Тривалість імпульсів прямої та зворотної полярності задається блоком керування незалежно один від одного і регулюється в інтервалі $0,004\text{--}0,015$ с. Зазвичай струм і час імпульсу зворотної полярності обирають невеликими, але достатніми для ефективного очищення поверхні деталі. На початку кожного імпульсу завдяки стрибку опору кола в ІНЕ створюється висока ЕРС самоіндукції, яка забезпечує надійне повторне запалювання. Тому джерело не має потреби в імпульсному стабілізаторі дуги. Форма імпульсів струму близька до прямокутної, тому що нагромаджувачі працюють у режимі неповного розряду. Нагромаджувач і випрямляч

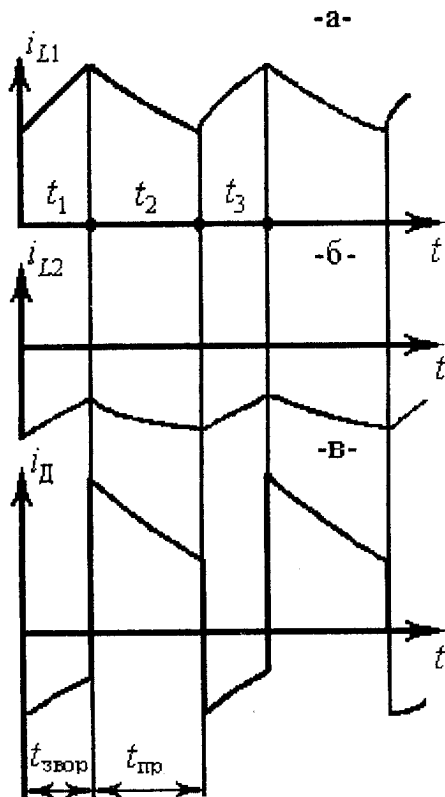


Рис. 5.54. Осцилограми струму нагромаджувача L1 (а), струму нагромаджувача L2 (б), зварювального струму (в) джерела з різнополярними імпульсами

з'єднані послідовно, тому дуга живиться сумарною ЕРС, що дозволяє знизити потужність і габаритні показники джерела. Через високу електромагнітну інерцію нагромаджувачів струм імпульсу при коливаннях напруги дуги не змінюється. Зварювання імпульсною дугою за рахунок крутих фронтів та амплітуд призводить до інтенсивного перемішування розплавленого металу, його дегазації та збільшення глибини проплавлення зварюваного виробу. Зовнішня характеристика джерела крутоспадна. Початкове запалювання дуги здійснюється осцилятором G . Блок керування забезпечує плавне наростання струму на початку і зниження в кінці зварювання, імпульсну модуляцію струму для зварювання пульсуючою дугою. Зварювання пульсуючою дугою металів, за винятком алюмінію, забезпечує термо-

циклічну дію на зварювальну ванну та навколошовну зону, завдяки чому зменшуються зони термічного впливу, залишкові напруги і деформації зварного з'єднання. Утворюються добрі умови для формування якісного шва з високими механічними властивостями.

До високочастотних джерел належить джерело ИПИД-80, функціональну схему якого наведено на рис. 5.55.

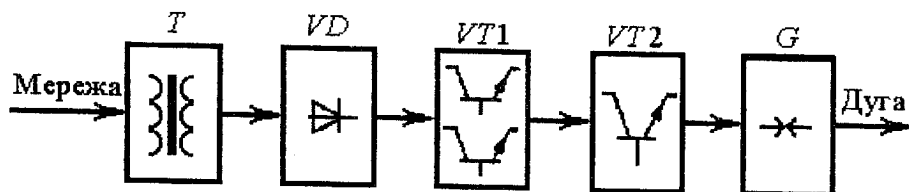


Рис. 5.55. Функціональна схема високочастотного джерела ИПИД-80

Воно містить понижуючий трансформатор T , некерований випрямляч VD , транзисторний регулятор потужності $VT1$, комутатор високочастотних імпульсів $VT2$, осцилятор G і систему керування. Транзисторний регулятор $VT1$ виконує широтно-імпульсне регулювання режиму з частотою 1–2 кГц. Він складається з двох транзисторних ключів, що працюють із зсувом за фазою на 180° . Регулятор, використовуючи сигнали зворотного зв'язку за струмом і за напругою, формує необхідні зовнішні характеристики. Завдяки високій швидкодії транзисторного регулятора джерело може швидко переходити від одного типу характеристики до іншого. Так, при контактному запалюванні дуги протягом десятих долей секунди використовується крутоспадна характеристика, що запобігає перегріву вольфрамового електрода. Після цього за тисячні долі секунди джерело переходить до роботи з пологоспадною характеристикою, при якій завдяки своєрідному саморегулюванню за плавленням основного металу стабілізуються розміри зварювальної ванни.

Транзисторний комутатор $VT2$ генерує уніполярні прямокутні імпульси зварювального струму з частотою 20 кГц і амплітудою до 200 А. Запалювання дуги може виконуватись як контактним, так і безконтактним способом – з допомогою осцилятора G .

Мікропроцесорна система керування задає режим роботи комутатора $VT2$ і формує циклограму роботи джерела. Система може бути доповнена мікропроцесорним модулем-програматором, з допомогою якого можна записувати, зберігати і відтворювати декілька

різних програм. Можливе програмування із заданим часом наростання і спадання струму, циклу із стабілізацією струму і його відключенням за командою оператора, циклу з відключенням після закінчення заданого часу зварювання, циклу з керуванням крутизною вольт-амперних характеристик. Джерело може бути доповнене генератором низькочастотних імпульсів, які подаються в комутатор VT2 і накладаються на його високочастотні імпульси. Така подвійна модуляція забезпечує зварювання пульсуючою дугою з керованим проплавленням деталі, що зменшує небезпеку пропалів і покращує формування шва.

5.3. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ПЛАЗМОВОЇ ДУГИ

5.3.1. Основні процеси плазмово-дугової обробки металів і вимоги до джерел живлення

Стиснута дуга використовується при плазмовому зварюванні, різанні, наплавленні та напиленні, а також плазмово-механічній обробці металів. Плазмове зварювання має багато спільного з аргоно-дуговим зварюванням вольфрамовим електродом, але є більш досконалим способом отримання зварних з'єднань. Дуга, яка вільно горить, при аргоно-дуговому зварюванні в межах малих струмів нестійка (блукає). З підвищенням струму зростає діаметр її стовпа і спадає концентрація теплової потужності на виробі, що призводить до збільшення ширини шва і зони термічного впливу. Крім цього, в результаті віддалення від вольфрамового електрода температура стовпа різко зменшується, таким чином, з підвищенням довжини дуги її проплавляюча властивість зменшується. Тому для отримання стабільної якості зварного шва необхідно чітко підтримувати незмінною довжину дуги, що пов'язане з деякими технічними труднощами. Ці недоліки усуваються при інтенсивному стисканні дуги з допомогою плазмотрону, а дуга при цьому стає плазмовою. Стовп плазмової дуги, який має температуру до 20000 К, жорстко стабілізований по осі електрода. Висока концентрація його теплового потоку на виробі дозволяє отримувати зварні з'єднання з глибоким проплавленням і відносно невеликої ширини при підвищенні швидкості зварювання. При цьому значно зменшується зона термічного впливу, внаслідок чого підвищується якість з'єднань із спеціальних сплавів, а

при зварюванні тонколистових конструкцій – знижується їх деформація. Підвищення глибини проплавлення в 1,5–2 рази у порівнянні зі зварюванням дугою, яка вільно горить, дозволяє за один прохід з'єднувати метали товщиною до 30 мм. Невеликі розміри та висока стабільність горіння стиснутої дуги дає можливість застосовувати її і для зварювання тонких металів від 0,1 мм і вище на струмах до 25 А без пропалів і непроварів. Цей вид зварювання називається мікроплазмовим.

При плазмовому зварюванні дуга горить поетапно (рис. 5.56).

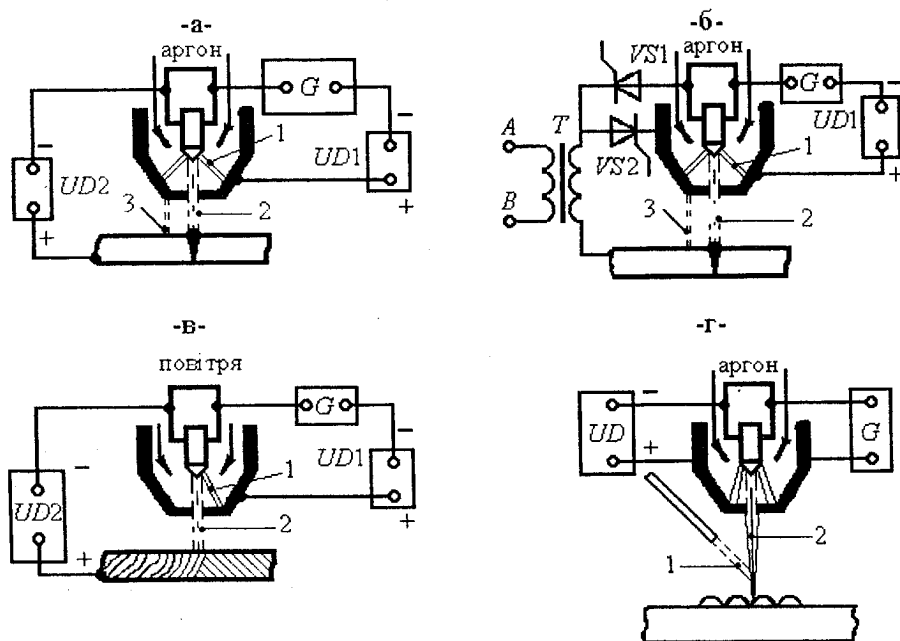


Рис. 5.56. Схеми плазмових процесів: зварювання на постійному струмі (а), зварювання на змінному струмі (б), різання (в), напilenня (г)

Спочатку запалюється чергова дуга –1, яка горить між електродом та соплом. Плазмовий струмінь, який видувається із сопла, торкається виробу, внаслідок чого між електродом та виробом утворюється основна дуга–2. Після цього чергова дуга гасне. У разі різкого зростання струму, недостатніх витрат газу та інших порушень режиму зварювання основна дуга може перекинутись на сопло і викликати так зване "подвійне дугоутворювання" (дуга–3), що призводить до

руйнування сопла та порушення технологічного процесу. Початкове запалювання дуги виконується осцилятором або збуджувачем G послідовної дії. Для підтримування горіння чергової дуги використовується слабопотужний випрямляч $VD1$ із струмом до 20 А, який має крутоспадну зовнішню характеристику. Основне джерело постійного струму $UD2$, яке створює крутоспадну ВАХ для забезпечення стійкості дуги і стабільності проплавлення, використовується при зварюванні більшості металів на струмі прямої полярності.

Зварювання алюмінієво-магнієвих сплавів, титану та цирконію здійснюється на постійному струмі зворотної полярності або змінному струмі. Зварювання на змінному струмі через низьку стійкість вольфрамового електрода застосовується обмежено. Один із способів зварювання тонколистового алюмінію (рис. 5.56б) полягає в тому, що основна дуга – 2 прямої полярності, яка горить між електродом і виробом, живиться від трансформатора T через тиристор $VS1$. Від того ж трансформатора через тиристор $VS2$ живиться дуга зворотної полярності – 3, яка горить уже між соплом і виробом. Висока стійкість електрода забезпечується в даному випадку при зварюванні у півперіоді прямої полярності. Надійному повторному запалюванню сприяє чергова дуга – 1, яка горить безперервно.

Одним із способів підвищення концентрації теплового потоку a , відповідно, і продуктивності процесу, є використання при плазмовому зварюванні імпульсного або пульсуючого струму. Імпульсне введення тепла в метал розширює зону регулювання теплового режиму зварювання. Протягом пауз для стабільності процесу горить малоамперна чергова дуга.

Плазмове різання забезпечує розплавлення металу стисненою дугою і виведення його з порожнини розрізу за рахунок кінетичної енергії плазмового струменя–2 (рис. 5.56в). Плазмоутворюючими газами обирають водень або азот, які мають велику теплоємність. Якщо в якості електродів використовуються стійкі до окислювального середовища цирконієві або гафнієві термокатоуди, то різання виконується в середовищі стисненого повітря. Застосовується і різання в середовищі аргону. Порівняно з кисневим різанням плазмове, забезпечуючи якість розрізу, може застосовуватися для різання кольорових металів та їх сплавів, нержавіючих та інших спеціальних сталей, чавунів і т. п. При різанні застосовується плазмова дуга прямої дії, яка відрізняється від зварювальної більш високим ступенем стиснення стовпа і, отже, більшою концентрацією теплового потоку та швид-

кістю потоку плазмового струменя. Завдяки термічному і механічному впливу стовп дуги проникає і заглиблюється в середину металу, виплавляючи і видуваючи метал з порожнини розрізу. На відміну від кисневого факела, для врізання якого потрібно витратити деякий час на місцевий підігрів металу до температури його розплавлення, плазмова дуга завдяки власній високій температурі врізається в метал миттєво. Довжина дуги з урахуванням великої внутрішньосоплової складової може сягати до 200 мм. Градієнт потенціалу в стовпі дуги також великий і в середині сопла може складати до 20 В/мм. Тому напруга різальної дуги значно вища, ніж при зварюванні, і може сягати до 300 В. Напруга неробочого ходу джерела може перевищувати 350 В. Зовнішня характеристика джерела повинна бути "штиковою", тобто майже вертикальною спадною з величиною диференціального опору $R_{джр}$ не нижчою за 5 В/А.

Процес плазмово-механічної обробки металів (стругання, токарна обробка) подібний до процесу плазмового різання. Плазмова дуга розігріває поверхню виробу, що приводить до значного підвищення продуктивності чорного зняття твердого поверхневого шару матеріалу, який важко піддається обробці. Вимоги до джерела живлення аналогічні вимогам до джерел для плазмового різання.

Плазмові наплавлення та напилення широко застосовуються при відновленні зношених поверхонь. З метою зниження вартості виготовлення деталі робочу поверхню покривають більш дорогим жароміцним, зносостійким сплавом. Використовуючи в якості захисних покриттів різні за складом металеві і неметалеві матеріали, можна надати деталям в цілому потрібні механічні, теплові, діелектричні та інші властивості. Матеріал покриття, який спеціально виготовлений у вигляді дрібногранульованого порошку чи дроту-1, подається в потік плазмового струменя-2 і, розплавляючись, переноситься на виріб (рис. 5.56г). Незважаючи на певні загальні властивості, процеси плазмового наплавлення та плазмового напилення істотно відрізняються один від одного. Для плазмового наплавлення найбільш широко застосовується плазмотрон комбінованої дії. При горінні незалежної дуги між вольфрамовим електродом та соплом плазмотрону відбувається розплавлення присаджувального металічного порошку, а при горінні дуги між електродом і виробом поверхня останнього нагрівається і забезпечується сплавлення основного та присаджувального металів. При плазмовому наплавленні як плазмоутворювальний та захисний газ використовується аргон.

На відміну від наплавлення процес напилення характеризується більшою концентрацією теплового потоку і високою швидкістю витікання плазмового струменя. Це пов'язано з тим, що при плазмовому напиленні застосовуються тугоплавкі метали (вольфрам, молібден; тантал та інші) або окисли металів, силіциди, карбіди, бориди та ін. неметалеві матеріали, які мають високу температуру плавлення. Ці матеріали у вигляді дрібногранульованого порошку, проходячи крізь плазмовий струмінь, встигають нагрітися в основному тільки до стану пластичності. Однак завдяки високій швидкості плазмового струменя, частинки порошку набувають значної кінетичної енергії і при зіткненні з поверхнею розплющуються, та заповнюють нерівності. При цьому кінетична енергія частинок виділяється у вигляді тепла, що і забезпечує міцне зчеплення частинок між собою та з поверхнею виробу. Для напилення використовується плазмова дуга непрямої дії, яка горить між вольфрамовим катодом та охолоджуваним водою мідним соплом (анодом) і виводиться через сопло у вигляді плазмового факела. Окреме джерело чергової дуги при плазмовому напиленні не потрібне. Інші вимоги до джерел для плазмового наплавлення або напилення подібні вимогам до джерел для плазмового зварювання.

5.3.2. Джерела живлення для плазмового зварювання

Для плазмового зварювання неплавким електродом постійним струмом прямої і зворотної полярності широко застосовуються установки серії УПС. На прямій полярності ними виконується зварювання виробів із міді, її сплавів і корозійно-стійких сталей, на зворотній полярності – виробів із алюмінію та його сплавів.

Установка типу УПС-301 застосовується для ручного дугового зварювання в неперевному та імпульсному режимах і може бути використана для зварювання як стисненою, так і вільною дугою.

Установка типу УПС-501 призначена для механізованого зварювання в неперервному режимі.

До складу установок входять джерело живлення тиристорного типу, плазмотрони. До установки для механізованого зварювання додається також самохідна зварювальна головка, блок приводів механізмів переміщення головки і подачі електродного дроту, блок апаратури для подачі плазмоутворюючих та захисних газів. Установки типу УПС забезпечують збудження чергової дуги між електродом і соплом, збудження зварювальної дуги між електродом плазмотрону

та виробом, плавне нарощування струму після збудження основної дуги і плавне зниження його в кінці зварювання, роботу газового клапана за заданим циклом.

Спрощена принципова електрична схема силової частини УПС-301 наведена на рис. 5.57.

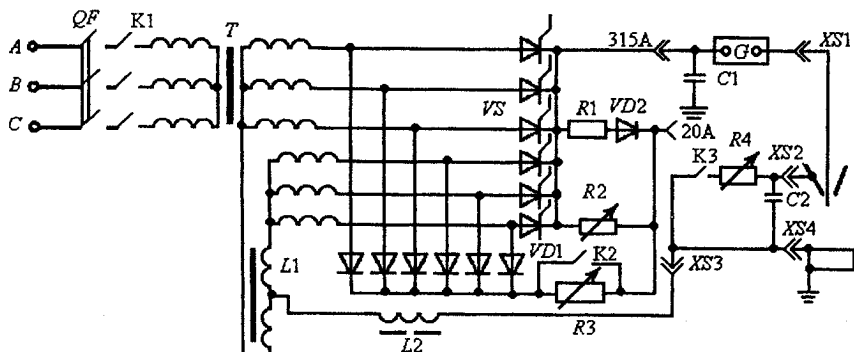


Рис. 5.57. Спрощена електрична схема силової частини установки плазмового зварювання УПС-301

Джерело підключається до напруги мережі автоматичним вимикачем QF та магнітним пускачем (на схемі не показаний). Трифазний зварювальний трансформатор з нормальним магнітним розсіянням подає напругу на тиристорний випрямний блок VS , який зібрано за шестифазною мостовою схемою випрямлення зі зрівнювальним реактором $L1$. Крутоспадна зовнішня характеристика формується за рахунок зворотного зв'язку за струмом. Згладжування пульсацій випрямленого струму здійснюється дроселем $L2$. Для ступінчастого регулювання зварювального струму в джерелі передбачено два роз'єми, які відповідають діапазонам на 20 та 315 А. При підключенні до роз'єму на 20 А струм обмежують баластові опори $R1$ і $R2$ з вентилям $VD2$. Підживлення дуги для усунення провалів струму забезпечується допоміжним випрямним блоком $VD1$ через баластові резистори $R2$ і $R3$, один з яких може бути увімкнений з допомогою контактора $K2$. Високовольтний розряд від пристрою підпалювання дуги G замикається через конденсатори $C1$ – $C2$ і “землю” на проміжок “електрод–сопло” при плазмовому зварюванні стисненою дугою і на проміжок “електрод–виріб” при аргоно-дуговому зварюванні вільною дугою. Для живлення чергової дуги в переносному блоці міститься баластовий реостат $R4$, який з допомогою $K3$ підключається до ос-

новного джерела. В установці передбачено блок імпульсного зварювання, який забезпечує незалежне регулювання тривалості імпульсу і паузи від 0,08 до 1,0 с. В УПС-301 передбачено також перемикання зварювання на неперервний, імпульсний чи точковий режим. Регулювання тривалості імпульсу і паузи – дводіапазонне із ступінчастим регулюванням у кожному з діапазонів. Перший діапазон забезпечує тривалість імпульсу та паузи в межах від 0,08 до 0,3 с з рівномірною розбивкою його на 10 значень, інший – в межах від 0,3 до 1 с. Точкове дугове зварювання із заданим часом постановки точки виконується при короткотривалому натисканні на педальну кнопку установки. Подібну конструкцію має і установка для механізованого наплавлення типу УПН-303.

Установка УПС-804 призначена для механізованого плазмового зварювання у середовищі вуглекислого газу постійним струмом на прямій полярності маловуглецевих і низьколегованих сталей товщиною від 6 до 12 мм. Вона складається із самохідної підвісної головки з направляючою балкою, тиристорного випрямляча, зібраного за шестифазною кільцевою схемою, блока керування і блока апаратури. Збудження зварювальної дуги здійснюється при подачі напруги неробочого ходу від джерела живлення. При цьому з допомогою збуджувача між електродом і соплом плазмотрону запалюється допоміжна дуга. При доторканні факелом поверхні виробу збуджується основна дуга між електродом і виробом. Схема керування виконана на напівпровідникових елементах і забезпечує роботу установки в автоматичному, ручному і налагоджувальному режимах. Робота схеми установки подібна до роботи УПС-501. Технічні характеристики вказаних вище установок наведені в табл. 5.4.

Установка для мікроплазмового зварювання типу МПУ-4 призначена для ручного зварювання чорних, кольорових, легких та тугоплавких металів і сплавів малих товщин (від 0,1 до 1,5 мм залежно від фізико-хімічних властивостей зварювального металу і типу шва). Вона може бути використана і як джерело живлення для механізованих видів мікроплазмового зварювання.

Установка забезпечує чотири режими роботи:

– режим “А” – зварювання постійним струмом прямої полярності з плавним регулюванням струму від 2,5 до 30 А;

– режим “В” – зварювання імпульсним струмом прямої полярності з плавним регулюванням струму від 2,5 до 30 А і дискретним регулюванням тривалості імпульсів та пауз в межах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с;

– режим “С” – зварювання імпульсним струмом різної полярності з плавним регулюванням струму прямої полярності від 2,5 до 30 А і дискретним регулюванням тривалості імпульсів струму прямої полярності в межах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с, а також струму зворотної полярності від 4 до 12 А і тривалістю імпульсів струму зворотної полярності в межах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с;

– режим “Д” – зварювання постійним струмом зворотної полярності з плавним регулюванням струму від 4 до 12 А.

Технічні дані МПУ-4 подані в табл. 5.4, спрощена принципова електрична схема наведена на рис. 5.58.

До складу установки входять: силовий трансформатор T_1 , джерело дуги прямої полярності A_1 і зворотної полярності A_2 , джерело чергової дуги A_3 , тиристорний комутатор A_4 , імпульсний стабілізатор A_5 , збуджувач дуги G і система керування. У складі джерела є три вторинні обмотки трансформатора T_1 зі спадною ВАХ, випрямний блок VD_1 та згладжуючий дросель L_1 . Ступінчасте регулювання струму забезпечується контакторами K_1 і K_4 (на схемі не наведені), які перемикають обмотки в положення “Y” – “Δ”. Плавна зміна струму відбувається за рахунок переміщення котушок вторинних обмоток.

До складу джерела A_2 входять рухомі вторинні обмотки трансформатора T_2 зі спадною характеристикою, випрямний блок VD_2 . Джерело A_3 живить чергову дугу між соплом і електродом. До його складу входять нерухомі вторинні обмотки трансформатора T_3 , випрямний блок VD_3 , контактор K_3 (на схемі не наведено) з нормально відкритими контактами K_3 , баластовий реостат R_3 . Тиристорний комутатор A_4 підключає джерела A_1 і A_2 до навантаження в певній послідовності. До його складу входять силові тиристори VS_1 і VS_2 , комутуючі конденсатори C_1 , C_2 і діоди VD_4 , VD_5 . Стабілізатор дуги A_5 подає пікові імпульси на початку півперіоду зворотної полярності за рахунок розряду конденсатора C_3 на дугу через VS_3 . Імпульсний збуджувач G послідовної дії запалює чергову дугу високовольтним розрядом на проміжку електрод-сопло.

При роботі установки в режимі “А” (зварювання постійним струмом прямої полярності) блок керування відкриває тиристор VS_1 , внаслідок чого на дугу подається струм прямої полярності по колу “ VD_1 - L_1 -дуга- VD_4 - VS_1 - VD_1 ”.

У режимі “В” (зварювання імпульсним струмом прямої полярності) спочатку відкривається VS_1 , внаслідок чого починається імпульс

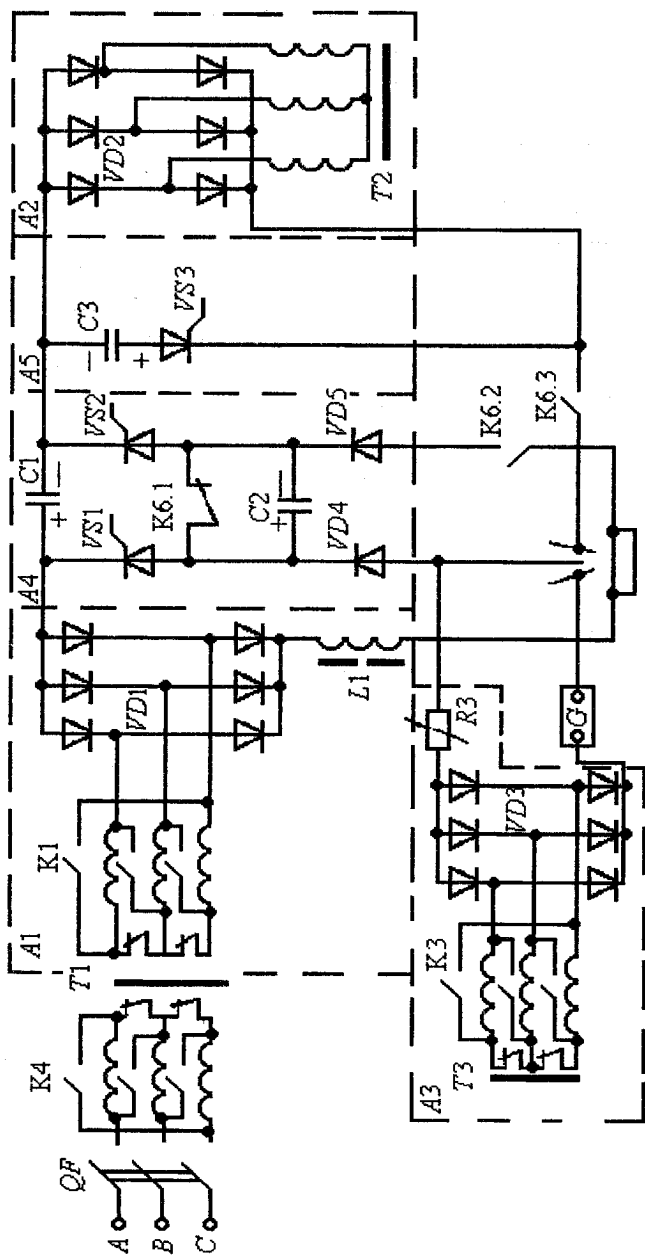


Рис. 5.58. Спрощена електрична схема силової частини установки мікроплазмового зварювання МПУ-4

струму. Після закінчення часу імпульсу відкривається тиристор VS2. При цьому раніше заряджений конденсатор C1 комутатора розрядиться по колу "C1-VS1-K6.1-VS2-C1", завдяки чому VS1 закриється і струм у дузі зникне. Після закінчення часу паузи знову відкриється VS1 й імпульс повторюється.

При зварюванні в режимі "С" (зварювання різнополярними імпульсами) контакт K6.1 роз'єднує аноди тиристорів VS1 і VS2, а контакти K6.2 і K6.3 підключають джерело A2. При включенні VS1 проходить імпульс струму прямої полярності від джерела A1. При увімкненні VS2 розрядом C1 закривається тиристор VS1, а також створюється імпульс струму зворотної полярності від джерела A2 по колу "VD2-K6.3-сопло-виріб-K6.2-VD5-VS2-VD2". В імпульсі зворотної полярності вольфрамовий електрод не навантажений, що значно підвищує його стійкість. Одночасно з VS2 вмикається VS3, і конденсатор C3 розряджається на дугу, що сприяє її повторному запалюванню. Для припинення імпульсу зворотної полярності знову вмикається тиристор VS1, внаслідок чого VS2 вимикається розрядом раніше зарядженого C2 по колу "C2-VS1-C1-VS2-C2". При цьому знову починається імпульс струму прямої полярності, і цикл повторюється.

У режимі "Д" (зварювання постійним струмом зворотної полярності) замикається контакт K6.3 і при відкриванні VS2 джерело A2 неперервно живить дугу між соплом і виробом. Пускач K6 на схемі не наведено.

Для плазмового зварювання неперервною та пульсуючою дугою розроблено інверторне джерело живлення типу МПА-160, яке має широкий діапазон регулювання параметрів, малу вагу і габарити.

Апарат Н-136 використовується для плазмового зварювання алюмінію на змінному асиметричному струмі. Ним можна також здійснювати зварювання і на постійному струмі. Технічні характеристики цих джерел наведені в табл. 5.4.

5.3.3. Джерела живлення для плазмового різання

Установкою для плазмового різання є апарат типу АВПР-2, призначений для повітряно-плазмового різання чорних та кольорових металів та їхніх сплавів. В комплект апарата входять трансформаторний блок, шафа керування і плазмовий різак типу ВПР-9.

Трансформаторний блок складається з трьох зварювальних трансформаторів типу ТД-500, первинні і вторинні обмотки яких мо-

зуть вмикатися в положення “зірка” чи “трикутник”. Щоб уникнути перекошення фаз, показники регуляторів струму трансформаторів завжди повинні бути встановлені в однакові положення на всіх трьох трансформаторах. Спрощена принципова електрична схема АВПР-2 подана на рис. 5.59.

Вмикання апарата можливе за умови, якщо закриті його двері, надходить вода для охолодження силового випрямного блока і плазмового різачка, а також здійснюється подача повітря в плазмотрон. Напруга мережі подається на кола керування. При цьому отримує живлення випрямний міст $VD7$ – $VD10$, вмикається реле $K4$, яке своїми контактами розмикає коло котушки контактора $K5$. Одночасно заряджається конденсатор $C2$. При натисканні кнопки $S1$ “Пуск” вмикається магнітний пускач $K2$, контакти якого $K2.1$ підключають до мережі трансформатори $T1$, $T2$, $T3$. Через силовий випрямний блок $VD1$ – $VD6$ подається напруга на плазмотрон. Одночасно вмикається контактор допоміжної дуги $K3$, який своїми контактами підключає сопло плазмового різачка до випрямляча і включає пристрій блока підпалювання дуги ППД, відключає коло живлення вольтметра PV . Відбувається пробій проміжку між електродом і соплом плазмотрона, виникає допоміжна дуга. Її факел видувається із сопла та торкається виробу, виникає основна різальна дуга, струм якої обмежений опором $R1$ і достатній для вмикання реле $K1$. Контакти $K1$ вмикають проміжне реле $K6$, контакти якого $K6.4$, $K6.3$, $K6.1$ в свою чергу блокують кнопку “Пуск”, включають у коло лічильник кількості різань ЛР і вимикають котушку контактора допоміжної дуги $K3$. Блок підпалювання припиняє роботу, розмикається коло живлення чергової дуги. Одночасно контакти $K6.2$ розмикають коло котушки $K4$, з витримкою часу $0,5$ с, що визначається параметрами кола $R3$ – $C2$, вмикають контактор $K5$, де $K5.1$ шунтує $R1$. Струм основної дуги збільшується до величини, яка задається регуляторами струму силових трансформаторів. При натисканні кнопки “Стоп” $S2$ розмикається коло пускача $K2$, контакти якого відключають від мережі трансформатори $T1$, $T2$, $T3$, і плазмова дуга згасає.

Установка для автоматичного повітряно-плазмового різання типу АПР-404 призначена для комплектування стаціонарних різальних машин. Спрощена принципова електрична схема силової частини апарата наведена на рис. 5.60.

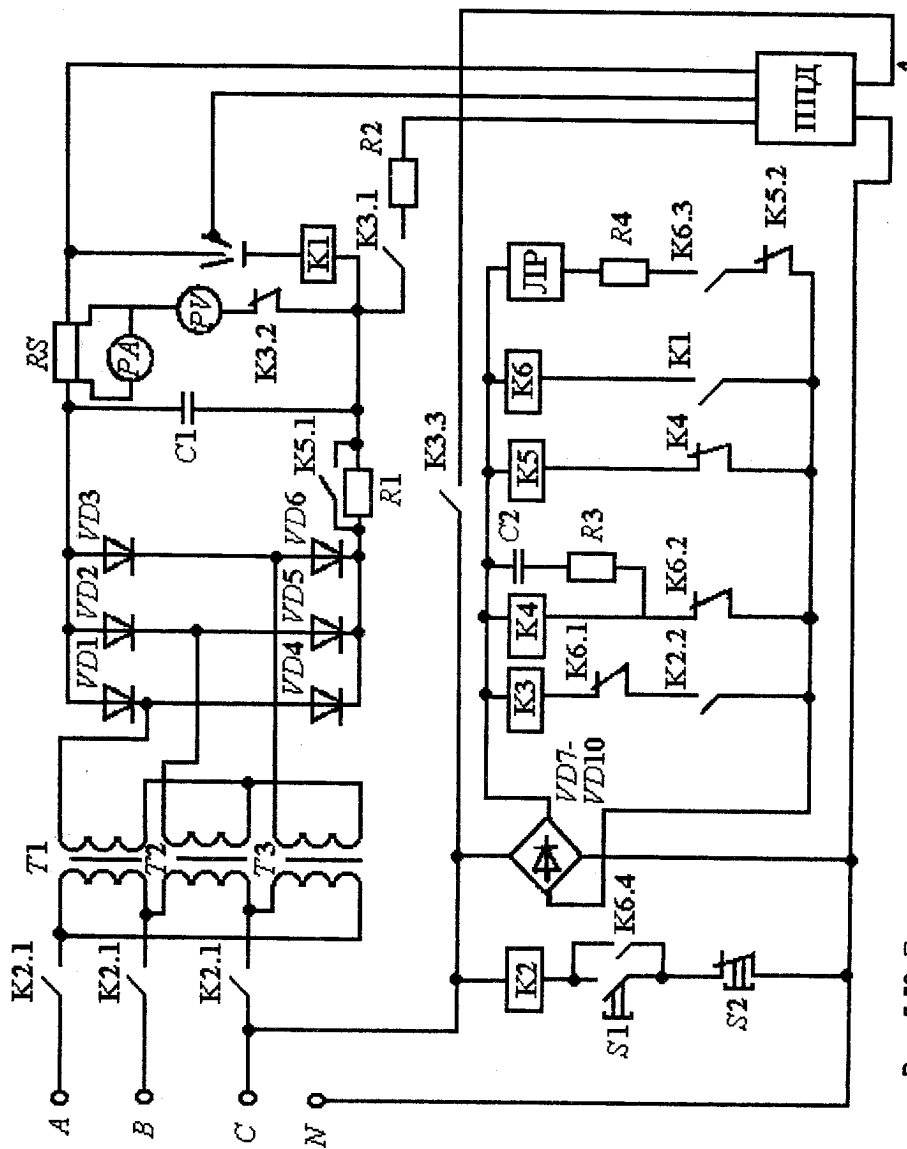


Рис. 5.59. Принципова електрична схема установки плазмового різання АВРР-2

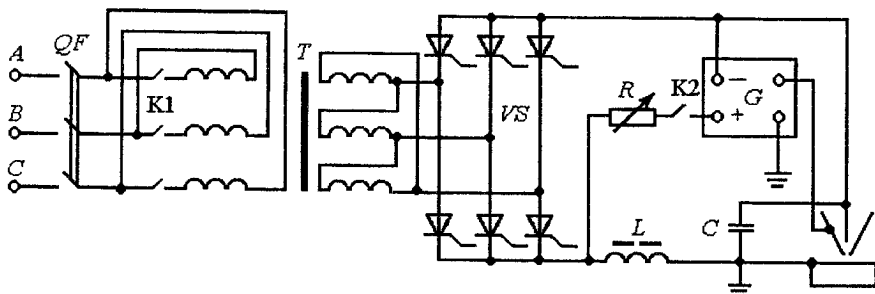


Рис. 5.60. Спрощена електрична схема установки для плазмового різання АПР-404

Напруга мережі через автоматичний вимикач QF та магнітний пускач $K1$ (на схемі не наведено) подається на силовий трансформатор T з нормальним магнітним розсіянням. Тиристорний блок VS застосовується для випрямлення та плавного регулювання струму різальної дуги, а також для формування крутоспадної зовнішньої характеристики за рахунок зворотного зв'язку за струмом. Живлення допоміжної дуги здійснюється від основного джерела через баластовий опір R і контактор $K2$. Для запалювання допоміжної дуги використовується імпульсний збуджувач G типу ВІР-101, який вмикається послідовно в коло джерела чергової дуги. Дросель L призначений для згладжування пульсацій випрямленого струму. При замиканні $K2$ спрацьовує G , і його високовольтний розряд замикається по колу "G-сопло-електрод-С-земля-G". При цьому запалюється чергова дуга між соплом – електродом плазмотрона, і її струм іде по колу "VS-R-K2-G-сопло-електрод-VS". Після торкання плазмовим струменем виробу запалюється різальна дуга від основного джерела. При цьому чергова дуга гаситься розмиканням контакту $K2$, а струм різальної дуги плавно збільшується до заданого значення.

Подібну схему мають установки типу УПР-201 і АПР-402.

Функціональна схема системи керування силовими тиристорами установки АПР-402 наведена на рис. 5.61.

У процесі горіння дуги струм навантаження I_n протікає від силового трансформатора T через тиристорний випрямляч VS . Сигнал зворотного зв'язку формується трансформаторами струму $ТС$, які встановлені у вторинній обмотці трансформатора T . Отримана напруга зворотного зв'язку U_{33} , пропорційна зміні робочого струму після випрямлення блоком VD , надходить на схему порівняння СП1.

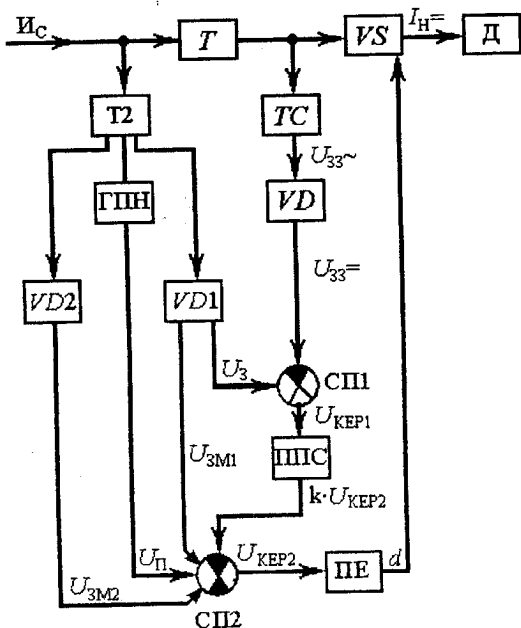


Рис. 5.61. Функціональна схема системи керування установкою плазмового різання АПР-402

З виходу схеми порівняння сигнал $U_{KEP1} = U_3 - U_{33}$, де U_3 – задана напруга, яка поступає на вхід підсилювача постійного струму ППС. З виходу ППС підсилена напруга kU_{KEP2} подається на вхід схеми порівняння СП2. На інші входи СП2 надходять:

- напруга зміщення U_{3M1} зі стабілізованого випрямляча VD1;
- напруга зміщення U_{3M2} зі стабілізованого випрямляча VD2;
- пилкоподібна напруга $U_{П}$ генератора пилкоподібної напруги ГПН.

Напруга U_{KEP2} з виходу СП2 подається на пороговий елемент ПЕ. При досягненні величиною вихідної напруги U_{KEP2} порога спрацьовування ПЕ здійснюється формування імпульсу на керування тиристорами.

Розглянемо принцип автоматичної стабілізації струму навантаження I_H . При зниженні I_H зменшується сигнал зворотного зв'язку U_{33} . Напруга U_{KEP1} на базі транзистора ППС підвищується, напруга на колекторі транзистора та кут відкриття тиристора зменшуються, що

призводить до збільшення I_H . Стабілізація струму навантаження здійснюється при зміні напруги на дузі в межах 120–250 В. В якості датчиків струму використовуються три трансформатори струму на тороїдальних осердях. Їх первинними обмотками є лінійні проводи, які йдуть від вторинних обмоток силового трансформатора T до тиристорного блока VS . Вторинні обмотки трансформаторів струму з'єднані в "трикутник" і через діодний випрямний блок VD підключені до входу схеми порівняння СП1.

Система керування тиристорами містить шість схем порівняння СП2 і шість порогових елементів ПЕ по одному на кожний тиристор, які зібрані на логічних елементах М-403 типу "Логіка". Функції схеми порівняння виконує вхідне коло логічного елемента, а сам логічний елемент є ПЕ.

Формування зовнішньої характеристики можна пояснити наступним чином. У режимі неробочого ходу $I_H=0$, тоді $U_{33}=0$, $U_{КЕР1}=U_3$, напруга $kU_{КЕР1}$ з виходу ППС близька до 0. При цьому кут керування силовими тиристорами дорівнює 0, і вони повністю відкриті. Після збудження основної дуги з'являється напруга U_{33} , зменшується $U_{КЕР1}$, вихідна напруга $kU_{КЕР1}$ підвищується, і кут керування тиристорами збільшується, що призводить до зниження вихідної напруги плазмової дуги.

Для комплектації машин для різання розроблено також установку для повітряно-плазмового різання потужністю 120 кВА типу АПР-403, регулювання струму в якій здійснюється за рахунок трифазних дроселів насичення. Для плазмово-механічної обробки металів застосовується установка типу УПМО-401. Технічні характеристики вказаних вище апаратів наведені в табл. 5.4.

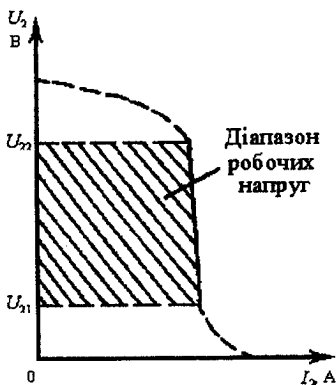


Рис. 5.62. Зовнішні характеристики джерела з індуктивно-ємнісним перетворювачем

Деякі джерела живлення можуть бути джерелами стабілізованого струму, тобто струм на виході не залежить від опору навантаження. Зовнішні характеристики таких джерел наведені на рис. 5.62.

Більшість джерел живлення є джерелами напруги. Джерела напруги мож-

на використовувати і для навантажень, які споживають стабілізований струм, якщо застосовувати спеціальні проміжні пристрої-перетворювачі джерел напруги у джерела струму або параметричні джерела струму. Такими перетворювачами можуть бути пристрої за схемами Бушера і Штейнметца. Простішу з них – Г-подібну – зображено на рис. 5.63.

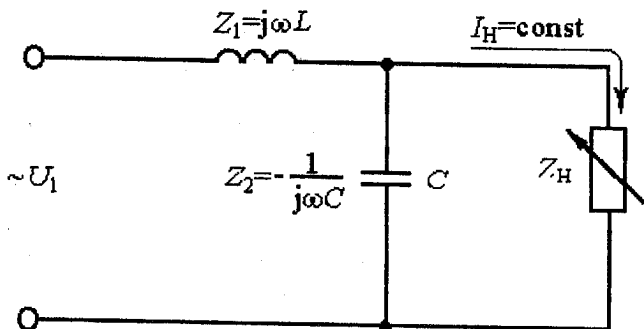


Рис. 5.63. Схема простішого джерела з ІЄП

Якщо схема живиться від джерела синусоїдної напруги, то комплекс струму в навантаженні визначається наступним виразом:

$$I_H = \frac{U_1}{[Z_1 + Z_H(Z_1 + Z_2)/Z_2]}$$

З наведеного виразу бачимо, що якщо індуктивний опір дроселя $Z_1 = j\omega L$ і ємнісний опір конденсатора $Z_2 = -1/j\omega C$ обрати з умов резонансу на частоті напруги живлення, то струм у навантаженні не буде залежати від опору Z_H . Практично умови $Z_1 + Z_2 = 0$ можна створити лише приблизно через наявність активних опорів та втрат в елементах схеми. Фізичний зміст підтримки незмінності струму в такій схемі полягає в наступному. При короткому замиканні ($Z_H = 0$) струм визначається прикладеною напругою та опором дроселя. По мірі збільшення опору навантаження воно чинить все меншу шунтуючу дію на конденсатор, і режим роботи схеми все більше наближається до резонансного, при цьому напруга на конденсаторі і в навантаженні збільшується. Зростання напруги на навантаженні при збільшенні його опору визначає те, що струм навантаження I_H залишається незмінним. Перетворювачі такого типу, які містять дроселі та кон-

денсатори, мають назву індуктивно-ємнісних перетворювачів (ІЄП). Вони мають на виході узгоджуючий трансформатор, який забезпечує узгодження ІЄП і навантаження з метою отримання високих техніко-економічних показників. Для отримання стабільного струму в навантаженнях постійного струму на виході ІЄП вмикають випрямляч з трифазною схемою випрямлення. Принцип формування вертикальної (штикової) спадної зовнішньої характеристики з допомогою ІЄП реалізовано в апараті "Київ-4М", який призначений для повітряно-плазмового різання сталей, кольорових металів та їх сплавів. Технічні дані апарата наведені в табл. 5.4, спрощена принципова електрична схема силової частини подана на рис. 5.64.

"Київ-4М" складається з трьох однофазних дроселів L_1 , L_2 , L_3 і конденсаторних батарей C_1 - C_6 , які настроєні між собою для роботи в режимі резонансу струму. Для цього існує три узгоджувальних трансформатори T_1 - T_3 та основний силовий трифазний трансформатор T_4 з нормальним розсіянням.

При вмиканні QF подається напруга на двигун вентилятора M і трансформатор T_5 , який призначений для живлення схеми керування (рис. 5.65). Вмикання джерела можливе при спрацьовуванні контактів K_9 і K_{10} , які блокують подачу води і повітря при замкнених дверях S_3 і повітряному реле- S_4 . При натисненні кнопки S_1 "Пуск" вмикається реле K_1 , яке своїми контактами $K_{1.1}$ замикає коло живлення магнітного пускача K_2 , що підключає силову частину схеми, а контактором K_4 кола живлення плазмотрона і осцилятора. Між соплом плазмотрона і термокатодом запалюється допоміжна дуга, яка живиться від випрямляча VD_2 . Для збудження основної робочої дуги необхідно, щоб її факел замкнув проміжок "термокатод (цирконієва або гафнієва вставка)-виріб". Це забезпечується з допомогою плазмоутворюючого газу, який видуває дугу на виріб. При цьому спрацьовує котушка реле мінімального струму K_8 , яка вмикає реле-розмножувач контактів K_3 і реле часу K_7 . Реле K_3 замикаючим контактом $K_{3.1}$ блокує кнопку S_1 і розмикаючим контактом $K_{3.3}$ розриває коло живлення K_4 , що призводить до відключення осцилятора G . Реле K_7 із затримкою часу вмикає магнітний пускач K_5 , контакти якого $K_{5.3}$ підключають у коло ІЄП ємності C_1 - C_6 . Робочий струм при цьому підвищується до номінального значення, і апарат входить у резонансний режим роботи. Випрямляч VD_3 служить для живлення котушки реле K_4 , а також лічильника-різань ЛР.

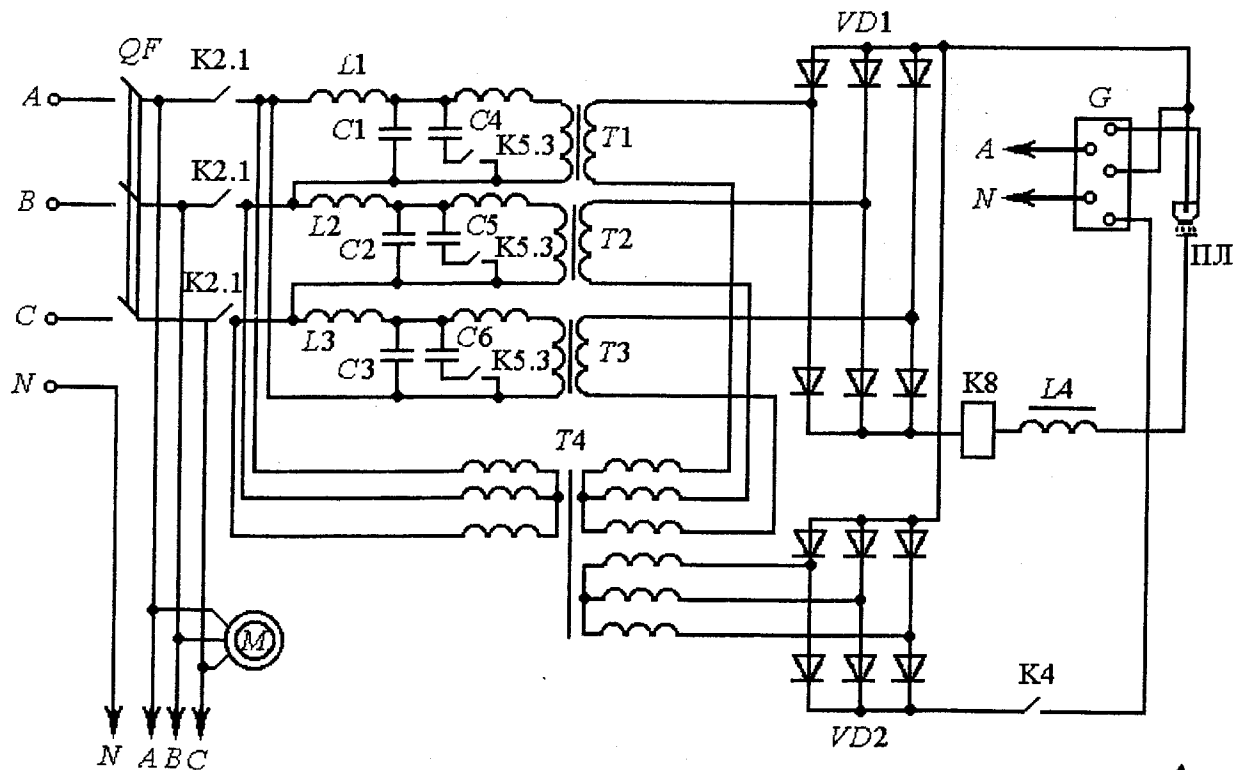


Рис. 5.64. Спрощена принципова електрична схема силової частини установки "Київ-4М"

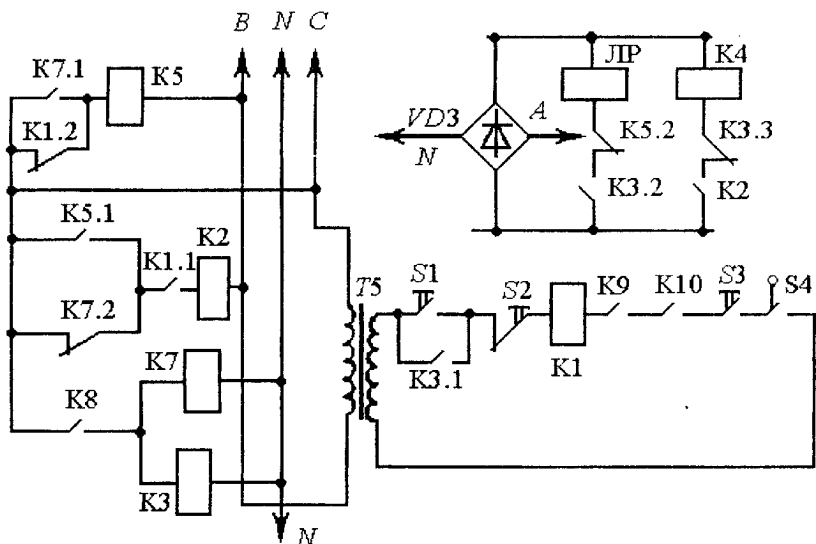


Рис. 5.65. Принципова електрична схема керування джерела "Київ-4М"

Уніфіковані джерела типу БЕП-40, БЕП-80 можуть використовуватись для плазмового зварювання, різання, напилення та наплавлення. Їхні технічні характеристики наведено в табл. 5.4. Спрощена принципова електрична схема силової частини джерела БЕП-40 подана на рис. 5.66.

Джерело складається з двох основних блоків – трансформаторного та випрямного. До трансформаторного блоку входять автоматичний вимикач QF , електромагнітний контактор $K1$, силовий понижуючий трифазний трансформатор T і дросель L . До складу випрямного блоку входить блок тиристорів VS зі зворотним діодом $VD4$, блок вентилів $VD1, VD2, VD3$, контактори $K2, K3$ та баластові реостати $R1, R2, R3$. Джерело має також електронний блок керування і пристрій підпалювання дуги G .

БЕП-40 може працювати в одному з чотирьох режимів.

При роботі в режимі плазмового різання для створення високої напруги вторинні обмотки трансформатора $T2, T3$ з'єднуються в "зірку". Для досягнення максимальної індуктивності обмотки дроселя L з'єднуються послідовно. Для запуску на режим різання контакти $K2, K3$ замикаються, при цьому спрацьовує пристрій запалювання G і джерело чергової дуги, яке утворено обмотками трансформатора $T4$,

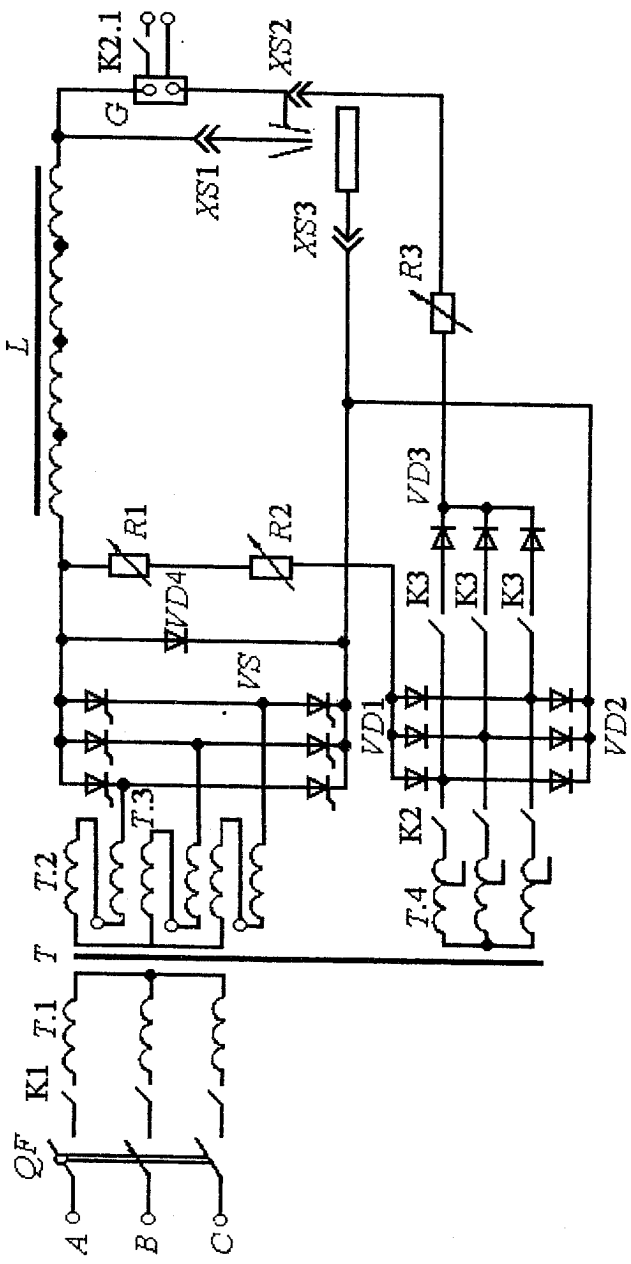


Рис. 5.66. Спрощена електрична схема силової частини джерела БЕП-40

блоками $VD1$, $VD3$, а також баластовими реостатами $R1$, $R2$, $R3$. Різальна дуга живиться спочатку допоміжним джерелом $T4$, $VD1$, $VD2$, $R1$, $R2$, а потім і основним джерелом $T2$, $T3$, VS , $VD4$ з плавним регулюванням струму навантаження.

Для плазмового напилення джерело використовується при дещо зниженій напрузі, тому фази вторинних обмоток трансформатора $T2$, $T3$ з'єднуються в "трикутник". Індуктивність знижують за рахунок паралельного вмикання обмоток дроселя L . Джерело можна також використовувати для плазмового напилення при більш низькій напрузі. Для зниження напруги основного джерела вторинні обмотки трансформатора $T2$, $T3$ вмикаються паралельно. Фази обмоток з'єднуються в положення "зірка".

Для роботи в режимі плазмового зварювання та наплавлення напругу чергової дуги знижують за рахунок секціонування обмоток трансформатора $T4$, а паралельно з'єдані вторинні обмотки силових трансформаторів $T2$, $T3$ повинні вмикатися в положення "трикутник".

Фірмою "Селма" розроблено установку УВНР-0401УХЛ для напівавтоматичного плазмово-дугового різання листових і профільних конструкцій з маловуглецевих та низьколегованих сталей, алюмінію та його сплавів, латуні, міді, а також сірого чавуну. Також вона може застосовуватися для автоматичного різання у складі машин-автоматів.

Установка складається з корпусу, в якому розміщено силовий трансформатор, випрямний блок, апаратура керування, система охолодження. У комплект установки входить також плазмотрон фірми "Binzel". Технічні характеристики установки наведено в табл. 5.4.

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона АН України розроблена установка для плазмового напилення "Київ-7", з допомогою якої можна напилювати вироби порошковими, керамічними і металевими матеріалами або наплавляти тверді сплави. Електрична принципова схема блока живлення установки передбачає можливість роботи її в ручному та автоматичному режимах. Технічні характеристики "Київ-7" наведено в табл. 5.4.

5.4. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

5.4.1. Основні відомості про шлакову ванну

Електрошлаковим зварюванням (ЕШЗ) називається спосіб зварювання плавленням, який ґрунтується на виділенні тепла при проходженні електричного струму через розплавлений шлак.

У зоні, яка утворена кромками зварювального металу-1 і формуючими пристосуваннями-2, утворюється ванна розплавленого металу-3 і шлаку-5, в якій занурюється металевий електрод-4 (рис. 5.67).

Електричний струм, що протікає між електродом та основним металом, розігріває розплав і підтримує в ньому високу температуру та електропровідність. Температура шлакової ванни перевищує температуру плавлення основного і електродного металів. Шлак розплавляє занурений у нього електрод та кромки основного металу. На відстані між електродом і металевою ванною струм $I_{\text{Ш}}$ залежить від напруги електрошлакового процесу $U_{\text{Ш}}$, яка частково спадає ще і на вильоті електрода $l_{\text{В}}$.

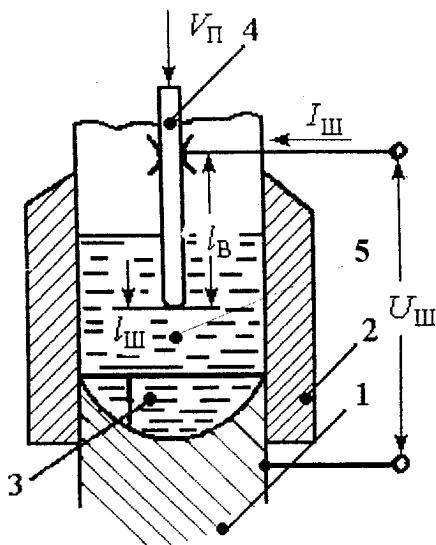


Рис. 5.67. Схема електрошлакового процесу

Повна теплова потужність шлакової ванни $P_{\text{Ш}} = U_{\text{Ш}} I_{\text{Ш}}$, де $U_{\text{Ш}}$ – падіння напруги на вильоті електрода і шлакової ванни, В; $I_{\text{Ш}}$ – зварювальний струм, А.

Головним чинником при ЕШЗ є залежність електропровідності шлаків від температури.

Провідність реальних розплавлених шлаків значно підвищується зі зростанням температури. Холодні шлаки неелектропровідні. Розплавлений шлак складається з позитивних і негативних іонів та має іонну провідність. Позитивними є металеві іони, негативними – великі кремнієвокислі, алюмокислі іони, кисень та фтор, які входять до складу шлаку. Частка

струму позитивних іонів вища, ніж негативних. Шлакову ванну можна розглядати як нелінійний активний опір $R_{\text{ш}}$. Статична вольт-амперна характеристика електрошлакового процесу $U_{\text{ш}}=f(I_{\text{ш}})$ при постійній величині відстані між електродом і металевою ванною $l_{\text{ш}}$ носить спадний характер (рис. 5.68), оскільки зі зростанням $l_{\text{ш}}$ температура $T_{\text{ш}}$ і питома провідність шлаку збільшуються, а напруга $U_{\text{ш}}$ спадає.

В реальних умовах ЕШЗ величина $l_{\text{ш}}$ не постійна, і тому статична характеристика не має суттєвої цінності. Реальний зв'язок струму і напруги відображається вольт-амперною характеристикою стійкої роботи, яка отримується при постійній швидкості подачі електродного дроту $V_{\text{п}}$ (рис. 5.68). У цьому випадку з підвищенням напруги джерела, а відповідно і $U_{\text{ш}}$, зростає теплова потужність ванни та її температура $T_{\text{ш}}$. При цьому електрод розплавляється швидше і занурюється у ванну на меншу глибину, що призводить до збільшення відстані $l_{\text{ш}}$ і відповідно опору шлакової ванни $R_{\text{ш}}$. Тому збільшення напруги джерела майже не супроводжується зростанням струму, і вольт-амперна характеристика стійкої роботи $U_{\text{ш}}=f(I_{\text{ш}})$ при постійній швидкості подачі електродного дроту майже вертикальна. При збільшенні швидкості подачі $V_{\text{п}}$ струм $I_{\text{ш}}$ зростає і набуває постійного значення.

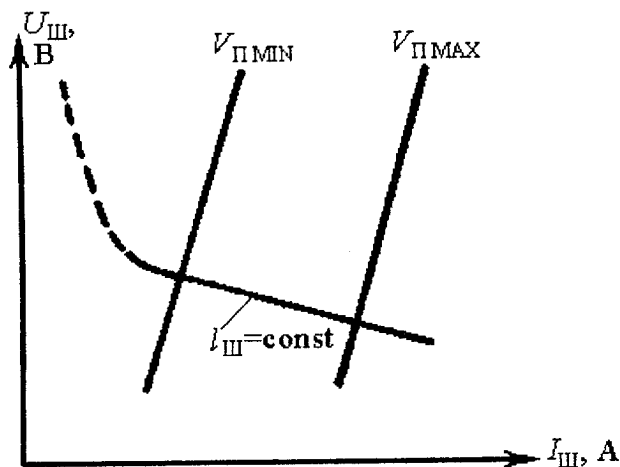


Рис. 5.68. Статичні вольт-амперні характеристики електрошлакового процесу

5.4.2. Стійкість електрошлакового процесу і вимоги, які висуваються до джерел живлення

Для отримання якісного зварного з'єднання необхідно правильно обрати енергетичні параметри шлакової ванни і досягати стабільного протікання електрошлакового процесу. Умовами його стійкого протікання є безперервність процесу при заданих значеннях струму і напруги. Для того, щоб провести аналіз стійкого стану шлакової ванни і визначити основні вимоги до джерел живлення, необхідно розглянути "прибуткові" та "витратні" складові теплового балансу зони зварювання при малих збуреннях за температурою ванни. Для цього необхідно встановити залежність введення тепла у шлакову ванну, тобто потужності джерела живлення $P_{\text{дж}}$, від опору ванни $R_{\text{ш}}$. Якщо напруга джерела з пологоспадною характеристикою $U_{\text{дж}} = U_{20} - I_{\text{ш}} \cdot R_{\text{дж}}$ прирівняти до напруги у шлаковій ванні $U_{\text{ш}} = I_{\text{ш}} R_{\text{ш}}$ і розв'язати рівняння відносно струму, то:

$$I_{\text{ш}} = \frac{U_{20}}{R_{\text{ш}} + R_{\text{дж}}}$$

Потужність джерела можна визначити за рівнянням

$$P_{\text{дж}} = U_{\text{ш}} I_{\text{ш}} = I_{\text{ш}}^2 R_{\text{ш}} = U_{20}^2 \frac{R_{\text{ш}}}{(R_{\text{ш}} + R_{\text{дж}})^2} \quad (5.1)$$

При зварюванні плавким електродом зі зростанням $T_{\text{ш}}$ зменшується глибина занурення електрода у шлакову ванну, і відстань між електродом і шлаковою ванною $l_{\text{ш}}$ збільшується, що призводить до зростання $R_{\text{ш}}$. Тому залежність $R_{\text{ш}}$ від $T_{\text{ш}}$ практично лінійна, тобто $R_{\text{ш}} \approx kT_{\text{ш}}$. Якщо підставити значення $R_{\text{ш}}$ в рівняння (5.1), то можна отримати залежність "прибуткової" частини теплового балансу від температури:

$$P_{\text{дж}} = U_{20}^2 \frac{kT_{\text{ш}}}{(kT_{\text{ш}} + R_{\text{дж}})^2}$$

Графічне зображення залежності наведено на рис. 5.69.

Максимальна корисна потужність джерела спостерігається при рівності опорів джерела $R_{\text{дж}}$ і навантаження $R_{\text{ш}}$. Витратна частина теплового балансу у вигляді теплової потужності $Q_{\text{ш}}$, яка споживається на плавлення електродного металу, а також відведення тепла у

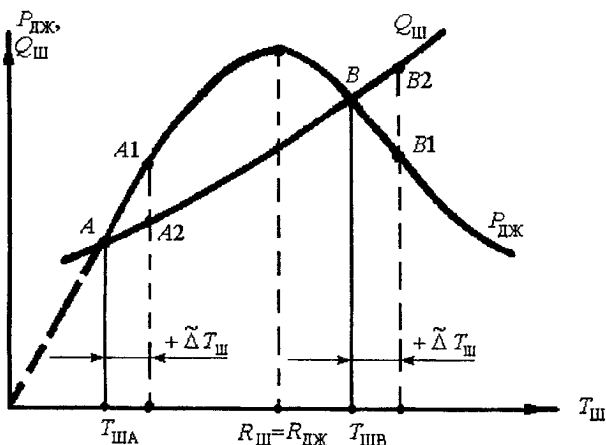


Рис. 5.69. До аналізу стійкості електрошлакового процесу

повзуни і деталі збільшується зі зростанням температури ванни. Характеристики $P_{дж} = f(T_{ш})$ і $Q_{ш} = f(T_{ш})$ перетинаються в точках А і В, що відповідає рівноважному стану системи. У цих точках спостерігається рівність введення та витрати тепла.

Розглянемо стійкість системи поблизу точки В при незначному збуренні за температурою $+\tilde{\Delta}T_{ш}$. У випадку відхилення температури ванни від рівноважного стану $T_{шВ}$ у бік збільшення, потужність $P_{дж}$ буде знижуватись (точка В1), а витратна потужність $Q_{ш}$ буде зростати (точка В2). Тому температура ванни знизиться аж до рівноважного стану, який відображається точкою В, що свідчить про стійкість системи.

При відхиленні температури $+\tilde{\Delta}T_{ш}$ від рівноважного стану $T_{шА}$ прибуток тепла, який характеризується точкою А1, перевищує витрати, яким відповідає точка А2. Тому таке підвищення температури далі буде тільки збільшуватись, відводячи систему все далі від рівноважного стану.

Отже, умови стійкості системи “джерело – шлакова ванна” можна записати таким чином:

$$dQ_{ш}/dT_{ш} - dP_{дж}/dT_{ш} > 0$$

Із порівняння характеристик на рис. 5.69 бачимо, що ця умова виконується для точки В і будь-якої точки на кривій $P_{дж} = f(T_{ш})$ праворуч від максимуму, де $R_{дж} = R_{ш}$. Тому з метою забезпечення стійкості системи “джерело–шлакова ванна” джерело живлення повинно мати

жорстку або пологоспадну зовнішню характеристику, тобто його опір має бути меншим від опору ванни, тобто $R_{дж} < R_{ш}$.

При значних збуреннях за температурою ЕШЗ може перерватися через виникнення дугового розряду, що призведе до зриву електрошлакового процесу. Тому ЕШЗ слід вести на змінному струмі, порівняно низькій напрузі джерела, при глибокій шлаковій ванні з використанням шлаків із низькими стабілізуючими властивостями. У той же час джерело повинне забезпечувати стійкий дуговий розряд на початку зварювання при створенні шлакової ванни.

Зовнішні характеристики трансформатора для ЕШЗ наведено на рис. 5.70, де точки їх перетину з характеристиками стійкої роботи визначають режими зварювання.

Величина зварювального струму $I_{ш}$ налагоджується швидкістю подачі електродного дроту, а напругу електрошлакового процесу регулюють зміною напруги неробочого ходу U_{20} трансформатора. Висока стабільність струму $I_{ш}$ утворюється за рахунок постійної швидкості подачі електродного дроту. Через коливання напруги мережі стабільність напруги $U_{ш}$ незначна. Тому стабілізацію зовнішніх характеристик джерела здійснюють за рахунок зворотних зв'язків за напругою. Однак на практиці у процесі зварювання проводять руч-

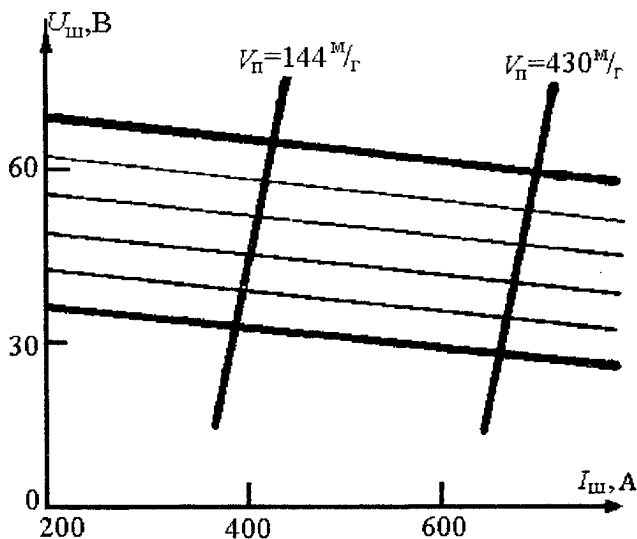


Рис. 5.70. Зовнішні характеристики трансформатора для ЕШЗ

не коригування напруги, для чого застосовують джерела живлення із плавним або дрібноступінчастим регулюванням режимів.

5.4.3. Конструкції трансформаторів для електрошлакового зварювання

Процес ЕШЗ ведеться в основному на змінному струмі, де як джерела живлення використовуються трифазні або однофазні трансформатори. Широко застосовуються трансформатори з нормальним магнітним розсіянням із секціонованими обмотками. Такий однофазний трансформатор (рис. 5.71а) має практично жорстку зовнішню характеристику з нахилом $\rho_{\text{дж}}$ не більше 0,01 В/А.

В одному корпусі з трансформатором змонтовані контактори К1-К4, які призначено для перемикання ступенів обмоток при зварюванні, чим забезпечується дрібноступінчасте регулювання напруги в інтервалі 2–3 В. Грубе регулювання напруги здійснюється перестановкою перемички перед зварюванням у колі вторинної обмотки.

У трансформаторі зі складною магнітною комутацією (рис. 5.71б) плавне регулювання напруги здійснюється за рахунок зміни постійного струму в обмотках керування ОК1 і ОК2 підмагнічувальних ярів,

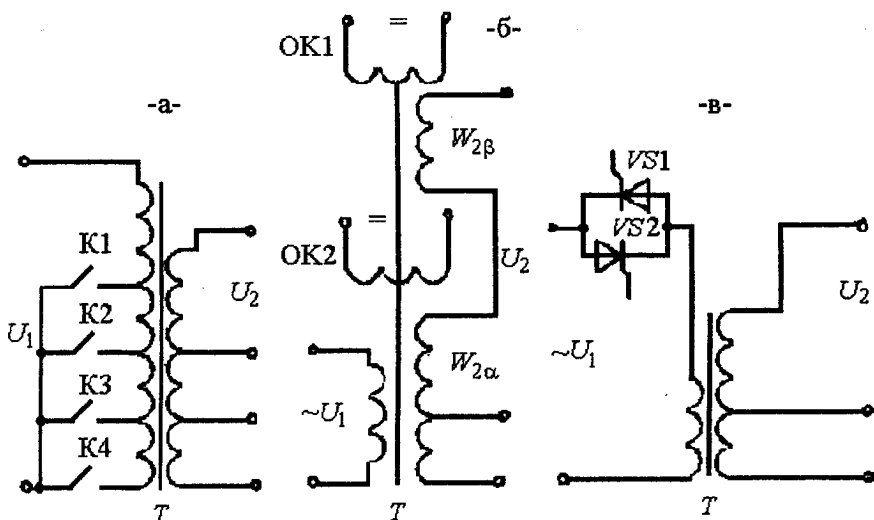


Рис. 5.71. Спрощені електричні схеми силової частини трансформаторів з витковим регулюванням (а), магнітною комутацією (б), тиристорним регулюванням

ступінчасте регулювання – за рахунок секціонування основної вторинної обмотки.

Трансформатор з тиристорним комутатором (рис. 5.71в) забезпечує плавне регулювання напруги за рахунок зміни кута відкриття силових тиристорів VS1, VS2. На відміну від трансформатора для дугового зварювання тут немає необхідності застосовувати коло підживлення або пристрій імпульсної стабілізації, оскільки процес ЕШЗ проходить стійко при будь-яких кутах керування тиристорами. Наведені типи трансформаторів можуть виготовлятися і в трифазному варіанті.

Трифазний трансформатор типу ТШС-1000-3 застосовується для електрошлакового зварювання одним, двома або трьома електродами на струмах до 1000 А у кожному з них. Після відповідного перемикання він може працювати як однофазний на струмі до 2000 А. Спрощена електрична схема ТШС-1000-3 наведена на рис. 5.72.

Нульову точку вторинної обмотки з'єднано з виробом. Первинні обмотки кожної фази мають по шість відпайок, вторинні обмотки – по три відпайки, чим забезпечується зміна напруги від 38 до 62 В з інтервалом 2–3 В. Ступінчасте регулювання виконується підключенням зварювальних кабелів до одного з трьох виводів у кожній фазі вторинної обмотки. Підключення кабелів необхідно проводити перед зварюванням. Дрібноступінчасте регулювання напруги здійснюється як під навантаженням, так і в режимі неробочого ходу симетричною зміною числа витків первинної обмотки з допомогою шести трифазних контактів К1-К6 відповідних контакторів, які у схемі не наведені. При використанні трансформатора на струмах до 2000 А контактний перемикач ХВ1 встановлюють у положення 2, тобто первинні обмотки фаз А і С з'єднують на паралельну роботу. Одночасно з допомогою перемикачів ХВ2 і ХВ3 з'єднують на паралельну роботу вторинні обмотки, а перемикач ХВ4 знімають. Подібну структуру має і трансформатор ТШС-3000-3. Однофазні трансформатори типу ТШС-1000-1 і ТШС-3000-1 також мають виткове регулювання. Трансформатори зі складною магнітною комутацією типу ТРМК-1000-1 і ТРМК-3000-1 забезпечують плавне регулювання напруги. Технічні дані джерел для ЕШЗ наведені в табл. 5.5.

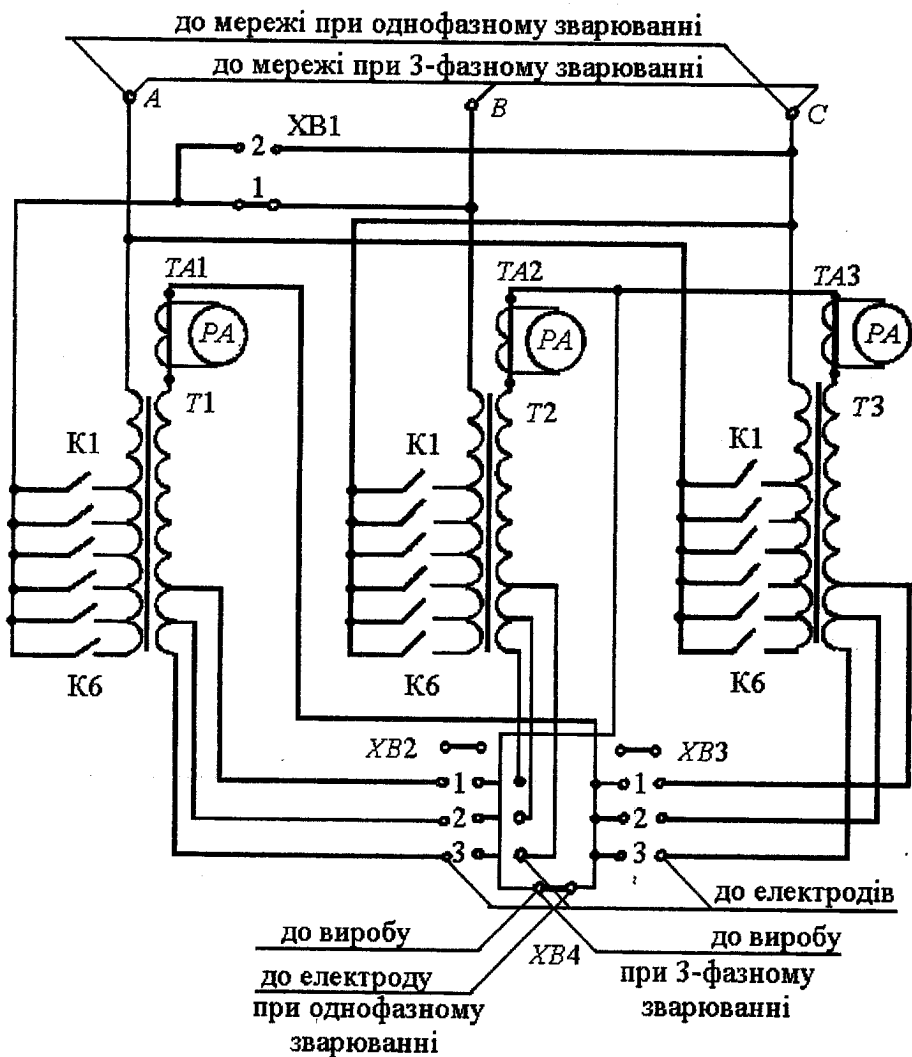


Рис. 5.72. Принципова електрична схема трансформатора ТШС-1000-3

5.5. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ГАРМАТ. ВИМОГИ ДО СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА ПРИНЦИП ЇХ БУДОВИ

Електронно-променеве зварювання (ЕПЗ) успішно застосовується у різних галузях промисловості і розглядається як перспективний спосіб з'єднання виробів із тугоплавких металів, виробів із термічно зміцнених матеріалів (коли небажана, ускладнена або неможлива наступна термообробка), конструкцій відповідального призначення.

ЕПЗ належить до методів зварювання висококонцентрованими джерелами енергії і має широкі технологічні можливості. Малий об'єм литого металу і короткочасність теплової дії при зварюванні забезпечують незначні термічні деформації з'єднуваних деталей, у багатьох випадках такі, що не перевищують допусків на механічну обробку. Імпульсний режим зварювання при короткому тепловкладанні, що додатково регулюється частотою і тривалістю зварювальних імпульсів, широко застосовується при ЕПЗ стиків, розміщених поблизу спайок металу зі склом або керамікою, при герметизації виробів електронної техніки і приладобудівної промисловості, тепловипромінюючих елементів реакторів і т.ін. Відхилення потоку електронів у магнітному або електричному полі виконується практично безінерційно. Це дає можливість переміщувати електронний пучок по поверхні зварюваної деталі з допомогою електромагнітної системи відхилення вздовж прямої лінії, кола, прямокутника або іншого складного контуру. При цьому багато зварювальних задач можуть вирішуватися без переміщення гармати або оброблюваного виробу і порівняно легко програмуватися.

При ЕПЗ для нагріву і розплавлення основного металу використовується енергія, що отримується в результаті бомбардування його прискореними електронами, сформованими у вузький пучок. При потраплянні на поверхню зварювальних деталей електрони гальмуються, їх кінетична енергія перетворюється в теплову, і утворюється зварювальна ванна. По мірі переміщення виробу або джерела зварювального нагрівання відбувається затвердіння розплавленого металу і утворення шва. Метал шва, як і при інших видах зварювання плавленням, має литу структуру.

При дії пучка електронів порівняно невисокої густини потужності (до $1 \cdot 10^8$ Вт/м²) процес ЕПЗ подібний до процесу звичайного електродугового зварювання. Поверхня зварювальної ванни при цьому деформується мало, гідродинамічні прояви в об'ємі рідкого металу проявляються відносно слабо. Проплавлення, яке може бути отримане при використанні пучка електронів невисокої густини потужності, суттєво обмежене за глибиною. Такий процес застосовується при товщині зварюваного металу не більшій ніж 2–3 мм.

При підвищенні густини потужності пучка електронів до 10^9 – 10^{10} Вт/м² розвивається інтенсивне випаровування металу, поверхня ванни прогинається, і в рідкому металі формується канал на всю глибину ванни. Утворення каналу обумовлене тиском віддачі металу, що частково випаровується. Чим вища густина потужності пучка, тим сильніше нагрівається поверхня зварювальної ванни, тим ефективніше передається енергія пучка по всій товщині металу, що зварюється. Поперечний перетин шва має слабкозбіжні стінки, що забезпечує мінімальні кутові деформації, знижує схильність до утворення і розвитку тріщин.

Таким чином, досягнення високої густини потужності пучка – необхідна умова для здійснення процесу однопрохідної ЕПЗ товстості листових металів.

Для зварювання застосовуються аксіально-симетричні, конічні, рідше – циліндричні електронні пучки. Формування потужного електронного пучка здійснюється зварювальною електронною гарматою з відповідним високовольтним джерелом живлення і системами керування (рис. 5.73). Потік електронів, що емітується катодом, прискорюється і попередньо формується аксіально-симетричним електричним полем за наявності вакууму. Потужність електронного пучка регулюється зміною його струму (при постійній прискорюючій напрузі) шляхом подачі негативної (по відношенню до катода) напруги на керувальний (прикатодний) електрод в електронно-оптичній системі зварювальної гармати. Густина потужності електронного пучка в зоні зварювання керується з допомогою системи електромагнітного фокусування пучка. Система електромагнітного відхилення пучка дозволяє суміщати електронний пучок зі зварним стиком у випадку їх взаємного зміщення або при виконанні зварювання за складним контуром, а також може забезпечувати сканування пучка за заданою траєкторією.

Процес зварювання здійснюється у високому вакуумі (10^{-2} – 10^{-3} Па) або інколи в середовищі інертних газів при атмосферному тиску.

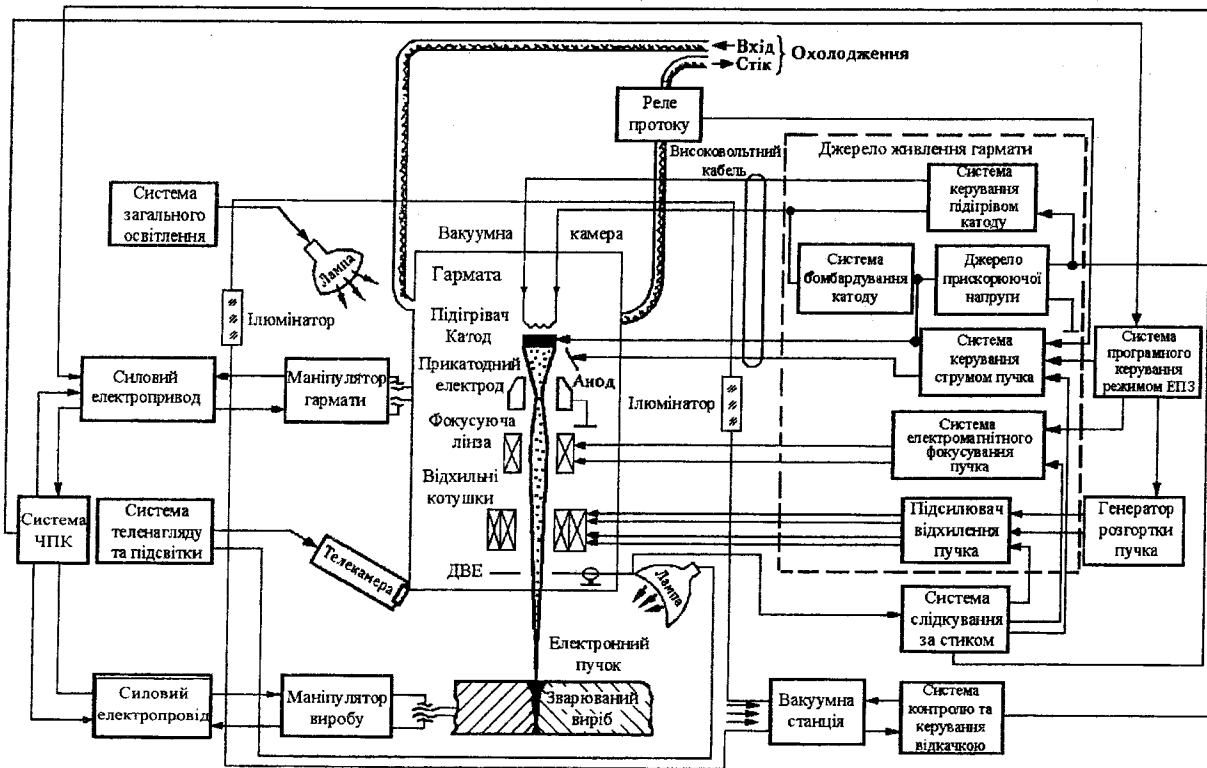


Рис. 5.73. Функціональна схема для ЕПЗ (ЧПК – числове програмне керування; ДВЕ – датчик вторинних електронів)

Відносне переміщення електронного пучка і стику в процесі зварювання здійснюється високоточними маніпуляторами гармати і виробу. Діапазон швидкостей зварювання електронним пучком становить 1–25 мм/с. Для позиціонування пучка або корекції його положення в процесі зварювання з допомогою системи слідкування за стиком використовуються швидкості переміщення 0,3–1,5 мм/с.

Спостереження за процесом зварювання, а також взаєморозташування гармати і виробу виконується візуально через ілюмінатори вакуумної камери і дистанційно з допомогою телевізійної установки. Для цього також використовуються системи загального і локального освітлення.

Керування процесом зварювання може здійснюватись як безпосередньо оператором, так і з допомогою систем програмного керування.

Якщо на етапі становлення процесу ЕПЗ електроживлення зварювальних гармат здійснювалось подібно до електроживлення рентгенівських трубок, то у міру підвищення потужності гармат і вимог до стабільності параметрів пучка питанням розробки спеціальних джерел живлення приділяється значна увага. Тому сучасні високовольні джерела живлення вирізняються високою стабільністю, здатністю придушувати розвиток пробоїв у гарматі. Їх потужність становить до 7,5 кВт для діапазону прискорюючих напруг $U_{\text{пр}}=20\text{--}30$ кВ; до 60 кВт при $U_{\text{пр}}=60$ кВ; до 120 кВт при $U_{\text{пр}}=120$ кВ.

При ЕПЗ металів з $\delta \geq 4$ мм неприпустимі навіть короткочасні і порівняно незначні відхилення параметрів процесу зварювання.

Для того, щоб забезпечити стабільність параметрів проплавлення, необхідно в першу чергу домогтись стабільності густини потужності пучка на виробі при загальній сталій потужності пучка. Коливання прискорюючої напруги призводять до зміни діаметра пучка і, відповідно, густини потужності пучка в площині виробу. Це, у свою чергу, призводить до коливання глибини проплавлення. Аналогічно змінюється густина потужності пучка на виробі внаслідок коливання струму магнітної лінзи при постійній прискорюючій напрузі. Кут відхилення пучка при постійному струмі котушки відхилення також залежить від прискорюючої напруги. Тому при зміні $U_{\text{пр}}$ в процесі зварювання пучок може зміщуватись з кромки виробу. Зміна прискорюючої напруги в межах декількох відсотків призводить до помітної зміни глибини проплавлення і зміщення пучка відносно початкового положення відхилення пучка. Зміна струму електронного пучка порівняно

слабко впливає на глибину проплавлення, і тому стабільність струму до $\pm 3\text{--}5\%$ в більшості випадків задовольняє технологічні вимоги.

Живлення електронних зварювальних гармат прискорюючою напругою здійснюється від силових випрямлячів, зібраних у більшості випадків за трифазною мостовою схемою. Коефіцієнт пульсацій у цій системі без згладжувальних фільтрів становить $6\text{--}7\%$ при частоті пульсацій 300 Гц. Для зменшення пульсацій прискорюючої напруги на виході випрямляча встановлюють фільтри, які складаються з конденсаторів і дроселів, що ускладнює схему джерела і робить її менш надійною при електричних пробоях у гарматі.

Спрощені можливі схеми різних типів джерел живлення зварювальних гармат наведені на рис. 5.74.

Схеми живлення: а – через RL-обмежуючі елементи; б – від генератора підвищеної частоти; в – від інверторного перетворювача; г – стабільних струмів; д – через прохідну лампу; е – змінною напругою.

Позначення в схемах: 1 – блок розжарювання; 2 – модулятор; 3 – живлення ФОС; 4 – схеми порівняння і підсилення; 5 – блок захисту і “виводу кратера”; МП – магнітний підсилювач; МГ – мотор-генератор.

У джерелах, побудованих згідно зі схемою (рис. 5.74а), збільшення $R_{\text{обм}}$ дозволяє відповідно зменшити струм у випадку пробою, знизити ерозію електродів гармати, зменшити ймовірність перенапруг у мережі живлення. Однак обмеження розрядного струму за рахунок активних опорів не в змозі забезпечити обрив дугового розряду в потужних джерелах живлення. Вмикання індуктивності в коло розрядного струму виключає можливість збільшення швидкості наростання струму, що також не зменшує часу аномального нестационарного процесу. Тому необхідно після пробою відмикати джерело живлення з допомогою кіл захисту.

Підвищення частоти мережі живлення (рис. 5.74б) дозволяє не тільки різко зменшити розміри і масу джерела, але й полегшує придушення пробоїв. Підвищена частота дозволяє відмовитися від застосування згладжувального фільтра у високовольтному випрямлячі, оскільки сумарна конструктивна ємність джерела і високовольтного кабеля вже достатня для суттєвого згладжування пульсацій. Завдяки цьому зменшується потужність іскрового розряду після пробою вакуумного проміжку і як наслідок ускладнюється виникнення дугового розряду. Однак все-таки його виникнення можливе, а побудова швидкодіючої системи автоматичного повторного увімкнення прискорюючої напруги у джерелах, що живляться від найбільш розповсюджених електромашинних перетворювачів частоти, ускладнене через

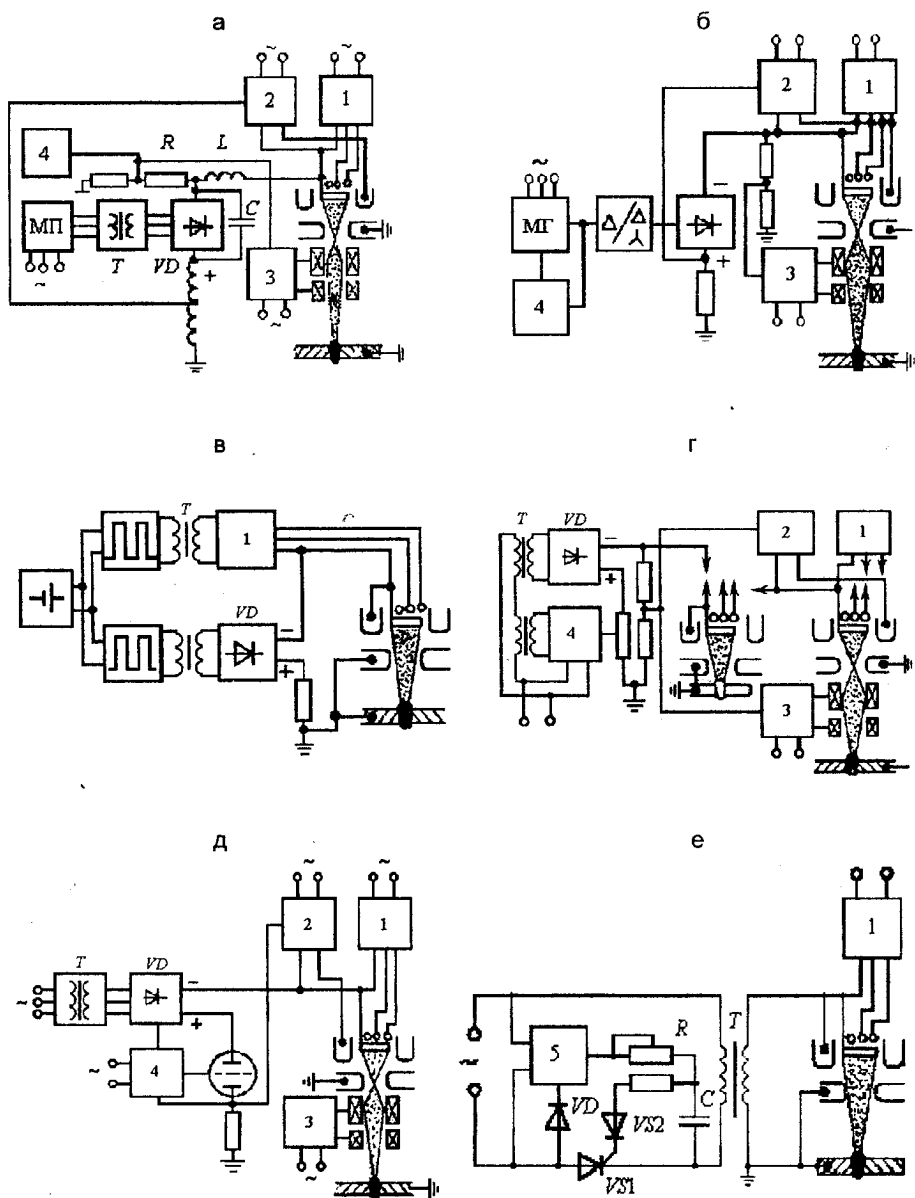


Рис. 5.74. Спрощені схеми високовольтного живлення зварювальних гармат

велику сталу часу кіл збудження. Самі перетворювачі достатньо громіздкі і створюють сильний шум. У джерелах живлення, що працюють на підвищеній частоті (1–10 кГц) від інверторних перетворювачів напруги (рис. 5.74в), цикл автоматичного повторного увімкнення становить $(1-2) \cdot 10^{-3}$ с, але їх використання обмежене високою вартістю.

Можливе живлення джерела прискорюючої напруги стабільним струмом (рис. 5.74г). При цьому струм у розряді дорівнює номінальному струму пучка. Джерело струму працює в режимі стабілізації і в перехідних режимах, що сприяє придушенню аномального процесу.

При використанні змінної прискорюючої напруги (рис. 5.74е) проблема придушення пробоїв вирішується достатньо ефективно і просто внаслідок обриву струму дуги при переході прискорюючої напруги через нуль. Час існування дугового розряду після пробую вакуумного проміжку обмежений тривалістю півперіода напруги живлення. Однак подібна апаратура не застосовується через низьку якість формування самого пучка електронів (мала густина потужності, неможливість точного керування положенням пучка).

Методом покращення динамічних характеристик джерела живлення зварювальних гармат є застосування в якості прохідного елемента потужної електронної лампи (рис. 5.74д). Суттєвим моментом є вибір найбільш ефективної схеми керування електронною лампою, що дозволяє досягти високої точності встановлення струму відсічки електронного пучка, забезпечити стабілізацію прискорюючої напруги і згладжування її пульсацій. Важливо, щоб електронна лампа вже на початковій стадії аномального нестационарного процесу при підвищенні заданого струму пучка на 5–10% відімкнула прискорюючу напругу на час, що відповідає зміщенню осі пучка на 10–15% його діаметра. При меншій тривалості відключення пучка відновлення електричної міцності вакуумної ізоляції гармати буде менш повним.

Установка для ЕПЗ з прохідною електронною лампою (рис. 5.75) складається із шафи пускозахисної апаратури, силового джерела живлення, блока регулювальної лампи і шафи керування, де 1 – наповнений маслом бак силового джерела; 2 – блок пускозахисної апаратури; 3 – блок динамічного захисту; 4 – випрямляч; 5 – фільтр; 6 – подільник напруги; 7 – регулятор струму пучка; 8 – випрямляч бомбардування; 9 – трансформатор бомбардування; 10 – трансформатор розжарювання; 11 – блок задавача струму пучка; 12 – магніт-

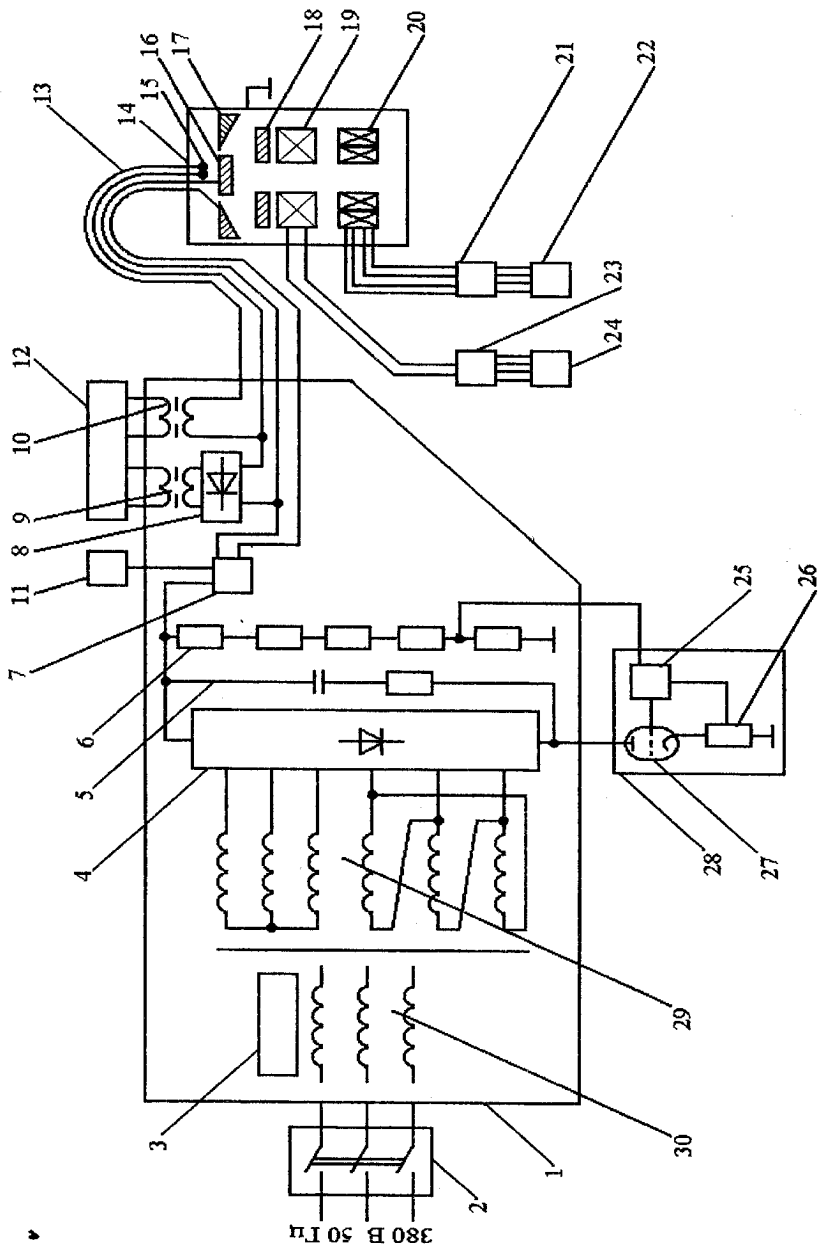


Рис. 5.75. Структурна схема установки із проходною електронною лампою.

ний підсилювач; 13 – високовольтний кабель; 14 – зварювальна гармата; 15 – підігрівач катода; 16 – катод; 17 – прикатодний електрод; 18 – анод; 19 – фокусувальна лінза; 20 – система відхилення; 21 – блок живлення системи відхилення; 22 – блок задавача струму відхилення пучка; 23 – блок живлення фокусувальної лінзи; 24 – блок задавальника струму фокусувальної лінзи; 25 – система керування електронною лампою; 26 – датчик струму пучка; 27 – прохідна електронна лампа; 28 – масляний бак прохідної лампи; 29 – високовольтні обмотки силового трансформатора; 30 – низьковольтні обмотки силового трансформатора.

Силове джерело живлення містить високовольтний трансформатор 29, 30, що з'єднаний за схемою "зірка – зірка – трикутник", випрямляч 4, систему підігріву катода 8 – 10 і регулятор струму пучка 7, які розміщені в окремому баку 1, заповненому трансформаторним маслом. Первинна обмотка 30 трансформатора споряджена швидкодіючою системою 3 захисту від струмів короткого замикання.

При роботі високовольтного джерела живлення із прохідною електронною лампою можлива аварійна ситуація в разі розвитку вакуумного пробоя в самій лампі. Для обмеження пробійного струму в цьому аварійному режимі в первинному колі силового трансформатора застосована система динамічного обмеження струмів короткого замикання, тобто використовується параметричний захист, безінерційно реагуючий на різке збільшення провідності навантаження.

Високовольтний випрямляч 4 складається із двох послідовно з'єднаних трифазних мостів, зібраних за схемою Ларіонова. Для збільшення надійності роботи в мостах використані лавинні кремнієві діоди. Випрямляч забезпечує коефіцієнт пульсацій напруги 2,5–3%.

Система підігріву катода складається зі знижуючого трансформатора 10 для нагріву нитки підігрівача 15 і джерела бомбардування катода 16 постійної напруги до 1500 В. Для стабілізації режиму підігріву катода в первинному колі обох джерел увімкнений тороїдальний магнітний підсилювач 12 або тиристорний керований блок.

В окремому масляному баку 28 знаходиться прохідна електронна лампа 27 зі своєю системою керування 25. Дана система призначена для стабілізації прискорюючої напруги, виключення виникнення дугового розряду в гарматі при пробоях, обмеження струму гармати при самовільному її відкриванні, захисту джерела прискорюючої напруги при короткому замиканні на виході. Регульовальна лампа керується двома каналами – каналом стабілізації прискорюючої напруги і каналом захисту джерела прискорюючої напруги й обмежен-

ня струму пучка. Канал стабілізації прискорюючої напруги керується сигналом зворотного зв'язку, що знімається з нижнього плеча високовольтного подільника 6. Фазність керувальної напруги підібрана таким чином, щоб компенсувати зміну прискорюючої напруги при коливаннях навантаження або мережі живлення. Канал забезпечує придушення аномального нестационарного процесу в гарматі в результаті повного зняття з неї прискорюючої напруги на короткий час шляхом закриття регулювальної лампи імпульсом, що виробляється системою керування 25. Після проходження імпульсу регулювальна лампа починає відкриватись, і через 0,7 мс прискорююча напруга на гарматі відновлюється.

Схема обмеження струму лампи, що входить в канал захисту, являє собою регульований стабілізатор напруги. Суперечною напругою для схеми обмеження є напруга, що надходить із блока завдання струму пучка. Одночасно ця напруга надходить у блок стабілізатора струму пучка. При самовільному відкриванні гармати, наприклад, через вихід з ладу стабілізатора струму пучка або короткого замикання проміжку катод – керуючий електрод – формується сигнал непогодження, що знижує прискорюючу напругу до значення, яке гарантує збереження виробу непошкодженим.

У каналі керування струмом пучка зварювальної гармати використовується тетрод, увімкнений між катодом і керувальним електродом гармати. Керування струмом пучка здійснюється шляхом керування провідністю тетрода. Блок стабілізації струму пучка знаходиться під високим потенціалом. Сигнал, що задає струм пучка (опорний сигнал), передається від його задавача 11 на блок стабілізації 7 через високочастотний розділювальний трансформатор або за допомогою оптоелектронної розв'язки.

5.6. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ МАШИН КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

5.6.1. Особливості конструкції трансформаторів

Джерелом живлення для машин контактного зварювання є трансформатор.

Особливістю трансформаторів машин контактного зварювання є великі вторинні струми при відносно низьких напругах. Ця обставина накладає свій відбиток на його конструкцію.

Великі сили струму вимагають конструктивно складно виконаних послідовних з'єднань витків вторинної обмотки. У свою чергу, відносно низькі вторинні напруги дозволяють виконувати трансформатори з одним, рідше з двома вторинними витками.

Беручи до уваги великі сили вторинних струмів і малі напруги, рознесення первинної та вторинної обмоток на різні стрижні нерациональне, оскільки це викликає збільшення індуктивності трансформатора.

Для зниження індуктивності у трансформаторах первинна обмотка, як правило, розміщується на одному стрижні. Великі вторинні, а також відповідні їм первинні струми трансформатора створюють значні механічні зусилля, що зсувають обмотки трансформатора по відношенню одне до одного і до осердя.

Габарити трансформатора мають бути мінімальними. Для забезпечення мінімальних розмірів застосовується водяне охолодження.

Вбудований в машину трансформатор повинен забезпечувати різні режими зварювання. Для цього його первинна обмотка секціонується, і з допомогою перемикачів підбирається потрібна кількість витків для забезпечення заданого вторинного струму.

5.6.2. Осердя трансформаторів

Осердя трансформаторів машин контактного зварювання виконуються двох типів: стрижневі та броневі.

Як різновид стрижневого типу також застосовується осердя кільцевого типу. Всі вони мають свої переваги та недоліки. Однак у конструкціях трансформаторів броневи́й тип осердя отримав широке розповсюдження, тому що він при одному і тому ж розмірі перетину стрижня дає деяку економію заліза.

Крім того, при бронево́му типі осердя динамічні зусилля, що з'являються між обмотками, можуть бути значно менші і краще скомпенсовані відповідним кріпленням обмоток, ніж при стрижнево́му типі. Ця обставина особливо суттєва для машин контактного зварювання.

Одночасно з цим потоки розсіяння при бронево́му типі осердя менші, ніж при стрижнево́му, що забезпечує меншу індуктивність трансформатора. Це особливо суттєво для трансформаторів великої потужності.

На рис. 5.76 показано різні типи осердь трансформаторів машин контактного зварювання. Осердя виконуються з електротехнічної сталі марок: E11, E12, E41, E42, E320 і E330 товщиною 0,5 мм.

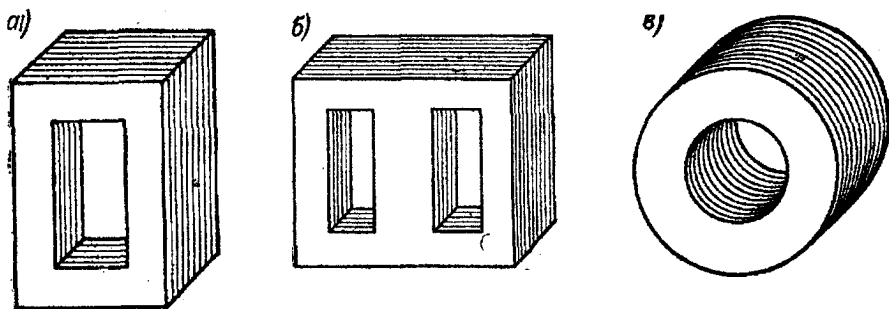


Рис. 5.76. Типи осердь трансформаторів машин контактного зварювання:
 а – стрижневий, б – броневий, в – кільцевий

5.6.3. Обмотки трансформаторів

Первинні обмотки трансформаторів машин контактного зварювання бувають двох типів: циліндричні та дискові.

Циліндрична обмотка застосовується головним чином у трансформаторах малої потужності.

Найбільш широке розповсюдження отримала дискова обмотка. Це пояснюється цілим рядом її переваг у порівнянні з циліндричною:

- менша індуктивність;
- більш легке виконання відпайок від витків обмотки;
- кращі умови при використанні водяного охолодження;
- простота виготовлення обмотки на великі сили струму;
- полегшене збирання трансформатора;
- менші динамічні зусилля і можливість забезпечення більш надійного кріплення обмоток;
- надійніша ізоляція як окремих витків, так і всієї обмотки в цілому;
- більш легка і надійна конструкція вторинного витка і можливість його доброго водяного охолодження;
- кращі умови ремонту;
- можливість сполучення з осердями броневого типу, що забезпечує менші витрати заліза і захист обмотки від механічних пошкоджень.

Первинні обмотки трансформаторів виконуються з прямокутної обмотувальної міді або алюмінію.

➤ Дискова котушка первинної обмотки намотується на широке ребро (рис. 5.77). Як міжвиткова ізоляція застосовується електрокартон.

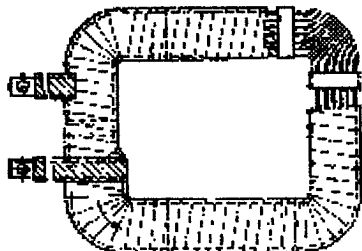


Рис. 5.77. Дискава котушка

Намотана котушка ізолюється по всій поверхні кіперною стрічкою або лако-тканиною.

Виводи від початку та кінця обмотки, а також від середини витків роблять із голої шинної міді. Вони припаюються до витків у процесі намотки.

Вторинна обмотка трансформаторів виконується з одного витка. Завдяки великим силам струмів і не-

обхідності отримання мінімальних габаритів трансформатора вторинні витки охолоджуються водою.

Витки бувають литими або з катаного матеріалу. Як матеріал для виготовлення литих витків використовують мідь або алюміній. Охолоджуючі трубки знаходяться всередині витка.

Найбільше розповсюдження отримали вторинні витки, виготовлені з катаного матеріалу. Диски обмотки, виштампувані з міді, вварюються у колодку, що застосовується для приєднання шин вторинного контура машини. Охолоджуючі трубки приварюються по зовнішньому периметру дисків.

На рис. 5.78 показано конструкції дискових вторинних витків трансформаторів: а – литий виток із залитою трубкою охолодження;

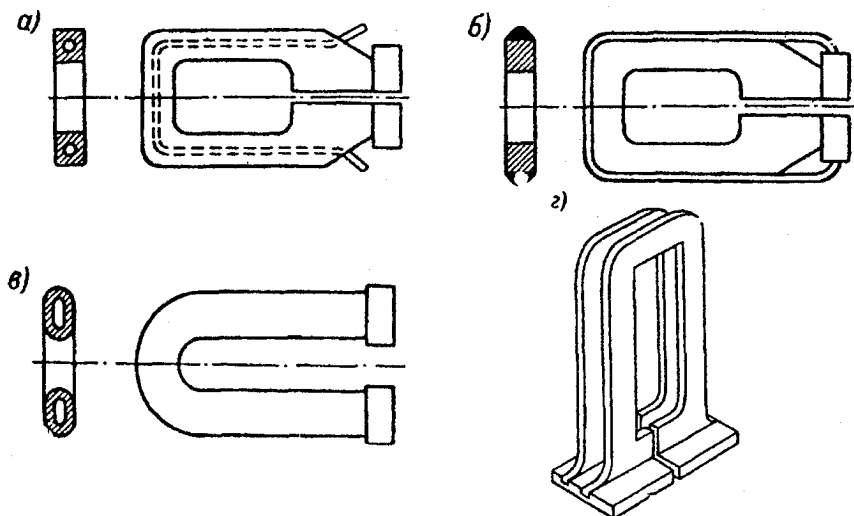


Рис. 5.78. Конструкції вторинних витків трансформаторів

б – штампований виток із привареною трубкою охолодження; в – виток із трубки; г – виток, зібраний із двох дисків.

В окремих випадках для покращення умов охолодження і зниження габаритів трансформатора вторинний виток виконується з трубки або штампується із двох половин, що зварюються по периметру для забезпечення проходу води всередині витка.

5.6.4. Схеми з'єднання первинних обмоток трансформаторів

Регулювання зварювального струму контактної машини в більшості випадків виконується перемиканням числа витків первинної обмотки трансформатора. Перемикання витків виконується за різними схемами, які разом із перемикачами ступенів повинні задовольняти наступні вимоги:

- забезпечувати регулювання вторинної напруги в заданих межах при переході від ступеня до ступеня;
- виключати можливість отримання високих напруг на кінцях обмотки при вмиканні в мережу;
- мати симетричне розташування первинної обмотки по відношенню до вторинної.

Найчастіше застосовуються схеми регулювання вторинної напруги, які показані на рис. 5.79, де а – секціонування обмотки без розриву; б – секціонування з розривом та одним перемикачем; в – секціонування з двома перемикачами; г – секціонування з паралельним з'єднанням частини обмотки; д – секціонування з паралельним з'єднанням всієї обмотки; е – регулювання з допомогою автотрансформатора.

Схема, наведена на рис. 5.79а, застосовується для машин малої потужності з межами регулювання

$$k = \frac{U_{2n}}{U_{21}} \leq 1,5,$$

де U_{2n} – напруга на вищому ступені, U_{21} – напруга на першому ступені, оскільки напруга між крайніми точками первинної обмотки не повинна перевищувати номінальну напругу мережі більш ніж на 50 %.

*Недоліком схеми є малі межі регулювання, присутність витків, що не працюють на вищих ступенях, і складність розподілу робочих

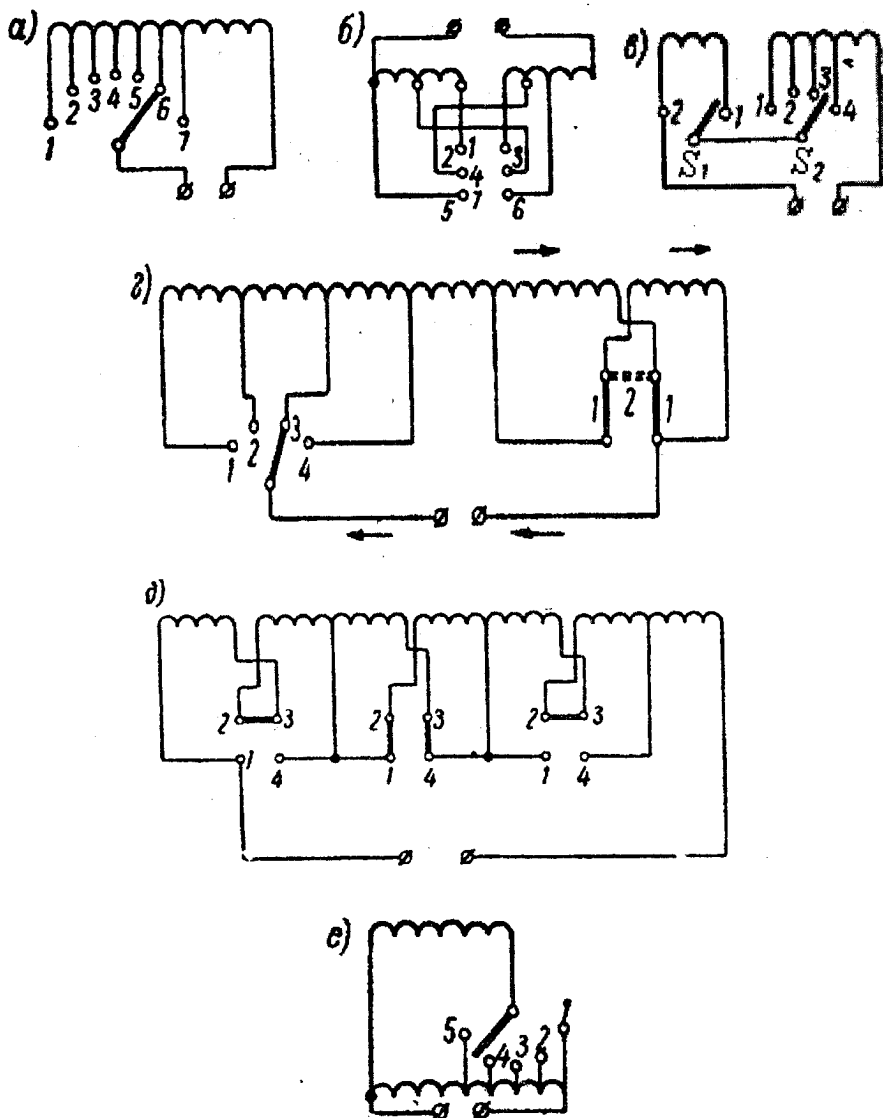


Рис. 5.79. Схеми регулювання вторинних напруг трансформатора

витків і витків, що виключаються для симетричного розташування обмоток.

Схема, наведена на рис. 5.79б, застосовується також тільки для машин малої потужності і дозволяє реалізовувати межі регулювання

$$k = \frac{U_{2n}}{U_{21}} \leq 3$$

з числом ступенів регулювання $N = 4; 7; 10$ і т. д. за формулою:

$$N = 3n - 2,$$

де N – число ступенів регулювання;

n – число пар контактів.

Регулювання вторинної напруги можливе тільки за функціональним рядом зі знаменником ряду:

$$q = \frac{U_{2(i+1)}}{U_{2i}} = 1 + \frac{\Delta_B}{\omega_{(i+1)}} \quad (5.2)$$

де $U_{2(i+1)}$ – вторинна напруга на ступені “ $i + 1$ ”;

U_{2i} – вторинна напруга на ступені “ i ”;

Δ_B – різниця витків між ступенями “ i ” та “ $i + 1$ ”;

$\omega_{(i+1)}$ – число витків на ступені “ $i + 1$ ”.

При зміні кількості первинних витків за арифметичною прогресією отримують достатньо зручну і просту схему регулювання вторинної напруги за відношенням 5.2

Схема на рис. 5.79 в дозволяє виконувати регулювання в межах

$$k = \frac{U_{2n}}{U_{21}} \leq 3 \quad \text{і застосовується в машинах середньої потужності.}$$

Регулювання вторинної напруги може проводитись на вищому або нижчому діапазоні (положення 1 або 2 перемикача S_1) як за арифметичною, так і за геометричною прогресією. При зміні діапазону (зміна положення перемикача S_1) регулювання проходить за функціональним рядом зі змінним знаменником ряду. Схема дозволяє достатньо легко підібрати будь-яку необхідну зміну вторинної напруги.

При розподілі витків первинної обмотки за арифметичною прогресією отримуємо зручну схему виконання обмоток даного типу.

Схема на рис. 5.79г є подальшим розвитком схем, показаних на рис. 5.79а, і застосовується в машинах середньої потужності. З метою економії міді частина обмотки розділена на дві паралельні

гілки, з'єднані на нижчих ступенях (від 1 до 4) послідовно, а на високих ступенях – паралельно.

Регулювання може виконуватися за будь-яким функціональним рядом.

$$\text{Межі регулювання } k = \frac{U_{2n}}{U_{21}} \leq 2.5,$$

При зміні числа витків за арифметичною прогресією можна отримати зручну схему регулювання.

Схема, наведена на рис. 5.79д, застосовується в машинах великої та середньої потужності і має вже декілька паралельно-послідовних гілок. Складається вона таким чином, щоб на нижчому ступені всі витки з'єднувалися послідовно, а на вищому – паралельно.

Число ступенів регулювання може бути обчислене за формулою: $N=2^k$, де N – число ступенів регулювання, k – число паралельно-послідовних груп.

При наявності тільки одних паралельно-послідовних груп межі регулювання відбуваються за таким виразом:

$$K = \frac{U_{2n}}{U_{21}} = 2$$

Регулювання виконується за функціональним рядом зі змінним знаменником. При зміні числа витків за арифметичною прогресією можливо отримати достатньо зручний розподіл напруги за ступенями і регулювання його за відношенням:

$$\frac{U_{2(i+1)}}{U_{2i}} = 1 + \frac{\Delta_B}{\omega_{(i+1)}},$$

де Δ_B – знаменник арифметичної прогресії зміни числа витків первинної обмотки.

Особливістю схеми є те, що всі витки первинної обмотки беруть участь у роботі на всіх ступенях регулювання. При цьому досягається симетричне розташування первинних і вторинних обмоток.

При виконанні всіх схем необхідно симетрично розмістити всі увімкнені й постійно працюючі секції, що включаються, по відношенню до вторинного витка. В іншому випадку завдяки нерівності магнітного потоку, що охоплюється котушками, може виникнути нерівність струмів.

Схема на рис. 5.79е дозволяє регулювання напруги за допомогою автотрансформатора.

Технічні характеристики імпульсних джерел живлення

Технічні характеристики	Типи джерел живлення				
	ВДГИ-301	ВДГИ-302	ВДГИ-401	ИУП-1	И-169
Номінальний струм, ТУ=60 %	315	315	400	315	305
Номінальна потужність, кВА	13	17,3	35	-	-
Напруга неробочого ходу, В	45	45	80	-	40
Межі регулювання базового струму, А	40-315	40-325	50-400	60-350	50-60
Межі регулювання імпульсного струму, А	30-170	30-170	-	0-800	400-800
Тривалість імпульсу, мс	4	1,5-5	-	0-6	1,5-5
Частота імпульсів, Гц	50, 100	50, 100	-	50-100	50-300
Габарити L, B, H, мм	1015, 748, 953	720, 593, 938	600, 430, 870	600, 500, 1600	600, 860, 630
Маса, кг	350	250	140	490	500

Таблиця 5.2

Технічні характеристики осциляторів, збуджувачів, стабілізаторів

Тип джерела	Первинна напруга, В	Вихідна напруга, кВ	Номіналь- ний струм, А	Частота вихідної напруги, кГц	Габарити L, B, H, мм	Маса Кг
Осцилятор ОСПЗ-2М	220	6	-	500	250, 170, 110	6,5
Осцилятор ОСПЗ- 300М	220	5	315	100-250	290, 225, 150	7,0
Збуджувач ВІР-101УЗ	180-300	20	80	500	250, 175, 115	4,5
Збуджувач 13-РП-80- 003	220	-	80	0,1	312, 180, 160	10,5
Збуджувач 13-РП-500- 005	220/380	-	500	0,1	312, 180, 160	13,0
Збуджувач стабілізатор ВСД-01УЗ	380	5	500	-	365, 270, 130	13,5
Стабілізатор СД-3У2	380	0,2	-	0,1	208, 295, 152	6,5

Технічні характеристики джерел для аргоно-дугового зварювання неплавким та плавким електродом

Тип джерела	Номін. зварюв. струм, А	Межі регулювання струму	Напруга нероб. Ходу, В	Режим роботи ТУ, %	Рід струму	Трив. імпульс.с	Габаритні розміри. L, В, Н, мм	Маса кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВСВУ-40УЗ	40	2-50	110-200	60	Постійний Непл. ел-д	0,1 – 1	700, 520, 920	160
ВСВУ-80УЗ	80	3-90	100, 200	60	“---“	0,1 – 1	700, 520, 920	180
ВСВУ-160УЗ	160	5-180	100, 200	60	“---“	0,1 - 1	700, 520, 1195	240
ВСВУ-315УЗ	315	8-350	100, 200	60	“---“	0,1 – 1	700, 520, 1195	350
ВСВУ-400УЗ	400	5-400	100	60	“---“	-	920, 590, 800	240
ВСВУ-630УЗ	630	10-700	110, 200	60	“---“	0,1 – 1	850, 520, 1250	480
ВСВ-1000УЗ	1000	25-1000	45	60	“---“	-	1000, 800, 1450	1150
ВСВ-2000УЗ	2000	25-2000	45	65	“---“	-	1620, 1300, 2120	2150
АП-5МУХЛ4	80	1,5-100	60	60	“---“	-	600, 560, 980	130
УДГ-101УХЛ4	50	2,0-80	70	60	“---“	-	650, 940, 905	250
УДГ-350УХЛ4	315	12-315	80	60	“---“	0,1 – 9,9	335, 650, 450	50
УДГ-201УХЛ4	200	12-200	60	40	Постійний імпульс.	0,1 – 9,0	570, 400, 600	50
УДГ-302УХЛ4	315	15-315	75	60	Змінний	0,1 – 9,9	900, 730, 1620	400
УДГ-501УХЛ4	500	40-500	75	60	Змінний	-	900, 730, 1620	500
УДГУ-301УХЛ4	315	15-315	70, 100	60	Постійний Змінний	-	800, 700, 900	300

Таблиці 5.3 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
УДГУ-302УХЛ4	315	10-315	80.100	60	Постійний Змінний	0.1-9.9	800. 700. 900	280
УДС-251	250	50-275	45	20	Змінний	0,05 – 1,0	445, 350, 400	50
УДГ-180УЗ	170	40-170	-	20	Змінний	-	360, 330, 930	60
УДГУ-351	350	10-350	-	60	Змінний Постійний	-	650, 450, 1000	110
УДГ-161УЗ	150	5-150	-	35	Постійний	-	330, 360, 930	53
ИСВУ-630	630	30-700	80	60	Змінний Постійний	0.1 – 1,0	1200, 1000, 1720	1275
ИСВУ-315-1	315	20-350	80	60	Змінний. Імпульсн.	0.1 – 1,0	910, 530, 1237	540
ТИР-200В	200	5-200	65	65	Постійний	-	1075, 500,836	270
ТИР-300ДМ1	300	10-300	65	100	Постійний Змінний	0,05 – 1,0	1230, 730,1100	410
И-126	400	50-400	-	80	Різнопол. Імпульсн.	-	1010, 600, 1425	600
ВСП-160УЗ	160	40-180	16-44	60	Постійний Плав. ел-д	0,25 – 2,5	700, 520, 1195	240
ВСП-315УЗ	315	50-350	16-44	60	“---“	0,25 – 2,5	700,520, 1195	350
ВД-506 ДК	500	12-500	95	60	“---“	-	390,700,690	192
УДГУ-251 (ПГ) (ММА)	275 235	30-275 50-235	80 100	35 35	Постійний Змінний		370, 800, 730	120
УДГУ-351 (ПГ) (ММА)	315 300	20-350 25-300	70 70	60 60	“---“	-	445, 555, 970	135
УДГУ-501 (ПГ) (ММА)	500 480	25-500 25-480	70 70	60 60	-	-	445, 730, 970	200
Джерела живлення аргону-дугового зварювання інверторного типу								
УДЧ-161	160	5-160	70	40	Постійний	-	360, 200, 320	14
УДЧ-251	250	10-250	70	40	Постійний	-	450, 250, 420	22
УДЧУ-161	160	5-160	70	40	Пост. Змін	-	360, 200, 410	16
УДЧУ-251	250	10-250	70	40	Пост. Змін	-	550, 250, 420	26

Технічні характеристики джерел живлення для плазмового зварювання, наплавлення, різання і напilenня

Тип джерела	Номинал. струм, А	Межі регулювання струму, А	Напруга неробочого ходу, В	Режим роботи ТУ %	Рід струму	Тривал. імпульсу	Габарити L, B, H, мм	Маса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
УПС-301 УХЛ4	315	20-315	80	60	Постійний Імпульсн.	0,08-1,0	1050, 680 870	350
УПС-501 УХЛ4	500	100-500	80	60	Постійний	-	1100, 840, 1050	500
УПС-804 УХЛ4	800	300-800	180	100	Постійний	-	1020, 1350, 850	900
УПН-303 УХЛ4	315	50-315	180	100	Постійний	-	670, 460, 1600	-
МПУ-4 УХЛ4	30	2,5-30	55-100	60	Постійний Імпульсн.	0,02-0,5	550, 480, 920	150
МПА-160	160	1,0-160	-	60	Постійний	0,01-1,0	480, 480, 220	40
Н-136	80	5,0-80	-	40	Постійний Змін. асим	-	530, 430, 910	80
УПР-201 У3	200	150-250	100	100	Постійний	-	981, 794 1125	450
УПР-203 УХЛ4	200	100-200	300	100	Постійний	-	735, 640 1200	350
УПРП-201 У3	200	100-200	220	60	Постійний	-	950, 690, 1170	-
АВПР-2	300	100-300	300	100	Постійний	-	680, 560, 1500	630
АПР-402 У4	400	100-450	300	100	Постійний	-	1010, 850, 1700	960
АПР-404 УХЛ4	400	200-500	320	100	Постійний	-	1040, 880, 1706	1040

Таблиця 5.4 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
"КИЇВ"-2	200	50-200	300	100	Постійний	-	1000, 800, 1200	680
"КИЇВ"-4М	300	100-300	180-250	100	Постійний	-	780, 840, 1510	700
БЕП-40	500	80-500	85-250	100	Постійний	-	850, 800, 1215	520
БЕП-80	500	100-500	145-330	100	Постійний	-	850, 800, 1365	780
УПМО-401 УХЛ4	400	200-500	320	100	Постійний	-	1150, 825, 1500	790
"КИЇВ"-7	315	100-315	250	-	Постійний	-	600, 600, 1600	1150
УВПР-0401	40	-	250	15	Постійний	-	230, 530, 510	45
УВПР-0901	90	40-90	300	60	Постійний	-	450, 650, 1000	150
УВПР-2001	300	200-300	300	60	Постійний	-	860, 505, 1150	360
ВПР-80 УЗ	80	30-100	180	60	Постійний	-	500, 700, 1120	310
ВПР-630 УЗ	630	100-700	250	60	Постійний	-	820, 1000, 1760	690
Джерела живлення інверторного типу для повітряно-плазмового різання								
УПРЧ-0702 УЗ	70	15-70	260	60	-	-	450, 200, 450	35
УПРЧ-0351 УЗ	35	15-40	250	35	-	-	322, 160, 360	11,5

Джерела живлення для електрошлакового зварювання

Таблиця 5.5

Тип джерела	Номін. зварювальний струм, А	Межі регулювання напруги, В	Напруга неробочого ходу, В	Режим роботи ТУ, %	Номінальна потужність, кВА	Габаритні розміри, L, B, H, мм	Маса, кг
ТШС-1001-1	1000	38-62	-	80	56	980, 690, 1150	510
ТШС-1001-3	1000x3	38-62	-	80	170	1470, 900, 1715	1400
ТШС-3000-1	3000	5-46	-	100	138	960, 706, 780	600
ТШС-3000-3	3000x3	8-63	-	100	500	1360, 1335, 1505	2200
ТРМК-1000	1000	21-57	62	100	70	950, 730, 1600	700
ТРМК-3001	3000	18-57	61	100	190	1220, 950, 1000	1350
ТШЕ-3001	3000	15-55	-	100	200	1250, 1200, 1500	1750

6. ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

6.1. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Експлуатація зварювального устаткування, в тому числі і джерел живлення, вимагає організації і суворого дотримання заходів безпеки.

Зварювальне обладнання, яке розміщене в цехах, повинне відповідати "Правилам улаштування електроустановок" (ПУЕ), а правила і заходи безпеки регламентовані системою стандартів безпеки праці. При настроюванні, ремонті і обслуговуванні джерел живлення повинні бути дотримані всі заходи, передбачені законами про охорону праці, діючими правилами та інструкціями.

Розглянемо характерні види ураження при дуговому зварюванні, які може отримати зварювальник, і заходи їх запобігання:

– ураження електричним струмом при контакті зі струмоведучими частинами зварювального обладнання. З метою запобігання цього необхідно, щоб ізоляція обладнання, підвідних ліній, електродотримачів не була пошкодженою, витримувала необхідну випробувальну напругу, яка обумовлюється в нормативно-технічній документації, і підлягала періодичним перевіркам. Зварювальник повинен бути одягнений в сухий спецодяг і чоботи на гумовій підшві, користуватись гумовими килимками. Йому забороняється виконувати перемикання на панелях проводів, виконувати ремонтні роботи;

– опіки, що спричинені краплями розплавленого металу і шлаку, які розбризкуються при зварюванні. Для захисту тіла від опіків треба застосовувати спецодяг з брезенту або спеціальної теплостійкої тканини. Руки зварника мають бути захищені рукавицями. Взуття повинне мати гладкий верх і прикрите брюками з метою запобігання попадання бризок гарячого металу або шлаку на ноги;

– отруєння газами, які виділяються при зварюванні, а також пилом і випаровуваннями металів, флюсів, обмазок і т. д. Засобами захисту від потрапляння в органи дихання цих речовин необхідно передбачити загальну і місцеву приточно-втяжну вентиляцію, а також індивідуальні засоби захисту (маски, респіратори). Особливо суворо правила безпеки повинні дотримуватися при зварюванні в приміщеннях і відсіках малого об'єму, де можливі більші концентрації шкідливих речовин;

– променеві ураження очей і шкіри від дії променів зварювальної відкритої дуги. Яскравість світлових променів може викликати небезпеку опіків очей при дуже малому терміні дії, а також опіки незахищених ділянок шкіри, подібні до опіків при засмаганні. Захисними засобами в такому випадку є спецодяг, захисне скло для очей, вмонтоване у щитки, маски різної конструкції. Для захисту навколишніх осіб, не пов'язаних з процесом зварювання, повинні застосовуватись спеціальні ширми, щитки і загородження;

– травмування, пов'язане з підготовчими операціями (транспортування зварювальних деталей, кантовка їх у процесі зварювання і т. д.). Для захисту від травм необхідно мати справні транспортні засоби (тельфери, крани, талі), набори такелажних пристроїв і інструментів, спецодяг і засоби захисту очей при операціях зачистки зварного шва. Для захисту очей від потрапляння шматків шлаку при зачищенні шва необхідно користуватись окулярами із прозорим склом. Травматизм у значній мірі знижується за рахунок продуманої технології підготовчо-зварювальних робіт, періодичних перевірок справності обладнання, інструменту й засобів захисту, а також впровадження комплексної механізації та автоматизації процесу.

Приміщення, в яких проводяться зварювальні роботи і розміщене зварювальне обладнання, в більшості випадків належить до категорії приміщень з підвищеною небезпекою. Тому джерела живлення повинні експлуатуватися так, щоб виключалась будь-яка можливість появи небезпечної напруги на струмопровідних частинах, які знаходяться в нормальних умовах роботи не під напругою (корпуси трансформаторів, генераторів і т. д.). Необхідно забезпечувати надійність роботи і обслуговування устаткування, виключати можливість випадкового зіткнення з частинами, які перебувають під напругою, вищою за припустиму для зварювального кола джерела живлення, гарантувати протипожежну безпеку.

Для виконання цих умов необхідно забезпечити ізоляцію проводів, які підводять струм до зварювального обладнання від силової мережі. Клеми для приєднання проводів від мережі мають бути добре ізольовані від корпусу і прикриті кришкою. Корпуси джерел повинні бути заземлені з метою захисту персоналу, який його обслуговує, у випадку пробоя ізоляції обмоток, з'єднаних із силовою мережею на корпус. З метою запобігання ураження електричним струмом клема вторинної обмотки трансформатора, від якого іде провід до виробу, що зварюється, має бути добре заземлена. Зварюваль-

ний виріб необхідно також заземлити. Захисне заземлення зварювального обладнання здійснюється відповідно до ПУЕ.

Вмикання і відмикання від високої напруги джерела живлення, а також спостереження за їх справним станом у процесі експлуатації, має здійснюватись висококваліфікованими спеціалістами-електриками або спеціально підготовленими для цієї мети електрозварниками. Здійснювати перемикання, приєднання або від'єднання в електричних колах зварювального посту можна тільки після повного відключення джерела від мережі магнітними пускачами або автоматичним вимикачем мережі. При цьому слід пам'ятати, що при вимиканні тільки вимикача, який вбудований у джерело, вхідні затискачі джерела живлення залишаються під напругою. Частини електродотримача, які перебувають під напругою, повинні бути надійно захищені від можливості випадкового до них торкання. Ручка електродотримача повинна виготовлятись з ізолюючого вогнетривкого матеріалу.

При паралельній роботі декількох джерел на зварювальну дугу схема їх вмикання повинна забезпечувати в колі напругу, не вищу від допустимих величин. Частини зварювальних перетворювачів і агрегатів, що обертаються, мають бути загороджені. Багатопостові джерела живлення повинні розташовуватися в окремих приміщеннях або в частині загального виробничого приміщення, яка відокремлена постійними перегородками, ґратами або сітками.

При виконанні зварювальних робіт у закритих приміщеннях або у приміщеннях з підвищеною вологістю слід застосовувати пристрої для обмеження напруги неробочого ходу або вимикання джерела після закінчення зварювання.

6.2. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Строк служби зварювального обладнання, неперервність його роботи значною мірою залежать від технічного обслуговування і своєчасного ремонту. За технічний стан і експлуатацію електрозварювального обладнання відповідає на виробництві той працівник, у ведення якого наказом по підприємству воно передається. В його обов'язки входять: перевірка технічного стану, порядок запуску і настроювання устаткування, порядок міжремонтного обслуговування, планово-профілактичного огляду і планового ремонту, інструктаж обслуговуючого персоналу.

Відповідальність за введення джерела живлення в експлуатацію, за його подальшу безперервну і правильну роботу несе наладчик електрозварювального устаткування, який призначений відповідним розпорядженням. Він виконує на робочому місті тільки дрібний ремонт. При неможливості усунення несправностей шляхом дрібного ремонту наладчик вимикає джерело живлення від мережі і передає його на ремонт.

Зварник-оператор несе відповідальність за правильну експлуатацію джерела та іншого устаткування, призначеного для зварювання. Він повинен технічно грамотно використовувати устаткування, строго підтримувати задані режими, утримувати в чистоті робоче місце, дотримуватись усіх вимог охорони праці. До самостійної роботи із джерелами живлення чи комплексом пристроїв допускаються зварники, які склали іспити з курсу технічного навчання з ручного, півавтоматичного та автоматичного зварювання і пройшли інструктаж з охорони праці.

Налагодження, експлуатація джерела та догляд за ним повинні виконуватись у суворій відповідності до вимог, які викладені в його паспорті. Електричний монтаж зовнішніх з'єднань повинен виконуватись відповідно до ПУЕ.

Перед запуском нового джерела живлення чи запуском джерела, яке тривалий час не було в експлуатації, після розконсервації та очистки від пилу слід перевірити мегометром опір ізоляції обмоток трансформатора відносно корпусу. У випадку зниження опору ізоляції нижче норми, яка вказана у паспорті, джерело слід просушити теплим повітрям. Також потрібно перевірити стан приладів, електричних дротів, контактів і т. д. Необхідно провести надійне заземлення джерела з допомогою гнучких проводів з міді або іншого електропровідного металу в суворій відповідності до діючих правил. Послідовне заземлення декількох зварювальних пристроїв не рекомендується. Кожне джерело повинно підключатись до мережі через окремий пускач із запобіжниками або через автоматичний вимикач. Для забезпечення безперервної та тривалої роботи джерел необхідно проводити щоденні і періодичні огляди. Зміст кожного виду огляду і ремонту повинен бути обумовлений в інструкції з технічного обслуговування джерела живлення. Усі роботи з догляду і ремонту мають фіксуватись у журналі технічного стану. При щоденному догляді слід звертати увагу на надійність заземлення, міцність кріплення проводів, опір ізоляції.

При періодичному огляді один раз на місяць слід очистити джерело від забруднень і пилю, перевірити стан електричних контактів. Один раз на три місяці необхідно перевірити стан апаратури керування, опір ізоляції, наявність мастила у підшипниках електродвигуна вентилятора або ротора генератора.

Система планово-попереджувального ремонту передбачає поряд з роботами з технічного обслуговування ремонт джерел за заздалегідь складеним планом. Визначаються види робіт і виконується їх опис, плануються профілактичні огляди і виконання дрібного, середнього і капітального ремонтів, передбачається постачання готових деталей та комплектуючих, виготовлення запасних деталей, їх облік і зберігання. Приблизні строки оглядів і ремонтів джерел живлення наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Джерело живлення	Періодичність		
	Профілактичного огляду	Поточного ремонту	Капітального ремонту
Зварювальні перетворювачі, трансформатори, випрямлячі	Один раз на місяць	Один раз на 6 місяців	Один раз на 6 років
Спеціалізовані джерела	Один раз на тиждень	Один раз на 3 місяці	Один раз на 3 роки

У процесі експлуатації на джерела живлення впливають кліматичні і механічні фактори зовнішнього середовища.

Кліматичні умови експлуатації, транспортування і зберігання машин, механізмів, приладів, у тому числі електрозварювального устаткування, визначені ГОСТ 15150-69.

Відповідно до ГОСТ 15150-69 основними характеристиками кліматичних умов експлуатації електротехнічних виробів (а отже, і джерел живлення) є: температура навколишнього середовища, відносна вологість повітря, інтенсивність сонячної радіації, атмосферний тиск, вміст корозійно-активних агентів в атмосфері навколишнього середовища. Виконання виробів для експлуатації у визна-

чених кліматичних районах позначається літерами, а категорії розміщення виробів, що визначають температуру, вологість, наявність чи відсутність прямого впливу сонячної радіації, атмосферних опадів і т. п. – арабськими цифрами. За вмістом в атмосфері корозійно-активних агентів встановлюються типи атмосфер I, II, III і IV. Електрозварювальне устаткування, в тому числі джерела живлення, виготовляються для експлуатації, в основному, в атмосфері типу II – промислової.

До кліматичного району з помірним кліматом (У), для якого, як правило, виготовляється електрозварювальне устаткування загального призначення, належать райони, де середня із щорічних абсолютних максимальних температур повітря нижче +40 °С, а середня із щорічних абсолютних мінімальних температур повітря вище -45 °С. У ряді випадків допускається звуження діапазону температур, при яких експлуатується виріб.

До кліматичного району з холодним кліматом (УХЛ) для яких можуть виготовлятися деякі типи зварювальних агрегатів, відносяться райони, у яких середня із щорічних абсолютних мінімальних температур повітря нижча -45 °С.

Крім виконань У і УХЛ, за спеціальними замовленнями джерела живлення можуть виготовлятися в кліматичних виконаннях Т (тропічне), М (морське) і деяких інших.

Електрозварювальне устаткування виготовляється за чотирма категоріями розміщення. За категорією 1 – устаткування може експлуатуватися на відкритому повітрі. За категорією 2 – у приміщеннях, де коливання температури і вологості повітря не суттєво відрізняються від коливань температури і вологості відкритого повітря. За категорією 3 – устаткування повинне експлуатуватися в закритих приміщеннях, але з природною вентиляцією, без штучно регульованих кліматичних умов (неопалювані приміщення). Категорія 4 передбачає експлуатацію устаткування в закритих приміщеннях зі штучно регульованими кліматичними умовами.

Крім умов експлуатації, ГОСТ 15150-69 визначає умови транспортування і збереження при впливі кліматичних факторів зовнішнього середовища – температури, відносної вологості повітря, інтенсивності сонячної радіації й атмосферних опадів. Ці фактори зазначені з типом атмосфери й утворюють дев'ять груп зі своїми позначеннями.

► Умови експлуатації і транспортування електротехнічних виробів, у тому числі електрозварювального устаткування, у частині впливу

механічних факторів зовнішнього середовища регламентуються ГОСТ 17516.1-90 і ГОСТ 23216-78. До механічних факторів зовнішнього середовища відносяться вібрації, поодинокі чи багаточисельні удари при експлуатації, а також при транспортуванні залежно від виду доріг і допустимого числа перевантажень.

У таблиці 6.2 наведені позначення найбільш типових умов експлуатації, транспортування і зберігання основних видів зварювальних джерел живлення, а також допустимі значення основних факторів впливу.

Термін зберігання до переконсервації для агрегатів, перетворювачів і трансформаторів для автоматичного зварювання – 1 рік, для інших видів зварювальних джерел живлення – 2 роки. Важливе місце у вимогах до електрозварювального устаткування, особливо до джерел живлення, посідають вимоги до охорони праці.

ГОСТ 12.2.007.8-75 встановлює п'ять класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від ураження електричним струмом: 0; 0I; I; II; III.

До класу 0 належать вироби, що мають, принаймні, робочу ізоляцію і не мають елементів для заземлення, якщо ці вироби не належать до класу II чи III. Так, до класу 0 належать усі пересувні електрозварювальні агрегати з двигунами внутрішнього згорання.

До класу 0I належать вироби, що мають, принаймні, робочу ізоляцію, елемент для заземлення і провід без жили, що заземлюється.

До класу I належать вироби, що мають, принаймні, робочу ізоляцію й елемент для заземлення. У випадку, якщо виріб класу I має провід для приєднання до мережі живлення, у цього проводу повинна бути жила і роз'єм з контактом, що заземлюють.

До класу II належать вироби, що мають подвійну чи посилену ізоляцію і не мають елементів для заземлення.

До класу III належать вироби, що не мають ні внутрішніх, ні зовнішніх електричних кіл з напругою вище 42 В.

Трансформатори для ручного дугового зварювання, шлакового зварювання, зварювання під флюсом, випрямлячі для ручного, півавтоматичного й автоматичного зварювання, джерела живлення для зварювання неплавким (вольфрамовим) електродом у середовищі інертних газів, джерела живлення для плазмового зварювання, різання, наплавлення і напилення виготовляються як за класом 0I, так і за класом I. За класом II виготовляються побутові зварювальні при-

Таблиця 6.2.

Вид устаткування	Кліматичні фактори					Механічні фактори при експлуатації
	При експлуатації			При транспортуванні		
	Кліматичне виконання і категорія розміщення за ГОСТ 15150-69	Діапазон температур, С	Середньомісячна відносна вологість, %	Діапазон температур, °С	Середньомісячна відносна вологість, %	
Агрегати з двигуном внутрішнього згорання	У1	+40... -45	80 при 20 °С	+50...-50	80 при 20 °С	Вібрація з прискоренням 0,5 g в діапазоні частот 0,5–35 Гц
Трансформатори, випрямлячі для ручного та автоматичного зварювання	У3	+40... -10	80 при 20 °С	+50...-50	80 при 20 °С	Вібрація з прискоренням 0,5 g в діапазоні частот 0,5–35 Гц
Установки для зварювання неплавким електродом	УХЛ4	+35...+1	65 при 20 °С			

строї, оскільки побутова мережа, як правило, не має лінії заземлення. За класом III електрозварювальне устаткування не виготовляється.

ГОСТ 12.1.009-76 визначає наступні типи ізоляції:

– робоча ізоляція – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист персоналу від ураження електричним струмом;

– додаткова ізоляція – електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом у випадку пошкодження робочої ізоляції;

– подвійна ізоляція – електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції;

– посилена ізоляція – поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує такий самий ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

Вимоги до електричних виробів за ступенем захисту встановлює ГОСТ 14254-80. Ступінь захисту визначає вимоги до оболонок, що забезпечують захист персоналу від дотику до частин, що перебувають під напругою, а також захист виробу від потрапляння всередину твердих тіл і води.

Для позначення ступеня захисту застосовуються літери IP (індекс захисту) і дві цифри. Перша з них позначає ступінь захисту персоналу від зіткнення з частинами, що перебувають під напругою, чи наближення до них, а також ступінь захисту виробів від потрапляння всередину твердих сторонніх тіл. Друга – захист виробу від потрапляння води. Значення і розшифровка першої цифри подані в табл. 6.3, а другої – у табл. 6.4 для ступенів захисту, що використовуються в електрозварювальному устаткуванні при дуговому і плазмовому зварюванні.

З урахуванням ГОСТ 12.2.007.8-75 для електрозварювального устаткування і устаткування для плазмової обробки, що працюють в закритих приміщеннях, мінімальний ступінь захисту IP11. Для того ж устаткування, призначеного для роботи на відкритому повітрі або під наметом – IP21.

Практично більшість трансформаторів для ручного дугового зварювання, випрямлячі для ручного, півавтоматичного і автоматичного зварювання, зварювальні апарати, джерела струму для зварювання неплавким електродом у середовищі інертних газів, джерела для плазмової обробки мають ступінь захисту IP22, а трансформатори для автоматичного зварювання під флюсом – IP21.

Таблиця 6.3

Перша цифра	Ступінь захисту	
	Короткий опис	Визначення
0	Захист відсутній	Спеціальний захист відсутній
1	Захист від твердих тіл розміром більше 50 мм	Захист від дотику до частин внутрішньої оболонки великої частини поверхні людського тіла, наприклад, руки, від проникнення твердих тіл розміром більше 50 мм.
2	Захист твердих тіл розміром більше 12 мм	Захист від потрапляння всередину оболонки пальців або предметів довжиною не більш як 50 мм і від проникнення твердих тіл розміром більше 12 мм.
3	Захист твердих тіл розміром більше 2,5 мм	Захист від попадання всередину оболонки інструментів, дроту діаметром або товщиною більш як 2,5 мм. і від проникнення твердих тіл розміром більше 2,5 мм.

Таблиця 6.4

Друга цифра	Ступінь захисту	
	Короткий опис	Визначення
0	Захист відсутній	Спеціальний захист відсутній
1	Захист від крапель води	Краплі води, що вертикально падають на оболонку, не повинні впливати на виріб
2	Захист від крапель води при нахилі до 15°	Краплі води, що вертикально падають на оболонку, не повинні впливати на виріб при нахилі його оболонки на будь-який кут до 15° відносно нормального положення
3	Захист від дощу	Дощ, що падає на оболонку під кутом 60° від вертикалі, не повинен впливати на виріб

Виконання вимог заземлення електрозварювального обладнання → найголовніша умова безпеки роботи. Як правило, елемент заземлення являє собою площадку з розташованим на ній болтом. Болт

заземлення повинен бути захищений від корозії і неметалевих включень.

Допустимі значення напруги неробочого ходу джерел живлення для дугового зварювання встановлені ГОСТ 12.2.007.8-75:

– 80 В – для джерел змінного струму для ручного дугового зварювання;

– 140 В – для джерел змінного струму для автоматичного дугового зварювання;

– 100 В – для джерел постійного струму.

Але при цьому джерела змінного струму для автоматичного дугового зварювання з напругою неробочого ходу більше 80 В, а також джерела змінного струму для ручного дугового зварювання, що потрібні для роботи в особливих умовах (всередині металевих ємностей, на відкритому повітрі та в особливо небезпечних приміщеннях), повинні комплектуватись пристроями зниження напруги неробочого ходу.

Для загальної характеристики стану працюючого електрозварювального устаткування, при досягненні критичних режимів або при появі аварійної ситуації застосовується попереджувальна (у більшості, світлова) сигналізація. Застосовують наступні кольори світлової сигналізації:

– червоний – заборонені та аварійні сигнали, що попереджують про перевантаження, неправильні дії, небезпечні стани, що потребують термінового втручання, і т. п.;

– жовтий – сигнал звертання уваги (досягнення крайніх значень, перехід на автоматичний режим і т. п.);

– зелений – сигнал безпеки (нормальний режим роботи, дозвіл на початок дії тощо);

– білий – сигнал включеного стану, коли трапляється нераціональне використання червоного, жовтого і зеленого кольорів;

– синій – для спеціальних випадків, коли неможливе використання червоного, жовтого, зеленого та білого кольорів.

Всі світлосигнальні пристрої обов'язково повинні мати символічні позначки або написи, які вказують на призначення сигналу.

Важливою характеристикою джерел струму є клас ізоляції при їх роботі у номінальному режимі.

Клас ізоляції за нагрівостійкістю визначає крайні перевищення температури обмоток та магнітопроводів силових виробів (трансформаторів, дроселів, реакторів, індукційних нагронадзвувачів і т. п.), які входять до складу джерел живлення, над температурою навколиш-

нього середовища. У табл. 6.5 наведені значення крайніх перевищень температури для трансформаторів для ручного зварювання і зварювання під флюсом, випрямлячів для ручного, півавтоматичного і автоматичного дугового зварювання.

Таблиця 6.5.

Клас ізоляції	Крайні перевищення температури над температурою навколишнього середовища, °С		
	Для багат шарових обмоток	Для одношарових обмоток	Для найбільш нагрітих точок, що дотикаються до обмоток
А	65	70	70
Е	80	85	85
В	85	95	95
F	110	120	120
Н	135	145	145
С	Перевищення температури обмежується фізичними або електричними властивостями матеріалу.		

6.3. ГОЛОВНІ ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ. ВИБІР, МОНТАЖ І ПУСК ДЖЕРЕЛ

Вимоги технологічного процесу зварювання перебувають на першому місці серед критеріїв вибору. До них належать: спосіб і вид зварювання, рід струму, діапазон зварювальних режимів і т. д. Важливе значення мають також ціна і техніко-економічні показники джерела. Усі ці відомості зазвичай наводяться в довідниках, каталогах і номенклатурних списках заводів-виготовлювачів.

Систему обслуговування обирають залежно від кількості постів зварювання, компактно розташованих у цеху або на будівництві. Багатопостові системи економічні вже при кількості однотипних постів більш ніж чотири.

Спосіб зварювання слід обирати вже на початку, оскільки від нього залежать такі важливі параметри джерела, як тип зовнішньої характеристики, напруга неробочого ходу, кратність струму короткого замикання і т. д.

У зварювальному цеху джерела розташовуються в окремому приміщенні (машинній залі) або безпосередньо біля робочих місць. У машинній залі покращуються умови експлуатації, обслуговування і ремонту, особливо багатопостових джерел, але при цьому збільшуються витрати зварювальних кабелів і втрати енергії. При розміщенні джерел у цеху їх встановлюють поблизу стін або колон, щоб не займати виробничу площу.

“Правила улаштування електроустановок” (ПУЕ) вимагають залишати проходи для безпечної експлуатації та обслуговування електрообладнання. Джерела повинні розміщуватися не ближче ніж 0,5 м від стін. Відстань між однопостовими трансформаторами та випрямлячами повинна бути не менше 0,3 м, між агрегатами – не менш 0,8 м, а між багатопостовими джерелами, не менше 1,5 м.

Живлення зварювального обладнання здійснюється від силової трифазної мережі. Підведення струму від підстанції до розподільчих шаф виконується трьома одиничними проводами або три-, чотирижильними кабелями в трубах і траншеях по підлозі. При розрахунку навантаження силової мережі спочатку визначають середню умовну потужність зварювального поста:

$$S_n = \frac{I_D U_D}{\eta \cdot \cos \varphi}$$

Потім розраховують сумарну потужність S_Σ споживачів з урахуванням їх кількості n і коефіцієнта одночасності k_0 :

$$S_\Sigma = S_n \cdot n \cdot k_0$$

При рівномірному завантаженні трьох фаз знаходять розрахунковий струм

$$I_{pc} = \frac{S_\Sigma}{\sqrt{3} U_{л}}$$

за яким і обирають площу перетину проводів за їхнім допустимим нагріванням. Перетин проводу повинен бути перевірений за економічною густиною j середнього струму в годину максимуму навантаження:

$$S = I_{pc} / j \quad (6.1)$$

Для одиночного алюмінієвого проводу з гумовою або пластмасовою ізоляцією густина струму не повинна перевищувати 1,2–1,6 А/мм², а для мідного проводу – 2–3 А/мм². Для кабелів з алюмінієвими жилами, що мають гумову або пластмасову ізоляцію, економічна густина струму становить 1,6–1,9 А/мм², а з мідними жилами – 2,7–3,5 А/мм².

Перетин проводу розраховується за співвідношенням (6.1) або обирається за довідниками за величиною розрахункового струму. Розрахунковий струм для однофазного джерела обирається залежно від номінальної потужності S_H за співвідношенням

$$I_{pc} = S_H \sqrt{TH} / U_{л}, \text{ а для трифазного – } I_{pc} = \frac{S_H \sqrt{TH}}{\sqrt{3}U_{л}}$$

6.4. НАЛАГОДЖЕННЯ ТА РЕМОНТ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Випробувально-налагоджувальні роботи в повному обсязі виконують на заводі-виготовлювачі джерела, а також після капітального ремонту в електроремонтному цеху заводу, що експлуатує джерела. Настроювання та приймально-здавальні випробування після монтажу джерела на посту зварювання відповідно до “Правил улаштування електроустановок” виконує кваліфікований електрик-ремонтник у чотири етапи.

Перевірка без подачі напруги включає зовнішній і внутрішній огляди, вимірювання опору ізоляції, випробування заземлення. При огляді чистять джерело від пилу, знімають консерваційне мастило, знаходять зовнішні пошкодження, перевіряють відповідність напруги мережі напрузі, що вказана на табличці, потім перевіряють стан приладів, дротів, щільність контактів і паяння, легкість ходу механічних приводів, обертання вала генератора і вентилятора. Опір ізоляції первинних і вторинних обмоток вимірюється мегаомметром на 500–1000 В при підключенні його до вхідних і вихідних затискачів, а також до корпусу джерела. Допустимий опір ізоляції вказується в інструкції до джерела, але у будь-якому випадку не повинний бути меншим за 0,5 МОм. У разі зниження опору джерело має бути просушене теплим повітрям і повторно перевірене. Опір заземлення перевіряється між корпусом джерела і цеховим заземлювальним контуром.

Перевірка з подачею напруги тільки в кола керування виконується при настроюванні джерел з електричним керуванням. При цьому перевіряється спрацювання сигнальних ламп і автоматичного вимикача при ручному вмиканні, у випадку його автоматичного вмикання виявляють причину несправності. При запуску вентилятора перевіряють напрямку потоку повітря, при неправильному напрямку міняють місцями два проводи на вхідних затискачах джерела.

Перевірка з подачею напруги у зварювальні кола починається при встановленні всіх регуляторів у положення мінімальних струмів. У режимі неробочого ходу послідовно перевіряють роботу всіх на-строювальних пристроїв, якщо їх перемикання допустиме під напру-гою. За приладами контролюють відповідність напруги неробочого ходу паспортному значенню. При виявленні несправностей їх ліквідо-вують або замінюють несправні блоки та елементи. З допомогою підстроювальних пристроїв досягають відповідності характеристик джерела паспортним.

Приймально-здавальні випробування джерела відбуваються за участі зварювальника і повинні підтвердити відповідність технічних характеристик паспортним значенням, задовольняти вимогам до зварювальних властивостей. Має бути забезпечене надійне запалюван-ня і стійке горіння дуги, ефективне регулювання струму і напруги, сприятливий характер перенесення електродного металу і якісне формування шва

Система технічного обслуговування та планово-попереджуваль-ного ремонту (ППР) розроблена для забезпечення безперебійної і тривалої роботи електрозварювального обладнання. З урахуванням цієї системи завод-виготовлювач дає гарантії стосовно окремих по-казників надійності.

Поточний ремонт, як правило, виконується наладчиком прямо на посту зварювання без повного розбирання, але з від'єднанням від мережі. При цьому несправності усуваються шляхом заміни або відновлення окремих частин, що і забезпечує працездатність джере-ла до більш серйозного ремонту.

Середній ремонт виконується, як правило, на ремонтній ділянці, при цьому ресурс джерела відновлюється частково шляхом заміни або відновлення тільки деяких його частин.

Капітальний ремонт можливо виконати на ремонтній ділянці або на спеціалізованому ремонтному підприємстві. При цьому до-магаються ремонту джерела з повним відновленням його ресурсу.

Перед пошуком несправностей належить ознайомитися з будо-вою, принципом дії і електричною схемою джерела за його техніч-ним описом. Пошук виконується з допомогою тестера – амперволь-тометра або цифрового приладу мультиметра, а також з допомогою осцилографа. У технічному описі зазвичай наводиться перелік типо-вих несправностей із вказанням причин і методів усунення.

Пошук несправностей починають із зовнішнього огляду джерела зі знятим кожухом. Інколи при виявленні підозрілого елемента чи блока його замінюють на справний і вмикають джерело, спостерігаючи поведінку цього елемента і роботу джерела в цілому. Більш ефективним є спосіб почергового відмикання блоків або елементів. Після кожного відключення на джерело подають напругу і одночасно спостерігають, чи не зникла при цьому ознака дефекту.

6.5. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДЖЕРЕЛ. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ І ЕРГОНОМІКИ ДО КОНСТРУКЦІЇ ДЖЕРЕЛ

При конструюванні і виготовленні джерел враховують положення системи стандартів безпеки праці (ССБП), а саме державний стандарт ГОСТ 12.2007.8-75. За цим стандартом первинні кола джерел розраховують на включення в мережу змінного струму напругою на 380 В. Побутові джерела, як правило, вмикають до мережі 220 В. При плазмових процесах напруга неробочого ходу не повинна перевищувати при ручному різанні 180 В, при напівавтоматичному – 300 В, при автоматичному – 500 В.

Затискачі високої і низької (зварювальної) напруги розносять на різні дошки і захищають відкидними козирками, затискачі високої напруги повинні мати напис “Мережа”. Корпус джерела повинен мати захищену від корозії ділянку і болт з написом “Земля”, призначений для заземлення. Якщо корпус джерела виконаний у формі шафи, то він повинен мати електричне блокування дверей або замикатися на замок. Конструкцією осцилятора передбачається блокування, що виключає його роботу при знятому кожусі, і не дозволяється безпосередній контакт кіл високої і низької частоти.

Ергономічні вимоги належать окремо до зовнішнього фарбування джерел. Слід фарбувати джерела у нейтральні кольори – сірий, сталевий, темно-зелений. Джерела підвищеної напруги, наприклад, для плазмового різання, для привертання уваги, навпаки, фарбують у яскравий колір: жовтий або червоний.

Відповідно до “Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів” зварювальники належать до II групи за електробезпекою персоналу, що обслуговує електроустановки. Для осіб з групою II обов'язкові елементарне технічне знайомство з електроустановками, чітке уявлення про небезпеку електричного струму, знання основних засобів обережності при роботі, практичні навички надання

першої допомоги потерпілим. До робіт з експлуатації та обслуговування джерел зварювальник допускається після інструктажу на конкретному обладнанні і перевірки знань. Роботи, пов'язані з підключенням та ремонтом джерел, зварювальнику заборонені. Цим займається електромонтер із більш високою III групою за електробезпекою.

Однією з причин електротравматизму при зварюванні є ураження зварювальника високою (мережевою) напругою, тобто високий потенціал може з'явитися на кожусі або в колах зварювальної напруги при пошкодженні ізоляції. У цьому випадку при одночасному торканні землі і кожуха, тіло зварювальника опиниться увімкненим у коло з високою різницею потенціалів. Саме таку ситуацію має відвернути заземлення. Заземлюючий дріт з'єднує кожух із землею, тому різниця потенціалів між ними близька до нуля навіть у наведеній аварійній ситуації. Обов'язкове також заземлення затискача зварювальної напруги, що з'єднаний із зварюваним виробом. Недопустиме послідовне увімкнення в заземлювальний провід кожухів декількох джерел. Недопустиме також використання зварювального проводу, що підключається до виробу як заземлювальний, а також використання як заземлення металоконструкцій споруд і трубопроводів. Інколи замість заземлення використовується захисне занулення, тобто з'єднання кожуха з нульовим проводом трифазної мережі живлення. У цьому випадку при потраплянні високої напруги на кожух утворюється коло короткого замикання "фаза – кожух – нульовий провід", що призводить до спрацювання захисту і відключення джерела від мережі.

У процесі експлуатації справного джерела можливе ураження зварювальника низькою напругою неробочого ходу. Тому, наприклад, при механізованому зварюванні під флюсом робота джерела в режимі неробочого ходу обмежується за часом, що передбачено схемою системи керування. При ручному зварюванні небезпека підвищується при роботі на змінному струмі всередині металевих ємностей, а також на відкритому повітрі через вплив атмосферних опадів та іншої вологи. У цьому випадку рекомендовано використовувати пристрої зниження напруги неробочого ходу.

ДОДАТКИ

1. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ТРАНСФОРМАТОРА З РУХОМИМИ ОБМОТКАМИ

Вихідні дані для розрахунку. Номінальний зварювальний струм $I_{2\text{НОМ}}$, А. Тривалість навантаження ТН, %. Первинна напруга $U_1 = 380$ В. Напруга неробочого ходу: в діапазоні великих струмів $U_{20} = 64$ В; в діапазоні малих струмів $U_{20} = 78-82$ В. Межі регулювання зварювального струму: загальні 80–460 А; в діапазоні великих струмів 200–460 А; в діапазоні малих струмів 80–200 А. Номінальна робоча напруга $U_{2\text{НОМ}} = 36$ В. Клас ізоляції Н. Обмотувальні проводи: для первинної обмотки – алюмінієвий дріт марки АСПД (за галузевими технічними умовами); для вторинної обмотки – шина алюмінієва марки АДО (ГОСТ 15176-84).

1.1. Методика розрахунку трансформатора для діапазону малих струмів

1. Мінімальний індуктивний опір, який запезпечує отримання максимального зварювального струму $I_{22} = 200$ А, Ом

$$X_{\min} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{22}^2}}{I_{22}}, \text{ де } U_{22} = 20 + 0,04I_{22}$$

2. Максимальний індуктивний опір, який забезпечує отримання мінімального зварювального струму $I_{21} = 80$ А, Ом

$$X_{\max} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{21}^2}}{I_{21}}, \text{ де } U_{21} = 20 + 0,04I_{21}$$

3. Вибір кількості витків обмоток. Для вибору кількості витків обмоток рекомендовано користуватися емпіричною формулою В/виток:

$$e_w = 0.55 + 0.095 \cdot P_{\text{ТР}},$$

де $P_{\text{ТР}}$ – потужність трансформатора, КВ·А:

$$P_{\text{ТР}} = U_{20} \cdot I_{2\text{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ТН}}{100}} \cdot 10^{-3}$$

Кількість витків первинної обмотки:

$$w_I = \frac{U_1}{e_W}$$

Кількість витків вторинної обмотки:

$$w_{II} = \frac{U_{20}}{e_w}$$

4. Кількість витків котушок. Первинна і вторинна обмотки складаються з двох котушок, які з'єднані в діапазоні малих струмів по-слідовно, тобто:

$$w_1 = \frac{w_I}{2}; w_2 = \frac{w_{II}}{2}$$

5. Номінальний струм первинної обмотки, А:

$$I_{1\text{НОМ}} = I_{2\text{НОМ}} \cdot \frac{K_\mu}{n}$$

де $n = w_1/w_2$; $K_\mu = 1,05$.

6. Площа перерізу магнітопроводу, см²

$$S_c = \frac{U_{20} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot B_m},$$

де $f = 50$ Гц – частота мережі; $B_\mu = 1,73$ Тл – прийнята індукція в магнітопроводі.

7. Ширина пластини стрижня магнітопроводу, мм:

$$a = \sqrt{\frac{S_c}{p_1 \cdot k_c}},$$

де k_c – коефіцієнт заповнення сталлю.

Приймаємо $k_c = 0,97$, $p_1 = b/a = 1,8...2,2$, де b – висота набору магнітопроводу, мм.

8. Набір пакета магнітопроводу, мм:

$$b = p_1 \cdot a$$

9. Ширина вікна магнітопроводу, мм: (рис. 1.)

$$c_b = b/p_2$$

Приймаємо $p = 1,0...1,2$

10. Площина перерізу обмотувальних проводів первинної обмотки (для послідовного з'єднання котушок), мм²:

$$q_1 = \frac{I_{1\text{НОМ}}}{J_1}$$

де $J_1 = 2,4 \text{ А/мм}^2$ – густина струму у первинній обмотці.

Обирається стандартний провід марки АПСД з розмірами $a_1 \cdot b_1 = q_1$ ($a/b = 1/2$). Розмір проводу в ізоляції:

$$a'_1 \times b'_1; \quad (a'_1 = a_1 + \delta_0; \quad b'_1 = b_1 + \delta_0; \quad \delta_0 = 0,4 \text{ мм})$$

11. Розміри котушок первинної обмотки:

ширина котушки, мм:

$$m_{1К} = \frac{(c_B - 2\delta_1 - \delta_3)}{2}, \quad (\delta_1 = 10 \text{ мм}; \quad \delta_3 = 2 \text{ мм}),$$

де δ_1 – ізоляційна відстань котушок у вікні магнітопроводу, мм;

δ_3 – ширина прокладки між котушками первинної обмотки, мм.

Число шарів у котушці:

$$n_{1Ш} = \frac{m_{1К}}{[(a'_1 + k_1) \cdot k_y]}$$

$k_1 = 0,15; \quad k_y = 1,1;$

де k_1 – товщина міжшарової ізоляції, мм; k_y – коефіцієнт, враховуючий нещільність укладання провідників.

число витків у шарі $w_{1Ш} = w_1 / n_{1Ш}$

канали охолодження: $\delta_2 = 13$ мм після 4 і 8-го шарів.

висота котушки, мм:

$$h_1 = w_{1Ш} \cdot b'_1 \cdot k_y$$

12. Площина перерізу обмотувальних проводів вторинної обмотки (для послідовного з'єднання котушок), мм²:

$$q_2 = I_{2НОМ} / J_2,$$

де $J_2 = 2,1 \text{ А/мм}^2$ – густина струму у вторинній обмотці.

Обираємо шину алюмінієву марки АДО з розмірами $a_2 \cdot b_2 = q_2$, де $b_2/a_2 = 6$

Висота вторинної котушки:

$$h_2 = w_2 \cdot a'_2 \cdot k_y,$$

де a'_2 – товщина шини в ізоляції, мм;

b'_2 – ширина шини в ізоляції, мм.

13. Зважаючи на вибрані геометричні розміри, проведемо перевірочний розрахунок мінімального індуктивного опору розсіяння. Мінімальний опір розсіяння відповідає повністю зближеним первинним і вторинним обмоткам ($\xi = 20$ мм).

► Індуктивний опір у вікні магнітопроводу, Ом:

$$X_B = \frac{1}{3} \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot (W_2)^2 \cdot \lambda \cdot (h_1 + h_2),$$

де $\lambda = 1,5 + 1,2 \cdot \frac{b}{c_B}$; $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, Г/с.

Індуктивний опір за рахунок магнітного поля в лобовій частині магнітопроводу, Ом:

$$X_\pi = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot w_2^2 \cdot l_\pi \cdot \ln \frac{g_{12}^2}{g_1 \cdot g_2},$$

де l_π = умовна довжина витка котушок в лобовій частині, м:

$$l_\pi = \frac{(l_{1cp} + l_{2cp})}{2},$$

де $l_{1cp} = 0,6$; $l_{2cp} = 0,5$ – середня довжина витка котушок первинної і вторинної обмоток.

g_1, g_2, g_{12} – середні геометричні відстані, м:

$$g_1 = 0,223(2c_1 + h_1), g_2 = 0,223(2c_2 + h_2),$$

де c_1, c_2 – розміри первинної та вторинної котушок по ширині поза вікном магнітопроводу, м:

приймаємо $c_1 \approx 80$ мм, $c_2 \approx 40$ мм:

$$g_{12} = 2 \cdot c_{cp} \cdot \left[0,22 + \frac{0,75h_{cp}}{2 \cdot c_{cp}} \right], \text{ де } c_{cp} = \frac{(c_1 + c_2)}{2} \cdot 10^{-3}, \text{ м}$$

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2}{2}, \text{ м}$$

$$X_\xi = \omega \cdot \mu_0 \cdot w_2^2 \cdot \lambda \cdot \xi,$$

де X_ξ – індуктивний опір за рахунок магнітного поля у вікні магнітопроводу та проміжку між обмотками.

$$\sum X = X_B + X_\pi + X_\xi$$

Якщо $\sum X < X_{\min}$, то забезпечується отримання максимального струму.

14. Знаходимо максимальну відстань між котушками ξ_{\max} , виходячи з умови

$$\xi_{\max} = \frac{X_{\max} - (X_B + X_\pi)}{\omega \cdot \mu_0 \cdot w_2^2 \cdot \lambda}, \text{ м}$$

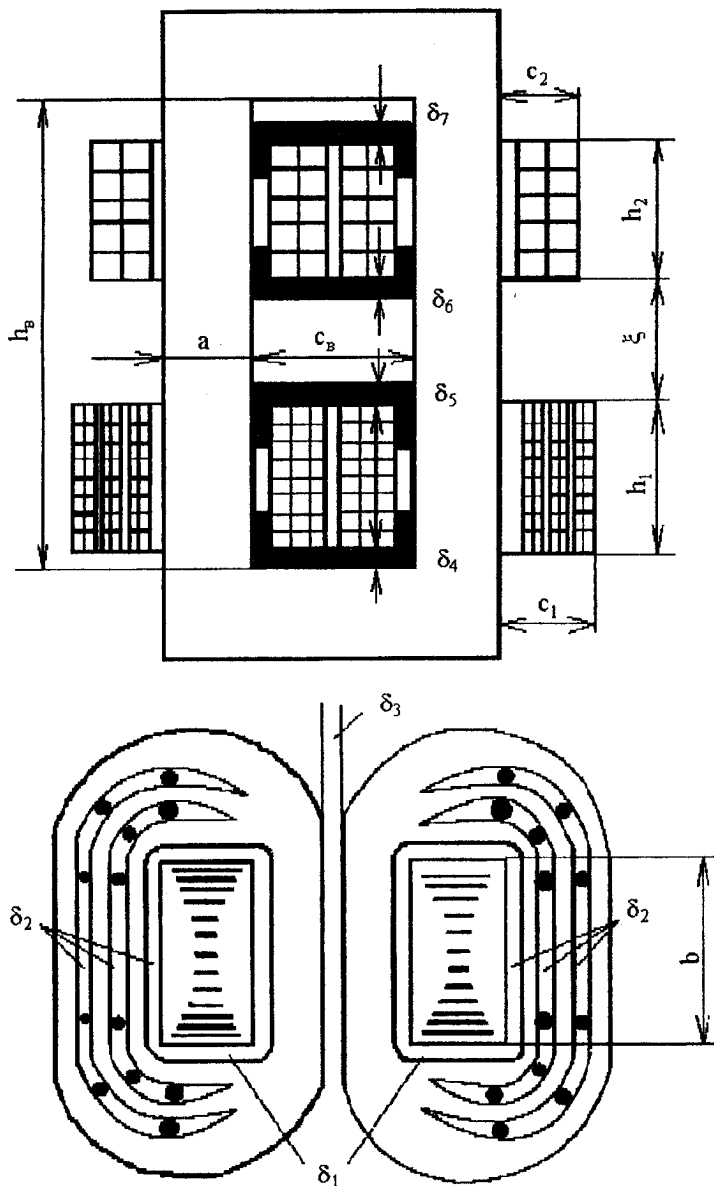


Рис. 1. Позначення основних геометричних розмірів трансформатора

Висота вікна магнітопроводу:

$$h_B = \delta_4 + h_1 + \xi_{\max} \cdot 10^3 + h_2 + \delta_7, \text{ мм}$$

де δ_4, δ_5 – розміри кріпильних ізоляційних деталей первинної обмотки;

δ_6, δ_7 – розміри кріпильних ізоляційних деталей вторинної обмотки;

$$\delta_4 = \delta_5 = 10 \text{ мм}; \delta_6 = \delta_7 = 13 \text{ мм}.$$

1.2. Приклад розрахунку трансформатора для діапазону великих струмів

Вихідні дані для розрахунку. Номінальний зварювальний струм $I_{2\text{ном}} = 400 \text{ А}$. Тривалість навантаження ТН = 60 %. Первинна напруга $U_1 = 380 \text{ В}$. Напруга неробочого ходу $U_{20} = 64 \text{ В}$. Номінальна робоча напруга $U_{2\text{ном}} = 36 \text{ В}$. Клас ізоляції Н. Обмотувальні проводи: для первинної обмотки – алюмінієвий дріт марки АСПД (за галузевими технічними умовами); для вторинної обмотки – шина алюмінієва марки АДО (ГОСТ 15176-84).

1. Розрахунок мінімального індуктивного опору, який забезпечує отримання максимального зварювального струму $I_{22} = 460 \text{ А}$:

$$X_{\min} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{22}^2}}{I_{22}} = \frac{\sqrt{4096 - 1444}}{460} = 0,11 \text{ Ом},$$

$$\text{де } U_{22} = 20 + 0,04 \cdot I_{22} = 20 + 0,04 \cdot 460 = 38,4 \text{ В}.$$

2. Розрахунок максимального індуктивного опору, який забезпечує отримання мінімального зварювального струму $I_{21} = 200 \text{ А}$.

$$X_{\max} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{21}^2}}{I_{21}} = \frac{\sqrt{4096 - 784}}{200} = 0,288 \text{ Ом},$$

$$\text{де } U_{21} = 20 + 0,04 I_{21} = 20 + 0,04 \cdot 200 = 28 \text{ В}$$

3. Вибір кількості витків обмоток. Для вибору кількості витків обмоток рекомендовано користуватися емпіричною формулою

$$e_w = 0,55 + 0,095 \cdot P_{\text{ТР}},$$

де $P_{\text{ТР}}$ – потужність трансформатора в КВ·А.

$$e_w = 0,55 + 0,095 \cdot 19,84 = 2,43 \text{ В/виток};$$

$$P_{\text{тр}} = U_{20} \cdot I_{2\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ГН}}{100}} \cdot 10^{-3} = 64 \cdot 400 \cdot \sqrt{\frac{60}{100}} \cdot 10^{-3} = 19,84$$

Кількість витків первинної обмотки:

$$w_I = \frac{U_1}{e_w} = \frac{380}{2,43} = 156$$

Кількість витків вторинної обмотки:

$$w_{II} = \frac{U_{20}}{e_w} = \frac{64}{2,43} = 26$$

4. Кількість витків котушок. Первинна і вторинна обмотки складаються з двох котушок, які з'єднані в діапазоні великих струмів паралельно, тобто:

$$w_1 = w_I ; w_2 = w_{II}$$

5. Розрахунок номінального струму первинної обмотки, А:

$$I_{1\text{ном}} = I_{2\text{ном}} \cdot \frac{K_{\mu}}{n} = 400 \cdot \frac{1,05}{6} = 70 \text{ А},$$

$$\text{де } n = \frac{w_1}{w_2}; n = \frac{156}{26} = 6;$$

$$K_{\mu} = 1,05.$$

6. Площа перерізу магнітопроводу, см²:

$$S_c = \frac{U_{20} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot B_m} = \frac{64 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 26 \cdot 1,73} = 64,$$

де $f = 50$ Гц – частота мережі; $B_m = 1,73$ Тл – прийнята індукція в магнітопроводі.

7. Розрахунок ширини пластини стрижня магнітопроводу, мм:

$$a = \sqrt{\frac{S_c}{p_1 \cdot k_c}} = \sqrt{\frac{64 \cdot 10^2}{2,02 \cdot 0,97}} = 57,$$

де k_c – коефіцієнт заповнення сталлю. Приймемо $k_c = 0,97$,

$$p_1 = b / a = 2,02,$$

де b – висота набору магнітопроводу.

8. Набір пакета магнітопроводу, мм:

$$b = p_1 \cdot a = 2,02 \cdot 57 = 115$$

9. Ширина вікна магнітопроводу, мм:

$$c_B = b / p_2 = 115 / 1,08 = 106.$$

Приймаємо $p_2 = 1,08$.

10. Розрахунок площини перерізу обмотувальних проводів первинної обмотки (для паралельного з'єднання котушок), мм²:

$$q_1 = I_{\text{ном}} / (2 \cdot J_1) = \frac{70}{(2 \cdot 2,4)} = 14,6,$$

де $J_1 = 2,4 \text{ А/мм}^2$ – густина струму у первинній обмотці.

Обирається стандартний провід марки АПСД з розмірами $a_1 \cdot b_1 = q_1$ ($a_1 / b_1 = 1/2$). Розмір проводу в ізоляції, мм:

$$a'_1 \times b'_1; (a'_1 = a_1 + \delta_0; b'_1 = b_1 + \delta_0; \delta_0 = 0,4 \text{ мм})$$

$$b_1 = \sqrt{14,6 \cdot 2} = 5,4; a_1 = 14,6 / 5,4 = 2,7;$$

$$a'_1 = 2,7 + 0,4 = 3,1; b'_1 = 5,4 + 0,4 = 5,8.$$

Стандартний провід марки АПСД в ізоляції $3,25 \times 5,68 \text{ мм}$.

11. Розрахунок розмірів котушок первинної обмотки:

ширина котушки, мм

$$m_{1K} = \frac{(c_B - 2\delta_1 - \delta_3)}{2}, (\delta_1 = 10 \text{ мм}; \delta_3 = 2 \text{ мм}),$$

$$m_{1k} = \frac{106 - 2 \cdot 10 - 2}{2} = 44,$$

де δ_1 – ізоляційна відстань котушок у вікні магнітопроводу, мм;

δ_3 – ширина прокладки між котушками первинної обмотки, мм.

Число шарів у котушці:

$$n_{1Ш} = \frac{m_{1K}}{[(a'_1 + k_1) \cdot k_y]}$$

$$k_1 = 0,15; k_y = 1,1;$$

$$n_{1\text{ш}} = \frac{44}{1,1 \cdot (3,25 + 0,15)} = 12,$$

де k_1 – товщина міжшарової ізоляції, мм; k_y – коефіцієнт, враховуючий нещільність укладання провідників.

Число витків у шарі $w_{1\text{ш}} = \frac{w_1}{n_{1\text{ш}}}$; $w_{1\text{ш}} = \frac{156}{12} \approx 13$;

канали охолодження: $\delta_2 = 13$ мм після 4-го і 8-го шарів.

висота котушки, мм: $h_1 = w_{1\text{ш}} \cdot b_1 \cdot k_y$; $h_1 = 13 \cdot 5,8 \cdot 1,1 = 84$.

12. Площина перерізу обмотувальних проводів вторинної обмотки (для паралельного з'єднання котушок), мм²:

$$q_2 = I_{2\text{ном}} / (2 \cdot J_2) = \frac{400}{2 \cdot 2,1} = 95,$$

де $J_2 = 2,1$ А/мм² – густина струму у вторинній обмотці

Обираємо стандартну шину алюмінієву марки АД0 з розмірами $a_2 \cdot b_2 = q_2$, де ($b_2 / a_2 = 6$), $b_2 = 25$ мм; $a_2 = 3,8$ мм

За ГОСТом 15176-84 розмір шини в ізоляції 4,6×25,8

Висота вторинної котушки, мм:

$$h_2 = w_2 \cdot a_2' \cdot k_y = 26 \cdot 4,6 \cdot 1,1 = 132,$$

де a_2' – товщина шини в ізоляції, мм;

b_2' – ширина шини в ізоляції, мм.

13. Зважаючи на вибрані геометричні розміри, проведемо перевірочний розрахунок мінімального індуктивного опору розсіяння. Мінімальний опір розсіяння відповідає повністю зближеним первинним і вторинним обмоткам ($\varepsilon = 20$ мм).

Індуктивний опір у вікні магнітопроводу, Ом:

$$X_B = \frac{1}{3} \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot W_2^2 \cdot \lambda \cdot (h_1 + h_2) \cdot 10^{-3} =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 314 \cdot 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 26^2 \cdot 2,8 \cdot (88 + 132) \cdot 10^{-3} = 0,054,$$

де $\lambda = 1,5 + 1,2 \cdot \frac{b}{c_B} = 1,5 + 1,2 \cdot \frac{115}{106} = 2,8$; $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314 \text{ 1/с.}$$

Індуктивний опір за рахунок магнітного поля в лобовій частині магнітопроводу, Ом:

$$X_{\pi} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot w_2^2 \cdot l_{\pi} \cdot \ln \frac{g_{12}^2}{g_1 \cdot g_2} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 314 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \cdot 26^2 \cdot 0,56 \cdot \ln \frac{0,109^2}{0,055 \cdot 0,047} = 0,036 \text{ Ом},$$

де l_{π} = умовна довжина витка котушок у лобовій частині, м;

$$l_{\pi} = \frac{(l_{1\text{cp}} + l_{2\text{cp}})}{2} = \frac{0,59 + 0,53}{2} = 0,56,$$

де $l_{1\text{cp}} = 0,59$ м; $l_{2\text{cp}} = 0,53$ м – середня довжина витка котушок первинної і вторинної обмоток.

g_1, g_2, g_{12} – середні геометричні відстані, мм;

$$g_1 = 0,223(2c_1 + h_1) = 0,223 \cdot (2 \cdot 80 + 84) = 55;$$

$$g_2 = 0,223(2c_2 + h_2) = 0,223 \cdot (2 \cdot 40 + 132) = 47,$$

де c_1, c_2 – розміри первинної та вторинної котушок по ширині поза вікном магнітопроводу, мм;

приймаємо $c_1 \approx 80$; $c_2 \approx 40$;

$$g_{12} = 2 \cdot c_{\text{cp}} \cdot \left[0,22 + \frac{0,75 h_{\text{cp}}}{(2 \cdot c_{\text{cp}})} \right] = 2 \cdot 60 \cdot \left[0,22 + \frac{0,75 \cdot 108}{2 \cdot 60} \right] = 109,$$

$$\text{де } c_{\text{cp}} = \frac{(c_1 + c_2)}{2} = \frac{80 + 40}{2} = 60;$$

$$h_{\text{cp}} = \frac{(h_1 + h_2)}{2} = \frac{84 + 132}{2} = 108 \text{ мм}$$

Індуктивний опір за рахунок магнітного поля у вікні магнітопроводу та проміжку між обмотками, Ом:

$$X_{\xi} = \omega \cdot \mu_0 \cdot w_2^2 \cdot \lambda \cdot \xi = 314 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 26^2 \cdot 2,8 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,0149.$$

Сумарний індуктивний опір, Ом:

$$\Sigma X = X_B + X_p + X_\xi = 0,054 + 0,036 + 0,0149 = 0,105$$

Якщо $\Sigma X < X_{\min}$, то забезпечується отримання максимального струму.

14. Знаходимо максимальну відстань між котушками ξ_{\max} , м:

$$\xi_{\max} = \frac{X_{\max} - (X_B + X_\pi)}{\omega \cdot \mu_0 \cdot w_2^2 \cdot \lambda} = \frac{0,288 - (0,054 + 0,036)}{314 \cdot 12,56 \cdot 26^2 \cdot 2,8 \cdot 10^{-7}} = 0,263.$$

Висота вікна магнітопроводу, мм:

$$h_B = \delta_4 + h_1 + \xi_{\max} \cdot 10^3 + h_2 + \delta_7 = 10 + 84 + 263 + 132 + 13 = 502,$$

де δ_4, δ_5 – розміри кріпильних ізоляційних деталей первинної обмотки, мм;

δ_6, δ_7 – розміри кріпильних ізоляційних деталей вторинної обмотки, мм;

$$\delta_4 = \delta_5 = 10 \text{ мм}; \delta_6 = \delta_7 = 13 \text{ мм}.$$

1.3. Методика розрахунку трифазного трансформатора з рухомими обмотками випрямляча типу ВД

Вихідні дані для розрахунку. Номінальний зварювальний струм $I_{2\text{НОМ}}$, А. Первинна напруга $U_1 = 380$ В. Напруга неробочого ходу $U_{20} = 60\text{--}70$ В. Межі регулювання зварювального струму: 45–315 А. У діапазоні великих струмів 125–315 А, в діапазоні малих струмів 45–125 А. Номінальна робоча напруга $U_{2\text{НОМ}} = 32$ В. Кількість витків вторинної обмотки $w_2 = 40$. Обмотувальні проводи: для первинної обмотки – алюмінієвий дріт марки АПСД; для вторинної обмотки – шина алюмінієва марки АПСД.

1. Максимальний індуктивний опір, який забезпечує отримання номінального зварювального струму, Ом:

$$X_{\max} = \frac{U_{20} \cdot \sqrt{3}}{1,35 \cdot 1,4 \cdot I_{2\text{НОМ}} \cdot 0,745}, \text{ де } 1,4 I_{2\text{НОМ}} = I_{\text{к.з.}}$$

2. Довжина набору пакета магнітопроводу, см:

$$m = C_M \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{w_2}},$$

де $\lambda = 2$ – відношення довжини набору магнітопроводу m до ширини його пластини p (рис. 2); w_2 – кількість витків вторинної обмотки; C_M – коефіцієнт, що знаходиться за формулою:

$$C_M = \sqrt{\frac{U_{1\phi} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot B_m \cdot k \cdot k_c}},$$

де $U_{1\phi}$ – фазна напруга первинної обмотки; k – коефіцієнт трансформації; f – частота мережі, Гц; B_m – індукція у магнітопроводі трансформатора, що дорівнює 1,6–1,7 Тл; k_c – коефіцієнт заповнення магнітопроводу сталлю рівний 0,94 – 0,97.

Ширина перерізу котушки первинної обмотки, см:

$$b_1 = C_{k1} \cdot \sqrt{\frac{w_2 \cdot q_1}{v}},$$

де q_1 – переріз витка первинної обмотки (береться з паспорта), що дорівнює 0,0812 см²; $v = 2,5$ – відношення висоти перерізу первинної обмотки h до її ширини; $C_{k1} = \sqrt{k \cdot k_{zn1} \cdot k_{pb} \cdot k_{ph}}$; k_{zn1} – коефіцієнт збільшення перерізу витка первинної обмотки за рахунок ізоляції (для проводу АПСД дорівнює 1,14–1,35); k_{pb} , k_{ph} – коефіцієнти розбухання обмотки по ширині та висоті і дорівнюють відповідно 1,12 та 1,15; k – коефіцієнт трансформації.

Ширина вікна магнітопроводу, см:

$$n = 2 \cdot t_1 + \delta_1 + 2 \cdot b_1,$$

де t_1 – відстань між стрижнем магнітопроводу та котушками, що дорівнює 0,75–1 см; δ_1 – відстань між котушками, становить 1–1,3 см.

3. Провідність від середнього до крайнього стрижня магнітної системи g віднесена до одиниці довжини стрижнів, що залежить від відношення ширини вікна до довжини набору магнітопроводу та враховує вип'ячення магнітних силових ліній у вікні трансформатора:

$$g = \frac{m}{n} + 1,5 \cdot 4 \sqrt{\frac{m}{n}}$$

4. Висота перерізу котушки первинної обмотки, см:

$$h_1 = C_{k1} \cdot \sqrt{\frac{w_1}{k} \cdot q_1 \cdot v} = C_{k1} \cdot \sqrt{w_2 \cdot q_1 \cdot v}$$

5. Висота перерізу котушки вторинної обмотки, см:

$$h_2 = C_{k2}^2 \cdot \frac{w_2 \cdot q_2}{b_2},$$

де

$$C_{k2} = \sqrt{k_{зп2} \cdot k_{pb} \cdot k_{ph}},$$

$k_{зп2} = k_{зп1}$ – коефіцієнт збільшення перерізу витка вторинної обмотки за рахунок ізоляції (для проводу АПСД дорівнює 1,14–1,35 залежно від перерізу проводу); q_2 – переріз витка вторинної обмотки (береться з паспорта) і дорівнює 0,518 см².

6. Ширина перерізу котушки вторинної обмотки, см:

$$b_2 = t_1 - t_2 + \frac{(\delta_1 - \delta_2)}{2} + b_1,$$

де t_1, t_2 – відстані між стрижнем магнітопроводу та котушками, що дорівнюють 0,75–1 см; δ_1, δ_2 – відстані між котушками, що дорівнюють 1–1,3 см.

7. Ширина пластини магнітопроводу, см:

$$p = \frac{C_M}{\sqrt{\lambda \cdot w_2}}$$

8. Середня довжина витка котушки первинної обмотки, см:

$$l_1 = 2 \cdot (m + p + 2 \cdot t_1 + 2 \cdot t'_1 - 4 \cdot r_1) + 2 \cdot \pi \cdot (r_1 + b_1 / 2),$$

вторинної обмотки, см:

$$l_2 = 2 \cdot (m + p + 2 \cdot t_2 + 2 \cdot t'_2 - 4 \cdot r_2) + 2 \cdot \pi \cdot (r_2 + b_2 / 2),$$

де t'_1, t'_2 – відстані між магнітопроводом та котушками в лобових частинах, і дорівнюють 1,5–2 см;

r_1, r_2 – радіуси намотки котушок, що дорівнюють 1,5–2 см.

9. Індуктивний опір лобових частин обмоток трансформатора залежить від потоку розсіяння, зв'язаного з котушкою власної фази, і не залежить від відстані X між котушками:

Індуктивний опір лобових частин, Ом:

середньої фази:

$$X_{ср.л} = 8 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^{-9} \cdot w_2^2 \cdot (l_{ср} - 2 \cdot g \cdot n) \cdot \ln \frac{g_{12}^2}{g_1 \cdot g_2},$$

при $(l_{ср} - 2 \cdot g \cdot n) < 0$ опір $X_{ср.л} = 0$;
крайньої фази:

$$X_{\text{кр.л}} = 8 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^{-9} \cdot w_2^2 \cdot (l_{\text{ср}} - g \cdot n) \cdot \ln \frac{g_{12}^2}{g_1 \cdot g_2},$$

де $l_{\text{ср}} = (l_1 + l_2) / 2$

Середні геометричні відстані, см:

$$g_1 = 0,223 \cdot [2 \cdot (b_1 + t_1) + h_1], \quad g_2 = 0,223 \cdot [2 \cdot (b_2 + t_2) + h_2],$$

$$g_{12} = 2 \cdot C \cdot \left(0,22 + 0,75 \cdot \frac{h}{2 \cdot C} \right), \quad h = (h_1 + h_2) / 2,$$

де $C = \frac{b_1 + b_2 + t_1 + t_2}{2}$

10. Максимальна відстань між котушками ξ , см, (рис. 2):

$$\xi_{\text{max}} = \frac{X_{\text{max}} - \frac{2}{3} \cdot X_{\text{кр.л}} - \frac{1}{3} \cdot X_{\text{ср.л}}}{\left(1 + \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{3} \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot w_2^2 \cdot g} \cdot \frac{h_1 + h_2}{3},$$

де $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

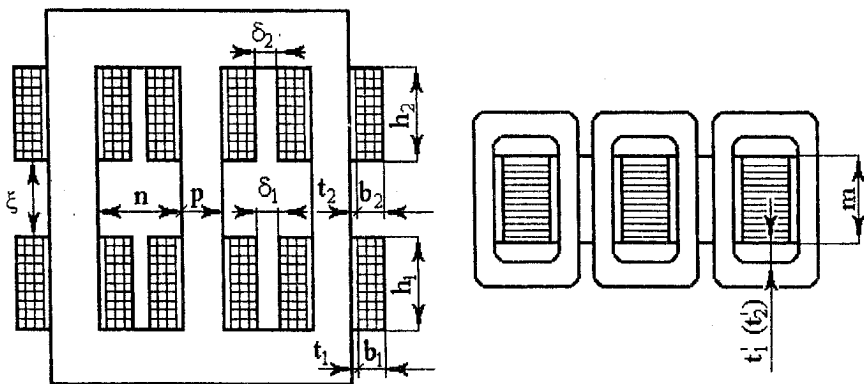


Рис. 2. До розрахунку геометричних розмірів трансформатора

1.4. Приклад розрахунку трифазного трансформатора випрямляча типу ВД

Вихідні дані для розрахунку. Номінальний зварювальний струм $I_{2\text{ном}} = 311$ А. Первинна напруга $U_1 = 380$ В. Напруга неробочого ходу $U_{20} = 69$ В. Номінальна робоча напруга $U_{2\text{ном}} = 32$ В. Кількість витків вторинної обмотки $w_2 = 40$. Обмотувальні проводи: для первинної обмотки – алюмінієвий дріт марки АПСД; для вторинної обмотки – шина алюмінієва марки АПСД.

1. Максимальний індуктивний опір, який забезпечує отримання номінального зварювального струму, Ом:

$$X_{\text{max}} = \frac{U_{20} \cdot \sqrt{3}}{1,35 \cdot 1,4 \cdot I_{2\text{ном}} \cdot 0,745} = \frac{69 \cdot \sqrt{3}}{1,35 \cdot 1,4 \cdot 311 \cdot 0,745} = 0,273$$

2. Довжина набору пакета магнітопроводу, см:

$$m = C_M \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{w_2}} = 44,53 \cdot \sqrt{\frac{2}{40}} = 10,$$

де $\lambda = 2$ – відношення довжини набору магнітопроводу m до ширини його пластини p (рис.1); w_2 – кількість витків вторинної обмотки; C_M – коефіцієнт, що знаходиться за формулою:

$$C_M = \sqrt{\frac{U_{1\phi} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot B_m \cdot k \cdot k_c}} = \sqrt{\frac{380 \cdot 10^4 \cdot 69}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,65 \cdot 380 \cdot 0,95}} = 44,53,$$

де $U_{1\phi}$ – фазна напруга первинної обмотки; k – коефіцієнт трансформації; f – частота мережі, Гц; B_m – індукція у магнітопроводі трансформатора, що дорівнює 1,6–1,7 Тл; k_c – коефіцієнт заповнення магнітопроводу сталлю рівний 0,94–0,97.

Ширина перерізу котушки первинної обмотки, см:

$$b_1 = C_{k1} \cdot \sqrt{\frac{w_2 \cdot q_1}{v}} = 2,92 \cdot \sqrt{\frac{40}{2,5}} \cdot 0,0812 = 3,3,$$

де q_1 – переріз витка первинної обмотки (береться з паспорта) і дорівнює 0,0812 см²; $v = 2,5$ – відношення висоти перерізу первинної обмотки h до її ширини;

$$C_{k1} = \sqrt{k \cdot k_{3n1} \cdot k_{pb} \cdot k_{ph}} = \sqrt{\frac{380}{69} \cdot 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,15} = 2,92,$$

де k_{3n1} – коефіцієнт збільшення перерізу витка первинної обмотки за рахунок ізоляції (для проводу АПСД дорівнює 1,14 – 1,35); k_{pb} , k_{ph} – коефіцієнти розбухання обмотки по ширині та висоті що дорівнюють відповідно 1,12 та 1,15; k – коефіцієнт трансформації.

Ширина вікна магнітопроводу, см:

$$n = 2 \cdot t_1 + \delta_1 + 2 \cdot b_1 = 2 \cdot 0,85 + 1,2 + 2 \cdot 3,3 = 9,5,$$

де t_1 – відстань між стрижнем магнітопроводу та котушками, що дорівнює 0,75–1 см; δ_1 – відстань між котушками, становить 1–1,3 см.

3. Провідність від середнього до крайнього стрижня магнітної системи g віднесена до одиниці довжини стрижнів, що залежить від відношення ширини вікна до довжини набору магнітопроводу та враховує вип'ячення магнітних силових ліній у вікні трансформатора:

$$g = \frac{m}{n} + 1,5 \cdot 4 \sqrt{\frac{m}{n}} = \frac{10}{9,5} + 1,5 \cdot 4 \sqrt{\frac{10}{9,5}} = 2,56$$

4. Висота перерізу котушки первинної обмотки, см:

$$h_1 = C_{k1} \cdot \sqrt{\frac{w_1}{k} \cdot q_1 \cdot v} = C_{k1} \cdot \sqrt{w_2 \cdot q_1 \cdot v} = 2,92 \cdot \sqrt{40 \cdot 0,0812 \cdot 2,5} = 8,3$$

5. Висота перерізу котушки вторинної обмотки, см:

$$h_2 = C_{k2}^2 \cdot \frac{w_2 \cdot q_2}{b_2} = 1,2^2 \cdot \frac{40 \cdot 0,518}{3,3} = 9,$$

$$\text{де } C_{k2} = \sqrt{k_{3n2} \cdot k_{pb} \cdot k_{ph}} = \sqrt{1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,15} = 1,2,$$

$k_{3n2} = k_{3n1}$ – коефіцієнт збільшення перерізу витка вторинної обмотки за рахунок ізоляції (для проводу АПСД дорівнює 1,14–1,35 залежно від перерізу проводу); q_2 – переріз витка вторинної обмотки (береться з паспорта), що дорівнює 0,518 см².

6. Ширина перерізу котушки вторинної обмотки, см:

$$b_2 = t_1 - t_2 + \frac{(\delta_1 - \delta_2)}{2} + b_1 = 0,8 - 0,8 + \frac{1,2 - 1,2}{2} + 3,3 = 3,3,$$

де t_1 , t_2 – відстані між стрижнем магнітопроводу та котушками, що дорівнюють 0,75–1 см, δ_1 , δ_2 – відстані між котушками, що дорівнюють 1–1,3 см.

7. Ширина пластини магнітопроводу, см:

$$p = \frac{C_M}{\sqrt{\lambda \cdot w_2}} = \frac{44,53}{\sqrt{2 \cdot 40}} = 5$$

8. Середня довжина витка котушки первинної обмотки, см:

$$l_1 = 2 \cdot (m + p + 2 \cdot t_1 + 2 \cdot t'_1 - 4 \cdot r_1) + 2 \cdot \pi \cdot (r_1 + b_1 / 2) = \\ = 2 \cdot (10 + 5 + 2 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1,7 - 4 \cdot 1,7) + 2 \cdot 3,14 \cdot \left(1,7 + \frac{3,3}{2}\right) = 47,4;$$

вторинної обмотки, см:

$$l_2 = 2 \cdot (m + p + 2 \cdot t_2 + 2 \cdot t'_2 - 4 \cdot r_2) + 2 \cdot \pi \cdot (r_2 + b_2 / 2) = \\ = 2 \cdot (10 + 5 + 2 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1,7 - 4 \cdot 1,7) + 2 \cdot 3,14 \cdot \left(1,7 + \frac{3,3}{2}\right) = 47,4,$$

де t'_1, t'_2 – відстані між магнітопроводом та котушками в лобових частинах, і дорівнюють 1,5–2 см, r_1, r_2 – радіуси намотки котушок, що дорівнюють 1,5–2 см.

9. Індуктивний опір лобових частин обмоток трансформатора залежить від потоку розсіяння, зв'язаного з котушкою власної фази і не залежить від відстані X між котушками:

Індуктивний опір лобових частин, Ом середньої фази:

$$X_{\text{ср.л}} = 8 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^{-9} \cdot w_2^2 \cdot (l_{\text{ср}} - 2 \cdot g \cdot n) \cdot \ln \frac{g_{12}^2}{g_1 \cdot g_2} = \\ = 8 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \cdot 40^2 \cdot (47,4 - 2 \cdot 2,56 \cdot 9,5) \cdot \ln \frac{8,29^2}{3,68 \cdot 3,84} = 0,$$

оскільки $(l_{\text{ср}} - 2 \cdot g \cdot n) < 0$
крайньої фази:

$$X_{\text{кр.л}} = 8 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^{-9} \cdot w_2^2 \cdot (l_{\text{ср}} - g \cdot n) \cdot \ln \frac{g_{12}^2}{g_1 \cdot g_2} = \\ = 8 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \cdot 40^2 \cdot (47,4 - 2,56 \cdot 9,5) \cdot \ln \frac{8,29^2}{3,68 \cdot 3,84} = 0,074,$$

$$\text{де } l_{\text{ср}} = (l_1 + l_2) / 2 = (47,4 + 47,4) / 2 = 47,4 \text{ см}$$

Середні геометричні відстані, см:

$$g_1 = 0,223 \cdot [2 \cdot (b_1 + t_1) + h_1] = 0,223 \cdot [2 \cdot (3,3 + 0,8) + 8,3] = 3,68$$

$$g_2 = 0,223 \cdot [2 \cdot (b_2 + t_2) + h_2] = 0,223 \cdot [2 \cdot (3,3 + 0,8) + 9] = 3,84$$

$$g_{12} = 2 \cdot C \cdot \left(0,22 + 0,75 \cdot \frac{h}{2 \cdot C}\right) = 2 \cdot 4,1 \cdot \left(0,22 + 0,75 \cdot \frac{8,65}{2 \cdot 4,1}\right) = 8,29$$

$$h = (h_1 + h_2) / 2 = (8,3 + 9) / 2 = 8,65,$$

$$\text{де } C = \frac{b_1 + b_2 + t_1 + t_2}{2} = \frac{3,3 + 3,3 + 0,8 + 0,8}{2} = 4,1 \text{ см}$$

10. Максимальна відстань між котушками, см:

$$\xi_{\max} = \frac{X_{\max} - \frac{2}{3} \cdot X_{\text{кр.л}} - \frac{1}{3} \cdot X_{\text{ср.л}}}{\left(1 + \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{3}\right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot w_2^2 \cdot g} - \frac{h_1 + h_2}{3} =$$
$$= \frac{0,273 - \frac{2}{3} \cdot 0,074}{\left(1 + \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{3}\right) \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-9} \cdot 40^2 \cdot 2,56} - \frac{8,3 + 9}{3} = 0,45,$$

$$\text{де } \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ ГН/М}$$

2. МЕТОДИКА ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРИФАЗНОГО ІНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА

2.1. Короткі відомості про конструкції генераторів

Існують генератори підвищеної частоти: з різнойменно-полюсними та однойменно-полюсними магнітними системами. Ці генератори мають не принципові, а лише конструктивні відмінності.

Обидва різновиди мають нерухомі котушки збудження 4 (рис. 3, 4).

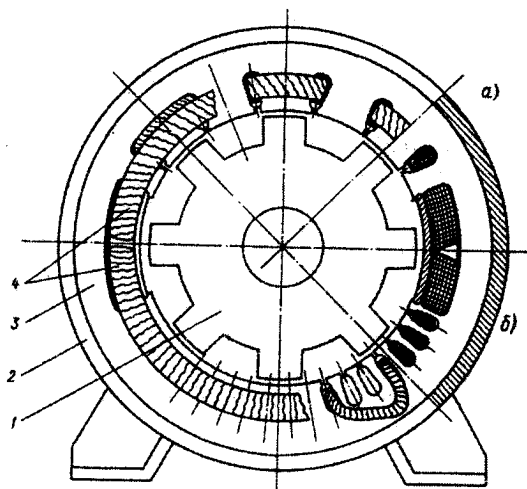


Рис. 3. Схематична будова різнойменно-полюсного індукторного генератора:
 а – з однофазним статором, б – із трифазним статором

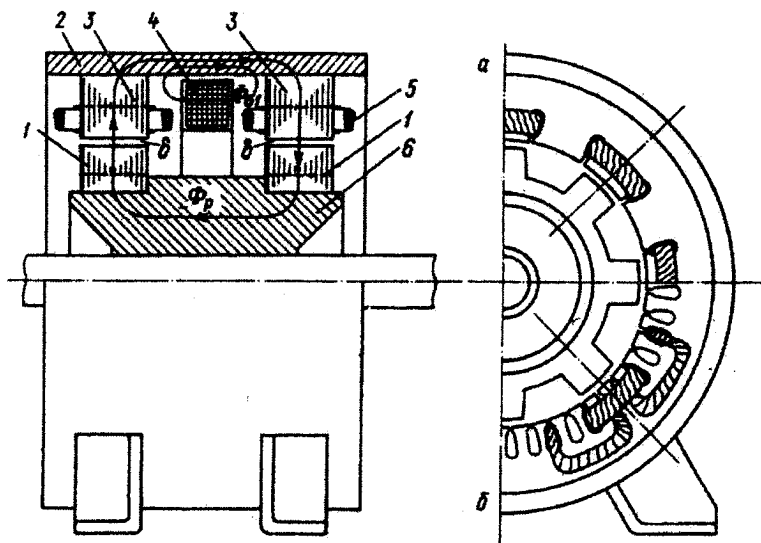


Рис. 4. Схематична будова однойменно-полюсного індукторного генератора:
 а – з однофазним статором, б – із трифазним статором

Магнітна вісь циліндричної котушки збудження-4 однойменно-полюсних генераторів (рис. 4) співпадають з віссю обертання ротора-6. При збудженні генератора в роторі і в корпусі-2 поле має аксіальний напрямок (паралельно осі обертання). У шихтованих пакетах статора-3 та ротора поле приймає або радіальний напрямок від ротора до статора, або протилежний, пересікаючи повітряні проміжки між ротором та статором переважно проти зубців ротора.

З цього випливає, що пакети статора є своєрідними кільцевими полюсами збудження однойменної полярності.

Різнойменно-полюсні індукторні генератори (рис. 3) мають по одному шихтованому пакету на роторі-1 та статорі-3. Близько 20–25% зубців статора видаляються та в утворені широкі пази вкладаються й закріплюються клинами котушки збудження-4. У підсумку утворюється магнітна система з різнойменними полюсами збудження на пакеті статора.

2.2. Методика розрахунку однойменно-полюсного генератора

Вихідні дані для розрахунку

Номінальний зварювальний струм $I_{2\text{НОМ}}$, А.

Номінальна напруга неробочого ходу U_{20} , В.

Межі регулювання зварювального струму у першому діапазоні

$I_{2\text{МІН}1}$, $I_{2\text{МАКС}1}$, А.

Межі регулювання зварювального струму у другому діапазоні

$I_{2\text{МІН}2}$, $I_{2\text{МАКС}2}$, А.

Межі регулювання напруги неробочого ходу у першому діапазоні струмів зварювання $U_{20\text{МІН}1}$, $U_{20\text{МАКС}1}$, В.

Межі регулювання напруги неробочого ходу у другому діапазоні струмів зварювання $U_{20\text{МІН}2}$, $U_{20\text{МАКС}2}$, В.

Відносна тривалість роботи при навантаженні, ТН, %.

Номінальна частота обертання, n .

Число фаз генератора, m .

Номінальна частота генератора, f .

2.1. Індуктивний опір фази статора у другому діапазоні струмів зварювання при з'єднанні фаз у подвійний "трикутник":

$$X_2 = \frac{k_{\text{сх}} \pi}{3 \cdot I_{2\text{НОМ}}} \left(U_{20} - U_2 - 2\Delta U_{\text{Д}} - \frac{\pi - \gamma}{\pi} \cdot r_2 \cdot I_{2\text{НОМ}} \right),$$

де $k_{\text{сх}} = 3$ – коефіцієнт приведення опору фази еквівалентної “зірки” до опору фази дійсної схеми обмотки статора (при з’єднанні фаз “зіркою” $k_{\text{сх}} = 1$, при з’єднанні трикутником $k_{\text{сх}} = 3$); $\gamma = 0$ – кут комутації діодів силового випрямляча, рад.; $U_2 = 20 + 0,04 \cdot I_{2\text{ном}}$ – розрахункова напруга на дузі, В; $\Delta U_{\text{д}} = 0,55$ В – спад напруги на діоді; r_2 – активний опір фази, розраховується за формулою:

$$r_2 = (0,2 \div 0,25) \cdot \left(\frac{20}{I_{2\text{ном}}} + 0,04 \right)$$

2.2. Діюче значення лінійного струму, що відповідає номінальному режиму, А

$$I_{N\text{л}} = 0,75 \cdot I_{2\text{ном}}$$

2.3. Діюче значення лінійної напруги, що відповідає номінальному режиму, В

$$U_{N\text{л}} = \frac{\pi \cdot U_2}{3\sqrt{2}} + 2\Delta U_{\text{д}} + \Delta U_{\text{к}}, \text{ де } \Delta U_{\text{к}} \approx (5 \div 7) \cdot 10^{-3} \cdot I_{2\text{ном}},$$

де $\Delta U_{\text{к}}$ – спад напруги на контактах та проводах, що з’єднують генератор із випрямлячем, В.

2.4. Фазний струм та напруга у номінальному зварювальному режимі:

$$I_N = \frac{I_{N\text{л}}}{\sqrt{3}}, \quad U_N = U_{N\text{л}}$$

2.5. Фазовий зсув між ЕРС і струмом, у градусах

$$\psi = \arctg[(I_N \cdot X_2 + U_N \sin \varphi) / (I_N \cdot r_2 + U_N \cos \varphi)],$$

де $\varphi = 30^\circ$ – різниця фаз струму та напруги на затискачах генератора, обумовлена індуктивністю проводів, що з’єднують випрямляч із генератором.

2.6. ЕРС фази трифазного генератора, В

$$E_N = U_N \cos(\psi - \varphi) + I_N (r_2 \cos \psi + X_2 \sin \psi)$$

2.7. Число зубців у кожному пакеті ротора:

$$Z_2 = \frac{60f}{n}$$

2.8. Число зубців у кожному пакеті статора:

$$Z_1 = 2mZ_2$$

Для подальшого розрахунку необхідно заповнити таблицю 1.

У таблиці використані наступні позначення:

δ – зазор між зубцями статора та ротора, см;

B_{δ} – індукція поля збудження у проміжку, Т;

W_{k1} – число витків котушки статора;

$a_2 = 2$ – число паралельних гілок обмотки статора для другого діапазону зварювальних струмів;

λ_1 – змінна складова магнітної провідності проміжку під зубцем статора, Г/см;

l_1 – осьова довжина пакета статора, см;

t_1 – зубцеве ділення статора, см;

D_1 – внутрішній діаметр статора, см;

D_{13} – зовнішній діаметр статора, см;

$(h_{s1} + h_{c1})$ – сума висот зубця та спинки статора, см. Визначається з таблиці 2.

X – індуктивний опір фази статора, Ом.

Найбільш прийнятним результатом слід вважати той, для якого приблизно виконуються умови $X=X_2$ та $D_1=D_{13}$.

2.9. Розміри паза та зубця статора (рис. 5).

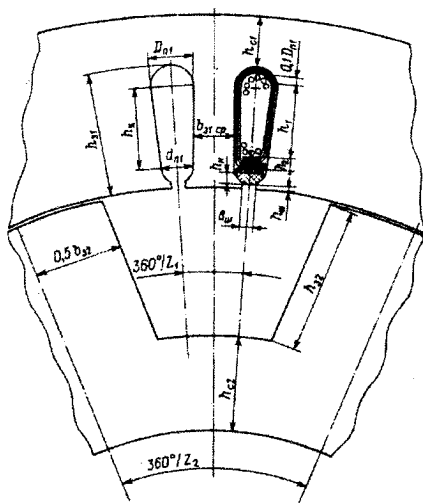


Рис. 5. До розрахунку зубцевої зони та параметрів обмотки статора

Таблица 1

Варіанти розрахунку конструктивних даних елементів статора

$\delta B_{\delta}, \text{см} \cdot \text{T}$	0,06·0,7 = 0,042		0,07·0,8 = 0,049		0,07·0,8 = 0,056				0,08·0,8 = 0,064			
W_{kl}/a_2	8/2		8/2		8/2		6/2		6/2		5/2	
$(\delta B_{\delta}) \cdot (W_{kl} / a_2), \text{см} \cdot \text{T}$												
$\lambda_1 \ell_1 \cdot 10^8 = \frac{35,1 \cdot 10^8}{(\delta B_{\delta})(W_{kl} / a_2)}, \Gamma$												
$\ell_1, \text{см}$	3,0	4,5	3,0	4,5	3,0	4,5	4,0	5,0	4,5	6,0	4,5	6,0
$\lambda_1 \cdot 10^8 = \lambda_1 \ell_1 \cdot 10^8 / l_1, \Gamma/\text{см}$												
$t_1 = 0,67 \cdot 10^8 \cdot \lambda_1 \delta, \text{см}$												
$D_1 = \frac{2mt_1 Z_2}{\pi}, \text{см}$												
$D_{13} = D_1 + 2(h_{31} + h_{c1}), \text{см}$												
$X = \left[25 + 10 \frac{t_1}{l_1} + 1,67 \frac{t_1}{\delta} \right] \cdot f \cdot s \left(\frac{W_{kl}}{a_2} \right)^2 l_1 \cdot 10^{-8}$												
№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

431

Таблица 2

$l_{2\text{ном}}$	100	200	300	500
$h_{31} + h_{31}, \text{см}$	3	4	4-6	6-8

Діаметр меншого півкола, статора см:

$$d_{n1} = \pi(D_1 + 2h_{ш}) / [(1+k)Z_1 - \pi],$$

де $h_{ш} = 0,1$ см – висота шліца;

$k = (3 \div 4) / m$ – відношення ширини зубця в середній частині до діаметру малого кола паза.

Діаметр більшого півкола, статора см:

$$D_{n1} = \sqrt{\frac{Q_{n1} + d_{n1}^2 \left[\frac{Z_1 - \pi}{4\pi - 8} \right]}{\frac{Z_1 + \pi}{4\pi + 8}}},$$

де $Q_{n1} = I_N W_{k1} \cdot 10^{-2} / (j_1 k_3 a_2)$ – площа перерізу паза статора, см²;

$j_1 = 5 \div 8$ – густина струму обмотки статора, А/мм²;

$k_3 = 0,3 \div 0,4$ – коефіцієнт заповнення паза статора.

Відстань між центрами півкола паза статора, см:

$$h_{ц} = \left[\frac{Z_1(D_{n1} - d_{n1})}{2\pi} \right] - h_{ш}$$

Ширина головки зубця статора, см:

$$b_{31} = t_1 - b_{ш},$$

де $b_{ш} = 0,35$ см – ширина шліца паза статора.

Ширина зубця статора в середній частині, см:

$$b_{31cp} = \frac{\pi \cdot [D_1 + 2(h_{ш} + 0,5d_{n1})]}{Z_1} - d_{n1}$$

Висота зубця статора, см:

$$h_{31} = h_{ш} + 0,5(D_{n1} + d_{n1}) + h_{ц}$$

2.10. Розміри елементів ротора.

Зовнішній діаметр ротора, см:

$$D_{23} = D_1 - 2\delta$$

Зубцеве ділення ротора, см:

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_{23}}{Z_2}$$

Ширина (по дузі кола) зубця і паза ротора, см:

$$b_{32} = (0,4 \div 0,45) \cdot t_2; b_{n2} = t_2 - b_{32}$$

Висота зубця ротора, см:

$$h_{32} = (0,6 \div 0,7) \cdot b_{n2}$$

Висота спинки ротора, см:

$$h_{c2} \approx 2 \div 3 \text{ см}$$

Внутрішній діаметр пакета ротора, см:

$$D_2 = D_{23} - 2 \cdot (h_{32} + h_{c2})$$

2.11. Розміри елементів обмотки статора та котушки збудження.

Діаметр ізолюваного елементарного провідника обмотки статора, мм:

$$d'_{ei} = 10 \cdot (b_{ш} - 2\delta_{ni} - \Delta),$$

де $\delta_{ni} = 0,055 \div 0,08$ – одностороння товщина пазової ізоляції;

$\Delta = 0,08 \div 0,12$ см – проміжок на проведення елементарного провідника через шліц в паз.

З таблиці 3 (с. 441) обирають стандартний провід та визначають найближчий діаметр $d'_{ei} \leq d'_{ei}$ і площу поперечного перетину q_e .

Число елементарних провідників у ефективному проводі обмотки статора:

$$n_e = \frac{I_N}{a_2 j_1 q_e}$$

Середня довжина витка котушки статора, см:

$$l_{w1} = 2 \cdot (l_1 + l_{л}),$$

де $l_{л} = 2 \cdot l_{np} + \frac{\pi^2 \cdot (D_1 + h_{31}) \cdot m}{2 \cdot Z_1}$ – середня довжина лобової частини

котушки статора, см;

$l_{np} \approx 0,5 \div 1$ см – вихід ізоляції із паза.

Виліт лобової частини котушки статора, см:

$$B_n = l_{np} + t_1 \cdot m.$$

2.12. Висота перетину котушки збудження, см:

При розміщенні між котушками ротора:

$$h'_{кз} = h_{32} + h_{c2} - (0,7 \div 1,5)$$

Ширина перетину котушки збудження, см:

$$b_{кз} = \frac{F'_{3.н} \cdot 10^{-2}}{k_{3.3} \cdot j_3 \cdot h_{кз}},$$

де $k_{3,3} = 0,4 \div 0,6$ – коефіцієнт заповнення котушки збудження міддю;

$j_3 = 2 \div 3$ А/мм² – щільність струму в котушці збудження;

$F'_{3H} = F'_0 + F'_a$ – намагнічуюча сила обмотки збудження,

де F'_0 – падіння магнітної напруги в магнітному колі генератора;

$F'_0 = 1,6 \cdot \delta \cdot B_{\delta} \cdot K_H \cdot 10^4$, де $K_H = 1,25 \div 1,35$ – коефіцієнт насичення магнітного кола;

Намагнічуюча сила реакції статора

$$F'_a = 0,7 \cdot m \cdot \frac{I_N W_{k1}}{a_2} \cdot \frac{\lambda_{\max} + \lambda_{\min}}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \cdot \sin \psi$$

Мінімальна питома магнітна провідність проміжку в межах кроку котушки статора:

$$\lambda_{\min} = 4\pi \cdot 10^{-9} \cdot 4,18 \cdot \lg \left(1 + \frac{3 \cdot t_1}{2\delta + b_{n2} - 3 \cdot t_1} \right), \text{ Г/см};$$

$\lambda_{\max} = \lambda_{\delta 1} + 2 \cdot \lambda_{\delta 2}$ – максимальна питома магнітна провідність проміжку в межах кроку котушки статора, Г/см.

$$\lambda_{\delta 1} = 4\pi \cdot 10^{-9} \left[\frac{b_{31}}{\delta} + 4,18 \cdot \lg \left(1 + \frac{b_{\text{ш}}}{2\delta} \right) \right],$$

$$\lambda_{\delta 2} = 4\pi \cdot 10^{-9} \left[2,09 \lg \left(1 + \frac{b_{\text{ш}}}{2\delta} \right) + \frac{b_{32} - b_{31} - 2b_{\text{ш}}}{2\delta} + 2,09 \lg \left(1 + \frac{3 \cdot t_1 - b_{32} - b_{\text{ш}}}{2\delta} \right) \right] +$$

$$+ 4\pi \cdot 10^{-9} \cdot 1,04 \lg \left(1 + \frac{2b_{\text{ш}}}{2\delta + 3t_1 - b_{32} - b_{\text{ш}}} \right).$$

Середня довжина витка котушки збудження, см:

$$l'_{W_3} = \pi(D_1 - h_{k3} - 1).$$

2.13. Площа перерізу проводу котушки збудження, мм²:

$$q'_3 = k_3 \cdot F_{U_{20}} \cdot l'_{W_3} [1 + 0,004(\vartheta_3 - 15)] / (5700 \cdot U_3),$$

$k_3 = 1,2 \dots 1,3$ – коефіцієнт запасу збудження.

де $F_{U_{20}}$ – намагнічуюча сила, що відповідає номінальній напрузі неробочого ходу і визначається за номограмою рис. 4.

$\vartheta_3 = 65 \div 75$ °С – температура нагріву котушки збудження при неробочому ході генератора;

$U_3 = 5 \div 10$ В – напруга збудження при неробочому ході/

Стандартні розміри проводу q_B , d_3 та $d_{3,i}$ обирають з таблиці 3, яка наведена на прикладі розрахунку генератора.

При цьому: $q_3 \geq q'_3$

Число витків котушки збудження:

$$W_3 = \frac{F U_{20}}{q_3 j_{30}}$$

де $j_{30} = 0,9 \div 1,5$ А/мм² – щільність струму збудження при номінальній напрузі неробочого ходу генератора.

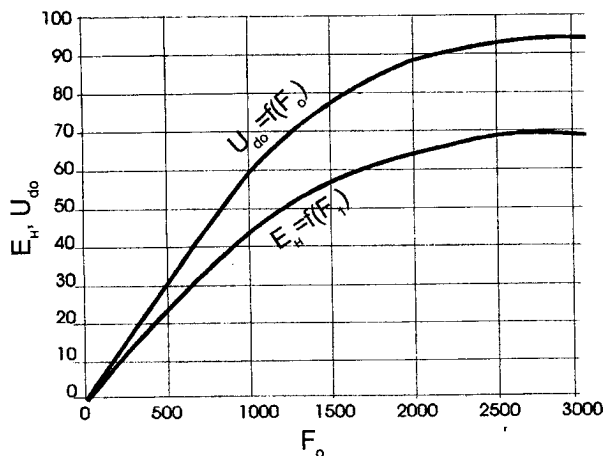


Рис. 6. Номограма визначення ЕРС E_H

Число витків в одному шарі котушки збудження:

$$W_{3,ш} = \frac{10 \cdot b_{к.33}}{1,05 \cdot d_{3,i}}$$

Кінцева висота перетину котушки збудження, см:

$$h_{к.3} = \frac{0,105 \cdot W_3 \cdot d_{3,i}}{W_{3,ш}}$$

При цьому повинна виконуватись умова $h_{к.3} \leq h'_{к.3}$

Довжина витка котушки збудження, см:

$$l_{W_3} = \pi(D_{23} - h_{к3} - 1)$$

Опір котушки збудження, приведений до робочої температури $\vartheta_{3н} \approx 100^\circ\text{C}$, що відповідає номінальному режиму зварювання, Ом:

$$r_{3, \vartheta_{3н}} = \frac{W_3 \cdot I_{W_3} [1 + 0,004(\vartheta_{3н} - 15)]}{5700 \cdot q_3}$$

Струм збудження при номінальному режимі зварювання, А:

$$I_{3н} = \frac{F_{Eн} + F_a}{W_3},$$

де $F_{Eн}$ – намагнічуюча сила, яка відповідає ЕРС $Eн$ та визначається за номограмою (рис. 6).

2.3. Приклад розрахунку основних конструктивних та електричних параметрів трифазного індукторного генератора

Вихідні дані для розрахунку:

Номінальний зварювальний струм $I_{2ном} = 315$ А.

Номінальна напруга неробочого ходу $U_{20} = 65$ В.

Межі регулювання зварювального струму у першому діапазоні

$$I_{2мін1} = 40 \text{ А}, I_{2макс1} = 180 \text{ А}.$$

Межі регулювання зварювального струму у другому діапазоні

$$I_{2мін2} = 160 \text{ А}, I_{2макс2} = 350 \text{ А}.$$

Межі регулювання напруги неробочого ходу у першому діапазоні струмів зварювання $U_{20мін1} = 48$ В, $U_{20макс1} = 66$ В.

Межі регулювання напруги неробочого ходу у другому діапазоні струмів зварювання $U_{20мін2} = 55$ В, $U_{20макс2} = 65$ В.

Відносна тривалість роботи при навантаженні, $TН = 60\%$.

Номінальна частота обертання, $n = 2000$ об/хв.

Число фаз генератора, $m = 3$.

Номінальна частота генератора, $f = 267$ Гц.

1. Індуктивний опір фази статора у другому діапазоні струмів зварювання при з'єднанні фаз у подвійний "трикутник", Ом:

$$X_2 = \frac{3\pi}{3 \cdot 315} \left(65 - 32,6 - 2 \cdot 0,55 - \frac{\pi - 0}{\pi} \cdot 0,024 \cdot 315 \right) = 0,237,$$

де $k_{сх} = 3$ – коефіцієнт приведення опору фази еквівалентної "зірки" до опору фази дійсної схеми обмотки статора (при з'єднанні

фаз “зіркою” $k_{cx} = 1$, при з’єднанні “трикутником” $k_{cx} = 3$); $\gamma = 0$ – кут комутації діодів силового випрямляча, рад.

$U_2 = 20 + 0,04 \cdot 315 = 32,6$ В – розрахункова напруга на дузі.
 $\Delta U_d = 0,55$ В – спад напруги на діоді; r_2 – активний опір фази, Ом:

$$r_2 = 0,23 \cdot \left(\frac{20}{315} + 0,04 \right) = 0,024$$

2. Діюче значення лінійного струму, що відповідає номінальному режиму, А:

$$I_{Nл} = 0,75 \cdot 315 = 236$$

3. Діюче значення лінійної напруги, що відповідає номінальному режиму, В:

ΔU_k – спад напруги на контактах та проводах, що з’єднують генератор із випрямлячем, В:

$$\Delta U_k \approx 6 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 1,89;$$

$$U_{Nл} = \frac{\pi \cdot 32,6}{3\sqrt{2}} + 2 \cdot 0,55 + 1,89 = 27.$$

4. Фазний струм та напруга у номінальному зварювальному режимі:

$$I_N = \frac{236}{\sqrt{3}} = 136 \text{ А}; \quad U_N = U_{Nл} = 27 \text{ В}$$

5. Фазовий зсув між ЕРС і струмом:

$$\psi = \arctg \left[\frac{(136 \cdot 0,237 + 27 \cdot 0,5)}{(136 \cdot 0,024 + 27 \cdot 0,866)} \right] = 60^\circ,$$

де $\varphi = 30^\circ$ – різниця фаз струму та напруги на затискачах генератора, обумовлена індуктивністю проводів, що з’єднують випрямляч з генератором.

6. ЕРС фази трифазних генераторів, В:

$$E_N = 27 \cos(60^\circ - 30^\circ) + 136(0,024 \cos 60^\circ + 0,237 \sin 60^\circ) \approx 53.$$

7. Число зубців у кожному пакеті ротора:

$$Z_2 = \frac{60 \cdot 267}{2000} = 8.$$

8. Число зубців у кожному пакеті статора:

$$Z_1 = 2 \cdot 3 \cdot 8 = 48$$

► Розрахунок основних розмірів генератора.

Для подальшого розрахунку необхідно заповнити таблицю 1.

Таблица 1

Варіанти розрахунку конструктивних даних елементів статора

$\delta B_{\delta}, \text{ см} \cdot \text{Т}$	0,06·0,7 = 0,042		0,07·0,8 = 0,049		0,07·0,8 = 0,056				0,08·0,8 = 0,064			
$\frac{W_{kl}}{a_2}$	8/2		8/2		8/2		6/2		6/2		5/2	
$(\delta B_{\delta}) \cdot (W_{kl} / a_2), \text{ см} \cdot \text{Т}$	0,168		0,196		0,224		0,168		0,192		0,160	
$\lambda l_1 \cdot 10^8 = 35,1 \cdot 10^8 / (\delta B_{\delta}) (W_{kl} / a_2), \Gamma$	208,9		179,1		156,7		208,9		182,8		219,4	
$l_1, \text{ см}$	3,0	4,5	3,0	4,5	3,0	4,5	4,0	5,0	4,5	6,0	4,5	6,0
$\lambda_1 \cdot 10^8 = \lambda_1 l_1 \cdot 10^8 / l_1, \Gamma / \text{см}$	69,6	46,4	59,7	39,8	52,2	34,8	52,2	41,8	40,6	30,5	48,8	36,7
$t_1 = 0,67 \cdot 10^8 \cdot \lambda_1 \delta, \text{ см}$	2,75	1,8	2,75	1,8	2,4	1,6	2,4	1,9	2,1	1,6	2,6	1,9
$D_1 = \frac{2mt_1 Z_2}{\pi}, \text{ см}$	42	28	42	28	36,7	24,5	36,7	29	32,1	24,5	39,8	29
$D_{13} = D_1 + 2(h_{31} + h_{c1}), \text{ см}$	50	36	50	36	44,7	32,7	44,7	37	40,1	32,5	47,8	37
$X = \left[25 + 10 \frac{t_1}{l_1} + 1,67 \frac{t_1}{\delta} \right] \cdot f \cdot s \left(\frac{W_{kl}}{a_2} \right)^2 l_1 \cdot 10^8$	0,256	0,262	0,235	0,214	0,185	0,221	0,150	0,152	0,139	0,149	0,113	0,115
№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

У таблиці використані наступні позначення:

δ – проміжок між зубцями статора та ротора, см;

B_{δ} – індукція поля збудження у проміжку, Т;

W_{k1} – число витків котушки статора;

$a_2 = 2$ – число паралельних гілок обмотки статора для другого діапазону зварювальних струмів;

λ_1 – змінна складова магнітної провідності проміжку під зубцем статора, Г/см;

l_1 – осьова довжина пакета статора, см;

t_1 – зубцеве ділення статора, см;

D_1 – внутрішній діаметр статора, см;

D_{13} – зовнішній діаметр статора, см;

$(h_{31} + h_{c1})$ – сума висот зубця та спинки статора h , см. Визначається з таблиці 2.

X – індуктивний опір фази статора, Ом.

Найбільш прийнятним результатом слід вважати той, для якого приблизно виконуються умови: $X=X_2$ та $D_1 = D_{13}$, тобто обираємо шостий варіант розрахунку з таблиці 1.

10. Розміри паза та зубця статора (рис. 5).

Діаметр меншого півкола статора, см:

$$d_{п1} = \frac{\pi(24,5 + 2 \cdot 0,1)}{(1 + 1,2)48 - \pi} = 0,76,$$

де $h_{ш} = 0,1$ см – висота шліца;

$k = 3,5/3 = 1,2$ – відношення ширини зубця в середній частині до діаметру малого кола паза.

Діаметр більшого півкола статора, см:

$$D_{п1} = \sqrt{\frac{2,4 + 0,76^2 \left[\frac{48}{4\pi} - \frac{\pi}{8} \right]}{\frac{48}{4\pi} + \frac{\pi}{8}}} = 1,02,$$

де $Q_{п1} = 135 \cdot 8 \cdot 10^{-2} / (6,75 \cdot 0,332 \cdot 2) = 2,4$ см² – площа перерізу паза статора;

$j_1 = 6,75$ А/мм² – густина струму обмотки статора;

$k_3 = 0,332$ – коефіцієнт заповнення паза статора.

Відстань між центрами півкола паза статора, см:

$$h_{ц} = \left[\frac{48(1,02 - 0,76)}{2\pi} \right] - 0,1 = 1,9.$$

Ширина головки зубця статора, см:

$$b_{31} = 1,61 - 0,35 = 1,26,$$

де $b_{щ} = 0,35$ см – ширина шліца паза статора; $t_1 = 1,61$.

Ширина зубця статора в середній частині, см:

$$b_{31cp} = \frac{\pi \cdot [24,5 + 2(0,1 + 0,5 \cdot 0,76)]}{48} - 0,76 = 0,91$$

Висота зубця статора, см:

$$h_{31} = 0,1 + 0,5(1,02 + 0,76) + 1,9 = 2,9$$

11. Розміри елементів ротора.

Зовнішній діаметр ротора, см:

$$D_{23} = D_1 - 2\delta = 24,5 - 2 \cdot 0,07 = 24,36$$

Зубцеве ділення ротора, см:

$$t_2 = \frac{\pi \cdot 24,36}{8} = 9,56$$

Ширина (по дузі кола) зубця і паза ротора, см:

$$b_{32} = 0,425 \cdot 9,56 = 4,1;$$

$$b_{п2} = 9,56 - 4,1 = 5,46$$

Висота зубця ротора, см:

$$h_{32} = 0,65 \cdot 5,46 = 3,5$$

Висота спинки ротора $h_{с2} = 2,2$ см.

Внутрішній діаметр пакета ротора, см:

$$D_2 = 24,36 - 2 \cdot (3,5 + 2,2) = 13$$

12. Розміри елементів обмотки статора та котушки збудження:

Діаметр ізолюваного провідника обмотки статора, мм:

$$d'_{ei} = 10 \cdot (0,35 - 2 \cdot 0,055 - 0,12) = 1,2,$$

де $\delta_{пн} = 0,055$ см одностороння товщина пазової ізоляції;

$\Delta = 0,12$ см – проміжок на проведення провідника через шліц у паз.

Таблиця 3

**Площі перерізу, діаметри, класи нагрівостійкості
та максимальна температура обмотувальних проводів**

Площа перерізу міді q_e , мм ²	Діаметр міді проводу d_e , мм	Діаметр ізолюваного проводу d_i , мм, марки				
		ПЕТВ	ТЕТЛО	ПСД	ПСДТ	ПЕТКСОТ
		Клас В, 130°C		Клас F, 155°C		Клас H, 180°C
0,0855	0,33	0,38	0,47	0,57	0,52	0,47
0,1320	0,41	0,47	0,55	0,65	0,60	0,55
0,1886	0,49	0,55	0,64	0,73	0,68	0,63
0,2380	0,55	0,62	0,71	0,81	0,75	0,69
0,3020	0,62	0,69	0,78	0,88	0,82	0,76
0,3740	0,69	0,77	0,86	0,95	0,89	0,83
0,4660	0,77	0,86	0,96	1,04	0,99	0,92
0,5810	0,86	0,95	1,05	1,13	1,08	1,01
0,7240	0,96	1,05	1,15	1,23	1,18	1,11
0,9160	1,08	1,19	1,28	1,37	1,31	1,24
1,1310	1,20	1,31	1,40	1,49	1,43	1,36
1,4310	1,35	1,46	-	1,54	1,58	1,51
1,6510	1,45	1,56	-	-	-	-
1,9410	1,56	1,67	-	-	-	-
2,2200	1,68	1,79	-	1,98	1,94	-
2,5700	1,81	1,93	-	-	-	-
2,9900	1,95	2,07	-	-	-	-
3,2000	2,02	2,14	-	-	-	-
3,4600	2,10	2,24	-	-	-	-
4,0100	2,26	2,39	-	-	-	-
4,6800	2,44	2,57	-	-	-	-

Із таблиці 3 обраний стандартний провід марки ПЕТВ з діаметром $d_{ei} = 1,19$, $d_e = 1,08$ і площиною перерізу $q_e = 0,916$ мм².

Число елементарних провідників у ефективному проводі обмотки статора:

$$n_e = \frac{136}{2 \cdot 6,75 \cdot 0,916} = 11.$$

Середня довжина витка котушки статора, см:

$$l_{w1} = 2(4,5 + 9,4) = 27,8$$

$$\text{де } l_{\text{ст}} = 2 \cdot 0,5 + \frac{\pi^2 \cdot (24,5 + 2,9) \cdot 3}{2 \cdot 48} = 9,4 \text{ см}$$

середня довжина лобової частини котушки статора;

$l_{\text{пр}} \approx 0,5 \text{ см}$ – вихід ізоляції із паза.

Виліт лобової частини котушки статора, см:

$$B_n = 0,5 + 1,61 \cdot 3 \approx 5.$$

13. Висота перетину котушки збудження:

При розміщенні між котушками ротора, см:

$$h'_{\text{к.з.}} = 3,5 + 2,2 - 0,7 = 5$$

Ширина перетину котушки збудження, см:

$$b_{\text{к.з.}} = \frac{2243 \cdot 10^{-2}}{0,45 \cdot 2,5 \cdot 5} = 4,$$

де $k_{3,3} = 0,45$ – коефіцієнт заповнення котушки збудження міддю;

$j_3 = 2,5 \text{ А/мм}^2$ – щільність струму в котушці збудження.

$F'_{\text{ЗН}} = 1120 + 1123 = 2243 \text{ А}$ – намагнічуюча сила обмотки збудження.

$F_0 = 1,6 \cdot 0,07 \cdot 0,8 \cdot 1,25 \cdot 10^4 = 1120 \text{ А}$, де $K_H = 1,25$ – коефіцієнт насичення магнітного кола.

Намагнічуюча сила реакції статора, А:

$$F_a = 0,7 \cdot 3 \cdot \frac{136 \cdot 8}{2} \cdot \frac{70,6 \cdot 10^{-8} + 4,5 \cdot 10^{-8}}{70,6 \cdot 10^{-8} - 4,5 \cdot 10^{-8}} \cdot \sin 60^\circ = 1123,$$

Мінімальна питома магнітна провідність проміжку в межах кроку котушки статора, Г/см:

$$\lambda_{\text{min}} = 4\pi \cdot 10^{-9} \cdot 4,18 \cdot \lg \left(1 + \frac{3 \cdot 1,61}{2 \cdot 0,07 + 5,46 - 3 \cdot 1,61} \right) = 4,5 \cdot 10^{-8}$$

Максимальна питома магнітна провідність проміжку в межах кроку котушки статора, Г/см:

$$\lambda_{\text{max}} = 25,46 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 22,59 \cdot 10^{-8} = 70,6 \cdot 10^{-8}$$

$$\text{де } \lambda_{\delta 1} = 4\pi \cdot 10^{-9} \left[\frac{1,26}{0,07} + 4,18 \cdot \lg \left(1 + \frac{0,35}{2 \cdot 0,07} \right) \right] = 25,46 \cdot 10^{-8},$$

$$\lambda_{\delta 2} = 4\pi \cdot 10^{-9} \left[\begin{aligned} & 2,09 \lg \left(1 + \frac{0,35}{2 \cdot 0,07} \right) + \frac{4,1 - 1,26 - 2 \cdot 0,35}{2 \cdot 0,07} + \\ & + 2,09 \lg \left(1 + \frac{3 \cdot 1,61 - 4,1 - 0,35}{2 \cdot 0,07} \right) + \\ & + 1,04 \lg \left(1 + \frac{2 \cdot 0,35}{2 \cdot 0,07 + 3 \cdot 1,61 - 4,1 - 0,35} \right) \end{aligned} \right] = 22,59 \cdot 10^{-8} \Gamma / \text{см}$$

Середня довжина витка котушки збудження, см:

$$\ell_{W_3'} = \pi(24,5 - 4,0 - 1) = 60$$

14. Розрахунок котушки збудження:

Площа перерізу проводу котушки збудження, мм²:

$$q_3' = 1,25 \cdot 1100 \cdot 60 \frac{1 + 0,004(100 - 15)}{5700 \cdot 7,5} = 2,44,$$

де $F_{U_{20}} = 1100$ А – намагнічуюча сила, що відповідає номінальній напрузі неробочого ходу і визначається за номограмою (рис. 6)

$\vartheta_3 = 100^\circ\text{C}$ – температура нагріву котушки збудження;

$U_3 = 7,5$ В – напруга збудження при неробочому ході.

Обраний стандартний провід марки ПЕТВ з $q_B = 2,57$ мм², $d_3 = 1,81$ мм та $d_{3.1} = 1,93$ мм із таблиці 3.

Число витків котушки збудження:

$$W_3 = \frac{1100}{2,57 \cdot 0,903} = 500,$$

де $j_{30} = 0,903$ А/мм² – щільність струму збудження при номінальній напрузі неробочого ходу генератора.

Число витків в одному шарі котушки збудження:

$$W_{3.ш} = \frac{10 \cdot 4}{1,05 \cdot 1,93} = 20.$$

Кінцева висота перетину котушки збудження, см:

$$h_{к.з.} = \frac{0,105 \cdot 500 \cdot 1,93}{20} = 5$$

При цьому повинна виконуватись умова $h_{к.з.} \leq h'_{к.з.}$

15. Довжина витка котушки збудження:

Оскільки кінцева висота перерізу котушки збудження дорівнює висоті, яка визначалась у п.13, то уточнювати середню довжину витка не потрібно, тобто $l_{W3} = 60$ см.

Опір котушки збудження, приведений до робочої температури $\vartheta_{3н} \approx 100^\circ\text{C}$, що відповідає номінальному режиму зварювання, Ом:

$$r_{3\vartheta_{3н}} = \frac{500 \cdot 60 [1 + 0,004(100 - 15)]}{5700 \cdot 2,57} = 2,744$$

Струм збудження при номінальному режимі зварювання, А:

$$I_{3н} = \frac{1680 + 1123}{500} = 5,61,$$

де $F_{Eн} = 1680$ – намагнічуюча сила, яка відповідає ЕРС E_n (рис. 6).

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров А. Г., Заруба И. И., Пиньковский И. В. Эксплуатация сварочного оборудования. – Киев: Будивельник, 1978. – 72 с.
2. Андреев В. В. Электрическая сварочная дуга и ее источники питания. – Киев: Наукова думка, 1983. – 67 с.
3. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977.
4. Белинский С. Н., Бельчук Б. А., Темкин Б. Я. Оборудование для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов. –Л. : Энергия, 1975. – 118 с.
5. Браткова О. Н. Источники питания сварочной дуги: Учебник. – М. : Высшая школа, 1982. – 182 с.
6. Браткова О. Н., Лепп В. Р. Источники питания для газозлектрической сварки неплавящимся электродом. – М.: МВТУ, 1977. – 28 с.
7. Бункин П. Я. , Донской А. В. , Многопостовые сварочные системы. – Л.: Судостроение. – 1985. –228 с.
8. Быховский Д. Г. Плазменная резка. Л. : Машиностроение, 1972. – 168 с.
9. Демянцевич В. П., Дулов С. И. Технология электрической дуговой сварки. – М.: Машгиз, 1959.
10. Дудко Д. А., Федотенков В. Г., Махлин Н. М. Тиристорные генераторы импульсов типа УПД – 1 //Автоматическая сварка . – 1980, N 6,61. – 63 с.
11. Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н., Ленивкин В. А. Оборудование для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 80 с.
12. Зайцев М. П., Кулешов О. М. Средства автоматизации в оборудовании для дуговой сварки. – Л.: Энергия, 1975. – 144 с.
13. Закс М. И. Сварочные выпрямители . – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 94 с.
14. Закс М. И., Кошелев П. А., Перевозник С. П. Новые сварочные источники питания, – Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. – 141 с.
15. Заруба И. И., Андреев В. В. Источники питания для сварки. – М. : Машиностроение, 1983. – 42 с.
16. Заруба И. И., Дыменко И. И. Многопостовые источники питания для сварки переменным током. Новые сварочные источники питания. – Киев ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. – 141 с.
- 17. Кобозев В. А., Коваленко В. В. Сварочные трансформаторы. – Ставрополь:, 1998. – 277 с.

18. Лебедев В. К. Современные тенденции развития сварочных источников питания. Новые сварочные источники питания. – Киев, ИЭС им. Е. О. Патона. – 1992. – 141 с.
19. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970.
20. Макмак Н. И. Устройство для модулирования сварочного тока при помощи индуктивных накопителей энергии. Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Киев, 1987. – 14 с.
21. Микроплазменная сварка /под редакцией акад. Б. Е. Патона. – Киев: Наукова думка, 1979. – 248 с.
22. Милютин В. С., Шанчуров С. М. Источники питания для сварки. – УПИ, 1987.
23. Милютин В. С., Коротков В. А. Источники питания для сварки. – Челябинск: Металлургия Урала, 1999. – 368 с.
24. Нестеров Б. З. Электросварочные генераторы повышенной частоты. – Л.: Энергия, 1978. – 120 с.
25. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие / Под редакцией Смирнова В. В. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.
26. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. – М.: Машгиз, 1958. – 359 с.
27. Пащенко. Обладнання для газотермічного нанесення покриттів: Навч. посіб. – К.: І ВЦ «Політехніка», 2002. – 416 с.
28. Пентегов И. В., Латанский В. П., Склифос В. В. Малогабаритные источники питания с улучшенными энергетическими показателями. Новые сварочные источники питания. – Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. – 141 с.
29. Пентегов И. В., Мещеряк С. Н., Кучеренко В. А., Смирнов В. В., Закс М. И. Источники питания для дуговой сварки с использованием инверторов // Автоматическая сварка, 1982, N 7,29. – 34 с.
30. Рабинович И. Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги. – М.: Машгиз, 1958. – 380 с.
31. Розаренов Ю. Н. Оборудование для электрической сварки плавлением: Учебник. – М.: Машиностроение, 1987.
32. Технология и оборудование сварки плавлением. /Под редакцией Никифорова Г. Д. М.: Машиностроение, 1978 – 327 с.
33. Шейко П. П., Павшук В. М. Источник питания для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом с плавным регулированием параметров. – Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. – 141 с.
34. Шигаев Т. Г., Белый Н. Д., Нагайцев В. А. Источник питания для сварки переменным модулированным током. – Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. – 141 с.

Навчальне видання

ГОЛОШУБОВ Валеріан Іванович

ЗВАРЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Навчальний посібник

В авторській редакції

Редактор – *Чвортко Є. П.*

Технічний редактор – *Демчук Т. М.*

Комп'ютерна верстка – *Денисюк Л. П.*

Коректори – *Сидорук О. О., Алексєєва Н. А.*

Підписано до друку 8.08.2005 р. Формат 60x84/16.

Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Arial.

Ум. друк. арк. 26,04. Обл.-вид. арк. 28,74.

Зам. № 7530.

Видавництво “Арістей”

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 1066 від 27.09.2002 р.

02105, м. Київ, вул. Тампере, 13 Б

т/ф (+38 044) 451-44-66

(багатоканальний)

aristey@optima.com.ua (комерційний відділ)

aristey1@optima.com.ua (видавничий відділ)

www.aristey.kiev.ua

С. 410, пункт 9 — замість p треба p_2 .

С. 419 — X_π замість X_p , тоді $\Sigma X = X_B + X_\pi + X_\xi$.

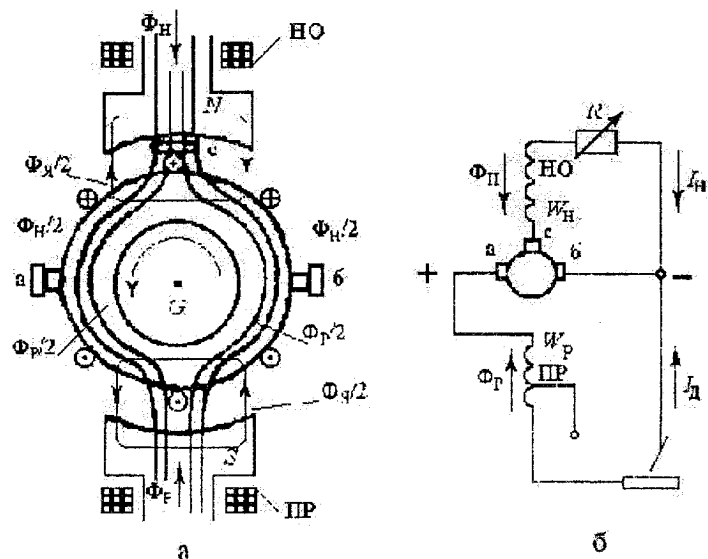
С. 423, пункт 2 — рис. 2 замість рис. 1.

С. 434, пункт 2.13 — рис. 6 замість рис. 4.

С. 434, пункт 2.13 і с. 443, пункт 14 — q_3 замість q_B .

Помічені помилки в книзі

С. 234, рис. 4.2 б



С. 326, рис. 5.48

