

**Міністерство освіти і науки України
Чернігівський національний технологічний університет**

Болотов Г. П., Болотов М. Г.

**Джерела живлення для
дугового та плазмового
зварювання і різання**

Навчальний посібник

Чернігів, 2017

УДК 621.791(075.8)

ББК 30.61я73

Б79

Рекомендовано до друку вченою радою Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 9 від 25.09.2017 р.)

Рецензенти:

Л. Я. Березін, канд. техн. наук, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій Чернігівського національного технологічного університету;

Р. М. Рижов, д-р техн. наук, професор кафедри електрозварювальних установок національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

В. М. Сидорець, д-р техн. наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона.

Б79 Болотов Г. П., Болотов М. Г.

Джерела живлення для дугового та плазмового зварювання і різання: навч. посіб. для студ. спец. «Технології та устаткування зварювання» / Г. П. Болотов, М. Г. Болотов. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – 180 с.

ISBN 978-617-7571-06-2

У посібнику узагальнено вимоги до джерел живлення, обумовлені властивостями зварювальних дуг та технологічних процесів. Розглянуті електричні схеми, конструкція та способи регулювання режиму джерел живлення для дугового та плазмового зварювання і різання. Розглянуті джерела живлення загальнопромислового та спеціалізованого призначення, що застосовуються даним часом промисловістю.

Посібник призначений для поглибленого вивчення студентами дисципліни «Зварювальні джерела живлення». Також може бути корисним для аспірантів, науковців, практичних працівників.

ISBN 978-617-7571-06-2

УДК 621.791(075.8)

ББК 30.61я73

© Болотов Г. П., Болотов М. Г., 2017

© Чернігівський національний технологічний університет

Зміст

Передмова	6
Вступ.....	7
1. Фізичні основи дугового розряду.....	11
1.1 Характеристика основних способів дугового зварювання.....	11
1.2 Основні відомості про зварювальну дугу.....	12
1.2.1 Основні характеристики електричної дуги.....	12
1.2.2 Види зварювальних дуг.....	17
1.2.3 Зварювальна дуга змінного струму.....	19
1.2.4 Зварювальна дуга змінного струму в колі з активним та індуктивним опором	25
1.2.5 Трифазна зварювальна дуга	31
1.3 Загальні вимоги до системи "джерело живлення – дуга"	34
1.3.1 Способи регулювання зварювального струму.....	34
1.3.2 Статична стійкість системи "джерело живлення – дуга".....	37
1.3.3 Стійкість системи "джерело живлення – дуга" при зміні довжини дуги.....	42
1.3.4 Динамічні властивості джерел живлення зварювальної дуги	45
Питання для самоперевірки	45
2 Основні відомості про зварювальні джерела живлення	46
2.1 Вимоги до джерел живлення зварювальної дуги	46
2.2 Режими роботи зварювальних джерел живлення.....	47
2.3 Система позначень зварювальних джерел живлення.....	50
2.4 Класифікація джерел живлення для дугового та плазмового зварювання та різання.....	51
Питання для самоперевірки	52
3 Джерела живлення зварювальної дуги змінного струму.....	53
3.1 Загальні відомості про зварювальні трансформатори.....	53
3.2 Елементи теорії трансформаторів	54
3.3 Схема заміщення зварювального трансформатора	58

3.4 Класифікація електромагнітних схем зварювальних трансформаторів.....	62
3.5 Зварювальні трансформатори з механічним регулюванням	65
3.5.1. Трансформатори із нормальним магнітним розсіюванням та реактивними котушками у зварювальному колі	65
3.5.2 Трансформатори із збільшеним магнітним розсіюванням.....	73
3.6 Зварювальні трансформатори з електричним регулюванням	81
3.7 Вдосконалення трансформаторів для ручного дугового зварювання.....	90
3.8 Паралельна робота зварювальних трансформаторів	94
3.9 Приклади розрахунку зварювальних трансформаторів для ручного дугового зварювання.....	96
3.9.1 Порядок розрахунку зварювального трансформатора з рухомими обмотками	96
3.9.2 Розрахунок зварювального трансформатора з рухомим магнітним шунтом.....	99
Питання для самоперевірки	99
4 Зварювальні генератори та перетворювачі.....	101
4.1 Загальні відомості про зварювальні генератори.....	101
4.2 Зварювальні генератори із незалежним збудженням	103
4.3 Зварювальні генератори із самозбудженням.....	108
4.4 Вентильні генератори	109
Питання для самоперевірки	112
5 Зварювальні випрямлячі.....	113
5.1 Загальні відомості	113
5.2 Елементи конструкції зварювальних випрямлячів.....	113
5.3 Схеми випрямлення	115
5.3.1 Трьохфазна мостова схема.....	116
5.3.2 Двійна трьохфазна схема випрямлення із вирівнювальним реактором.....	118
5.3.3 Шестифазна кільцева схема випрямлення	119
5.4 Стабілізуючий дросель у зварювальному колі	120
5.5 Промислові зварювальні випрямлячі.....	123
5.5.1 Зварювальні випрямлячі із падаючими зовнішніми характеристиками	123

5.5.2 Зварювальні випрямлячі із жорсткими та повільно падаючими зовнішніми характеристиками	128
5.5.3 Універсальні зварювальні випрямлячі	136
5.5.4 Багатопостові зварювальні випрямлячі	140
Питання для самоперевірки	145
6 Інверторні джерела живлення для дугового зварювання	146
6.1 Структура інверторних джерел живлення.....	146
6.2 Тиристорні інвертори	150
6.3 Транзисторні інвертори	152
Питання для самоперевірки	154
7 Спеціалізовані джерела живлення для дугового та плазмового зварювання та різання	155
7.1 Загальні відомості	155
7.2 Функціональні вузли спеціалізованих джерел живлення зварювальної дуги	155
7.3 Установки для зварювання в інертних газах.....	160
7.4 Джерела живлення для зварювання тонких металів	162
7.5 Джерела живлення для імпульсно-дугового зварювання	164
7.6 Джерела живлення для плазмового зварювання та різання	168
Питання для самоперевірки	175
8 Експлуатація зварювальних джерел живлення	176
Список літератури.....	178

ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник призначений для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр" напряму підготовки 050504 – "Зварювання" з нормативної дисципліни "Зварювальні джерела живлення".

При підготовці посібника приймалося до уваги, що приступаючи до вивчення вказаної дисципліни студенти вже ознайомлені із теоретичними основами зварювання, фізико-хімічними процесами у дуговому розряді, технологією зварювання, а також, суміщеними дисциплінами, такими як, фізика, електротехніка та електроніка.

У посібнику зроблена спроба сформулювати загальні підходи до зварювальних джерел живлення, а також, систематизувати джерела, що серійно випускаються промисловістю та такі, які на даний час є перспективними.

Конструкція та електрична схема більшості джерел живлення для дугового зварювання є достатньо складними, тому для поліпшення розуміння їх студентами в посібнику широко застосовані функціональні та структурні схеми, за допомогою яких на кращому рівні сприймається будова і принцип роботи джерел.

Основна увага у посібнику приділена зварювальним трансформаторам та випрямлячам, як найбільш поширеним на даний час у промисловості, будівництві та побуті. У окремий розділ винесено опис спеціалізованих джерел живлення для дугового зварювання легких металів та сплавів, тонких та надтонких металів, зварювання та різання стисненою дугою. Також окремий розділ присвячений опису перспективних інверторних джерел живлення зварювальної дуги.

У посібнику широко застосовані результати досліджень та практичних розробок зварювальних джерел живлення, описаних у монографіях, підручниках, навчальних посібниках, а також, у журналах "Автоматическая сварка", "Сварочное производство", "Сварщик".

Вступ

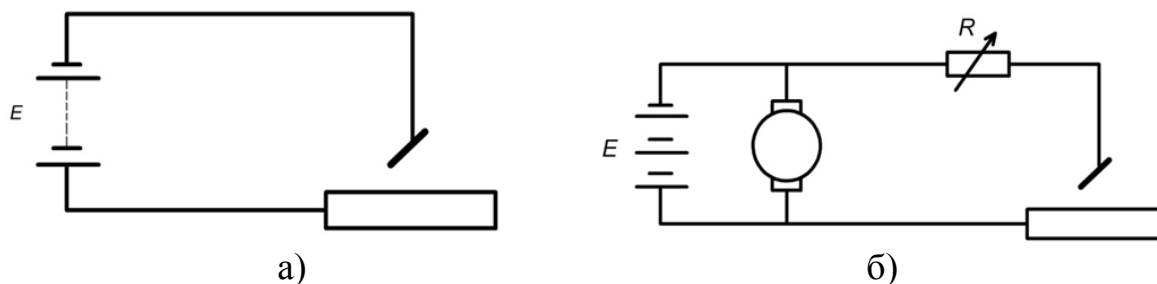
У 1802 р. професор Санкт-Петербурзької медико-хірургічної академії В. В. Петров відкрив явище електричного дугового розряду. У книзі “Відомості про гальвановольтові досліди” він описав результати експериментів з дугового плавлення та випаровування металів. У 1808 р. аналогічні результати отримав англійський фізик Г. Деві, який також віднайшов електричну дугу. Однак практичне застосування електрична дуга знайшла значно пізніше – у 80-х роках ХІХ сторіччя.

Однією з основних причин такого стану була відсутність на той час достатньо потужних джерел енергії тривалої дії. В. В. Петров у своїх дослідах в якості джерела живлення дуги застосував батарею незадовго до цього винайдених італійським фізиком А. Вольта гальванічних елементів у кількості 1700 од. (рисунок а), які сумарно забезпечували напругу на вугільних електродах 2100 В. Однак, недостатня ємність елементів при значному струмі дуги призводила до їх швидкого розрядження і неможливості виконання будь-яких технологічних операцій.

З часу відкриття дугового розряду неодноразово висувалися ідеї та сприймалися спроби застосувати дугу для з'єднання металів, однак тільки М. М. Бенардосу в 1882 р. вдалося розробити спосіб, який мав практичне значення. Для цього йому довелося вирішити, в першу чергу, енергетичну задачу, яка складалась у створенні джерела струму для живлення електричною енергією зварювального апарата. До того часу, у 1860...1870 роках, вже були розроблені електричні генератори постійного струму. Особлива заслуга у вирішенні цієї проблеми належить Пачінотті (1860 р.) та Грамме (1870 р.). Однак генератори були малопотужними, не мали змоги забезпечувати значний струм та витримувати короткі замикання при збудженні дуги. У ті ж роки отримали розвиток і конструкції акумуляторів (Б.П. Тверитінов). З'єднуючи їх послідовно–паралельно групами у батареї, можливо було отримати необхідні значення струму і напруги на дузі. Однак відомі конструкції акумуляторів не витримували ударних навантажень режиму зварювання. В зв'язку з цим М. М. Бенардос винаходить спеціальний акумулятор власної конструкції. Вочевидь, він став першим у світі спеціальним джерелом живлення зварювальної дуги, призначеним для зарядження та розрядження сильними струмами. Бенардос запропонував виготовляти пластини акумуляторів з гофрованих стрічок пористого свинця.

М. М. Бенардос розробив схему зварювального поста, що складався із потужного зварювального комбінованого джерела живлення, комутаторів струму, реостату, вимірювальних приладів. У складі зварювального поста

М. М. Бенардос застосував батареї своїх акумуляторів, які живилися малопотужним генератором при безперервній роботі (рисунок б). Таким чином йому вдалося отримати силу струму до 500 А від 500 елементів (акумуляторів), розташували їх у 10-ти групах та з'єднуючи в кожній по 50 елементів послідовно, а самі групи – паралельно. Створене комбіноване джерело живлення забезпечувало роботу трьох зварювальних постів. Регулювання струму дуги забезпечувалось реостатом R .



Схеми живлення дуги у дослідях Петрова (а) та Бенардоса (б)

Перший генератор, що забезпечував живлення процесу зварювання безпосередньо (без акумулятора), був виготовлений у 1888 р. М. Г. Славяновим. Однак відомі на початок ХХ сторіччя генератори загального призначення мали суттєві недоліки: низький ККД, недостатню стійкість дуги, складність керування та ін. Перед електротехніками виникла задача створення спеціальних зварювальних генераторів, які володіють кращими експлуатаційними характеристиками.

Від генераторів із постійною напругою, подібних до генератора М. Г. Славянова, зварювальна техніка достатньо швидко перейшла до генераторів із регульованою напругою, крім того вони в певній мірі забезпечували стабілізацію струму дуги. Генератори мали падаючу зовнішню характеристику, придатну для ручного дугового зварювання плавким електродом.

На початку ХХ сторіччя спеціальні зварювальні генератори виготовляли фірми “АЕГ” та “Сіменс-Шуккерт” (Германія), “Елін” (Австрія), “Лінкольн-Електрик” та “Дженерал-Електрик” (США).

У 1923 р. В. П. Нікітіним був сконструйований перший радянський зварювальний генератор типу СМ. В наступному році розпочався серійний випуск цих машин на заводі “Електрик” (Петроград). Були розроблені генератори декількох типів і розмірів, розрахованих на роботу в діапазонах 50–200, 100–300 та 150–600 А. Зокрема, був сконструйований перетворювач в якому в одному корпусі розташовувались зварювальний генератор та

електродвигун змінного або постійного струму. У 1931 р. на цьому заводі було засвоєно виробництво більш досконалих одно постових генераторів типу СМГ. У 1933 р. розпочався випуск багато постових перетворювачів СМГ–3 та СМГ–4, зварювальних агрегатів САК із бензиновим двигуном внутрішнього згоряння.

Майже одночасно із машинними перетворювачами змінного струму в постійний з'явилися лампові випрямлячі. Вони склалися із силових трансформаторів, струм із вторинної обмотки яких поступав на блок випрямлення. Із 1924 р. фірма “Філіпс” приступила до серійного випуску випрямлячів, єдиною частиною яких, що обертається, був вентилятор.

Електротехніки в різних країнах світу спробували використати змінний струм для дугового зварювання. Його застосування забезпечувало значні переваги, і в першу чергу, спрощення конструкції джерел енергії. У 1905 р. професор В. Ф. Міткевич запропонував застосувати для зварювання металів змінний струм, у тому числі і трьохфазний. У 1920–х роках у США та Європі було багато противників застосування змінного струму для дугового зварювання. Основними аргументами були низька якість зварного з'єднання та труднощі підтримання горіння дуги. Однак, на початок 30–х років були розроблені штучні електроди із якісним покриттям, до складу якого входили речовини із низьким потенціалом іонізації (калій, натрій, кальцій, та ін.), що полегшувало збудження та підтримання дугового розряду.

Перші трансформатори для дугового зварювання на змінному струмі були випущені у 1923 р. фірмою “Веко”. До кінця 20 - х років у складі зварювального обладнання промислово розвинених країн вже застосовувалось декілька моделей одно- та трьохфазних трансформаторів. На початку 30 - х років в Радянському Союзі з'являються оригінальні зварювальні трансформатори. На заводі “Електрик” було налагоджено виробництво одно– та двохкорпусних трансформаторів В. П. Нікітіна серій СТН та СТЕ із номінальною силою струму до 500 А. Це були трансформатори із реактивними котушками, ввімкненими послідовно у вторинне (робоче) коло. Трансформатори мали падаючу зовнішню характеристику. У зв'язку із розвитком у 30 - х роках автоматичного зварювання голим електродним дротом, а також, автоматичного зварювання закритою дугою під флюсом виникла необхідність створення більш потужних джерел живлення. Такі джерела були створені в інституті електрозварювання під керівництвом Є. О. Патона. до них відносяться зварювальні трансформатори СТ-1000, СТВ-1000, СТР-2000 на струм 1000–2000 А із падаючою зовнішньою характеристикою.

Після розробки у 1956 р. В. К. Любавським способу зварювання плавким електродом у середовищі CO_2 , що здійснюється постійним струмом на зворотній полярності, увага зварників стала знов прикута до джерел живлення постійного струму. До того часу вже промислово вироблялись потужні напівпровідникові вентиля (діоди), на основі яких за короткий термін були розроблені та засвоєні у виробництві зварювальні випрямлячі як для зварювання у вуглекислому газі, так і для ручного дугового зварювання. Із появою на ринку у 60-х роках керованих напівпровідникових вентилів-тиристорів, на їх основі був розпочатий масовий випуск універсальних зварювальних випрямлячів, які мають як жорсткі, так і круто падаючі зовнішні характеристики і придатні для всіх способів дугового зварювання плавким електродом.

Поступове підвищення експлуатаційних характеристик силових напівпровідникових приладів (тиристорів, транзисторів), збільшення їх потужності, покращення керованості дозволили останнім часом створити новий тип джерела енергії для дугового зварювання на основі силових перетворювачів частоти-інверторів. Достатньо висока частота перетворення струму в інверторних джерелах живлення (20...50 кГц) дозволяє суттєво зменшити вагу та розміри джерела, підвищити мобільність, що робить їх незамінними в умовах ремонту, на монтажних майданчиках та ін.

1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДУГОВОГО РОЗРЯДУ

1.1 Характеристика основних способів дугового зварювання

Дуговим електрозварюванням зветься процес утворення нероз'ємного з'єднання металів під дією електричної дуги.

Сутність її полягає у тому, що під впливом електричної дуги, що має високу температуру (до 5000...7000°C), металеві деталі в місці їх з'єднання розігрівають до розплавленого стану та вводять присадковий матеріал, яким може бути і сам електрод. При спільній кристалізації основних та присадкових матеріалів утворюється зварний шов. Існують різні способи дугового електрозварювання, застосування яких обумовлюється конкретними технологічними умовами.

Ручне дугове зварювання плавким електродом складається у тому, що електрична дуга, що горить між основним матеріалом та електродом, розплавляє кромки основного металу та кінець електроду. Розплавлений метал заповнює зазор між кромками з'єднувальних деталей та після застигання утворює зварний шов. Усі електроди для цього способу зварювання мають спеціальне покриття, яке сприяє стійкому горінню дуги та забезпечує захист розплавленого металу від шкідливого впливу кисню та азоту, що входять до складу повітря.

Ручне дугове зварювання неплавким електродом характеризується тим, що дуга горить між електродом та основним металом, причому плавиться тільки основний метал. Для заповнення зазору між з'єднувальними кромками в зону дуги вводиться присадковий матеріал, а захист шва здійснюється шляхом підводу в цю ж зону інертних газів (аргону, гелію або їх сумішей).

Автоматичне та напівавтоматичне зварювання плавким електродом в середовищі захисних газів полягає у тому, що плавкий електрод у вигляді дроту незначного діаметру підводиться в зону зварювання за допомогою спеціальних пристроїв – подаючих механізмів. Одночасно в зону зварювання підводять захисні гази (вуглецевий газ, аргон, гелій або їх суміші). В обох випадках подача електроду в зону зварювання здійснюється автоматично. Автомати відрізняються від напівавтоматів тим, що у них автоматизоване переміщення пальника вздовж кромки виробів, що зварюються.

Порошкові та самозахисні дроти вміщують домішки спеціальних речовин, які забезпечують газовий та шлаковий захист зварювальної ванни, легування та очищення металу зварного шва. Як правило, такі дроти мають значний діаметр та надають більш високі вимоги до механізму подавання.

Незважаючи на більш високу вартість устаткування та витратних матеріалів цей спосіб отримує все більш широке розповсюдження.

Імпульсно – дугове зварювання плавким електродом є різновидом зварювання в середовищі захисних газів. Відмінність полягає у тому, що спрямований перенос присадкового матеріалу в зварювальну ванну здійснюється за рахунок формування певної послідовності імпульсів зварювального струму, що накладаються на відносно незначне середнє його значення.

Автоматичне та напівавтоматичне зварювання під флюсом характеризується тим, що електрична дуга горить під шаром флюсу, який захищає розплавлений метал від дії кисню та азоту, сприяє стійкому горінню дуги та формуванню якісного зварного шва.

В різних галузях виробництва перелічені способи мають неоднакове значення, однак загальний баланс, за різними даними приблизно такий:

- напівавтоматичне та автоматичне зварювання в середовищі захисних газів (в першу чергу в CO_2) – 50...55%;
- ручне дугове зварювання – 20...30%;
- зварювання під флюсом – 15...20%;
- зварювання порошковими та самозахисними дротами – 1...5%.

Таким чином, найбільш широке застосування знаходять ручне дугове зварювання плавким електродом та механізоване зварювання в середовищі захисних газів, причому частка останнього постійно зростає. В якості джерел живлення зварювальної дуги найбільш широке застосування знаходять зварювальні трансформатори та випрямлячі, аналізу властивостей та характеристик надалі приділяється особлива увага.

1.2 Основні відомості про зварювальну дугу

1.2.1 Основні характеристики електричної дуги

Електричною дугою називається потужний тривалий електричний розряд в середовищі іонізованих газів та парів металів між електродами, що знаходяться під напругою.

Зварювальну дугу прийнято зображати графічно у вигляді циліндра (рис. 1.1,а). В осьовому напрямку у складі дуги розрізняють: стовп дуги та приелектродні області – катодну та анодну. В приелектродних областях здійснюється зниження температури стовпа дуги до температури плавлення та кипіння металу виробу та електроду. Довжина катодної області складає $10^6 \dots 10^7$ м, а падіння напруги на ній дорівнює $U_k = 10 \dots 16$ В. Протяжність

анодної області $10^{-5} \dots 10^{-6}$ м, а анодне падіння напруги $U_a = 10 \dots 16$ В. В зв'язку із незначною довжиною приелектродних областей за довжину дуги приймають звичайно довжину стовпа дуги $l_d \approx l_c$.

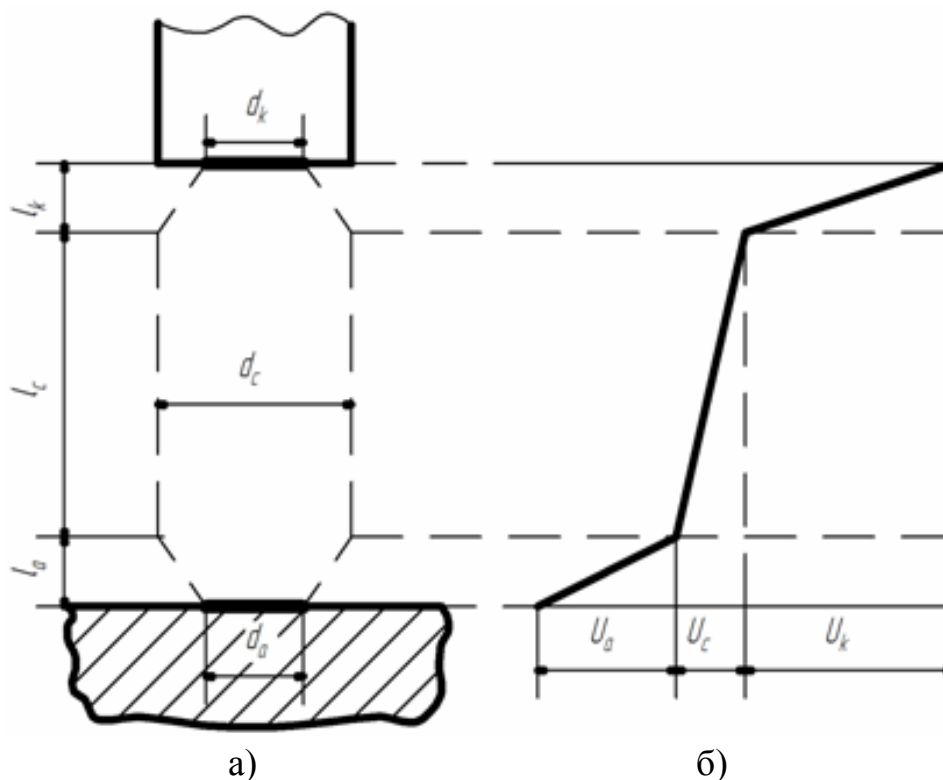


Рис. 1.1. - Циліндрична модель дуги (а)
та розподіл потенціалу по її довжині (б)

Стовп дуги – це іонізований газ, що вміщує нейтральні атоми та молекули газів та парів, вільні електрони та позитивні іони, що виникають при іонізації газу. Газовий стовп дуги (дугова плазма) займає основний об'єм електричної дуги і має найбільшу (до десятків міліметрів) довжину. Температура плазми досягає $6000 \dots 7000^\circ\text{C}$, в стовпі дуги виділяється не менше 20% загальної теплоти, а падіння напруги на ньому залежить від довжини дуги і складає $U_c = 2 \dots 12$ В.

Характерним для дугового розряду є те, що в приелектродних областях спостерігається різкі зміни потенціалів у порівнянні із зміною потенціалу у стовпі дуги (рис. 1.1, б). Це пояснюється різницею фізичних процесів, що протікають у цих областях і у стовпі дуги. Напруга на дузі є сумою різниці потенціалів в анодній області U_a , стовпі дуги U_c та катодній області U_k .

$$U_d = U_a + U_c + U_k, \quad (1.1)$$

Дуговий розряд є стійким електричним розрядом – він може існувати тривалий час, такі умови, при яких горить дуга, не будуть порушені будь-яким збуренням. Таким чином, зварювальна дуга разом із джерелом живлення утворює систему, яка може знаходитися у стані сталої або несталої рівноваги. Під сталою рівновагою розуміють такий стан, при якому змінні фізичні величини, що характеризують дану систему, протягом тривалого часу залишаються незмінними, або змінюються у незначних межах.

Основними параметрами, що характеризують систему “дуга-джерело живлення” є струм і напруга дуги. тому для стійкого стану

$$\begin{aligned} i_d &= const, \\ U_d &= const, \end{aligned} \quad (1.2)$$

Вольт-амперна характеристика дуги, що характеризує залежність напруги на дузі від струму дуги, яка отримана у стані стійкої рівноваги, називається статичною вольт-амперною характеристикою (СВАХ) дуги. Ця характеристика є найважливішою характеристикою дуги. Вона надає уявлення про те, яким чином змінюється провідність дугового проміжку при зміні величини напруги, що підводиться до дуги. Оскільки падіння напруги на дуговому проміжку є сумою різниць потенціалів у приелектродних областях і у стовпі дуги, то від характеру зміни кожної складової залежить вигляд статичної вольт-амперної характеристики дуги.

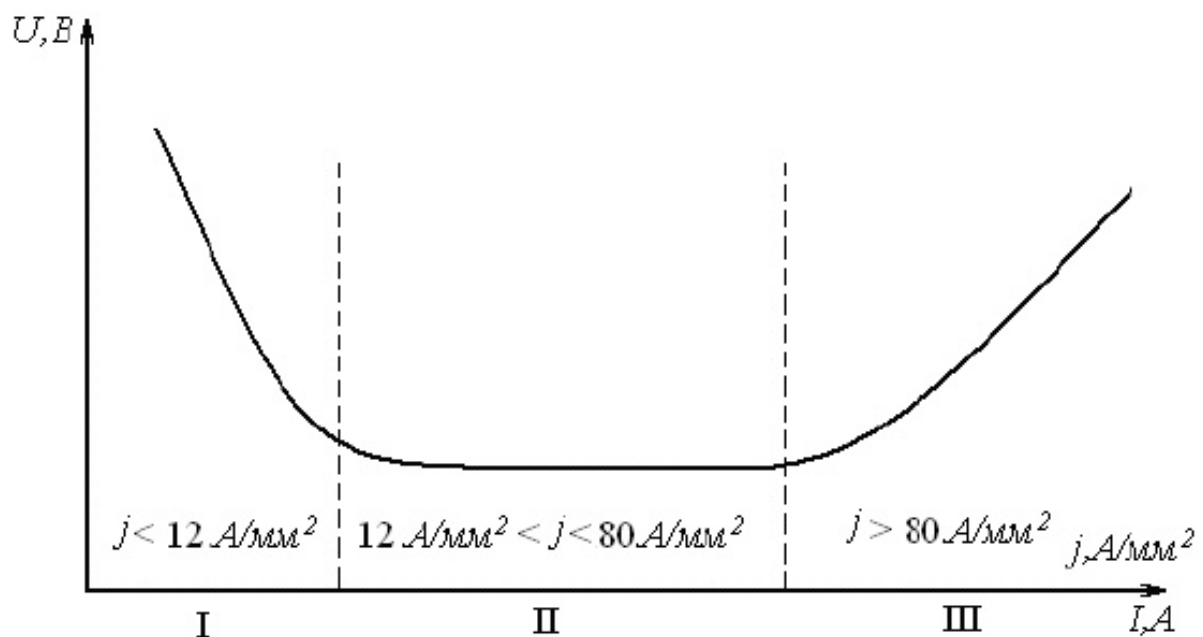


Рис. 1.2. - Узагальнена вольт-амперна характеристика дуги

При зміні довжини дуги характеристика зміщується догори або униз, оскільки напруга на дузі залежить від її довжини. Форма статичної вольт-амперної характеристики дуги визначається властивостями дуги як нелінійного елемента електричного кола, опір якого залежить від величини струму. Ця властивість дуги відрізняє її від деяких інших споживачів електричної енергії, опір яких не залежить від струму – так званих лінійних елементів, найбільш характерним представником яких є активний опір.

Падіння напруги на дузі визначається як провідністю дугової плазми, так і розмірами активних плям на електроді та виробі. Активними плямами називаються локалізовані, найбільш розжарені ділянки поверхні електродів, через які проходить увесь струм дуги. Активна пляма на від'ємному електроді називається катодною плямою, на позитивному електроді – анодною плямою.

Поперечні розміри дугового розряду залежать від розмірів катодної плями, оскільки саме прикатодні процеси визначають умови існування дуги.

Як впливає із рис. 1.2, статична вольт-амперна характеристика дуги має три чітко виражені ділянки:

–ділянка I – характеристика дуги спадаюча. Ця ділянка відповідає області мало амперних дуг;

–ділянка II – характеристика дуги жорстка, відповідає області дуг, що вільно поширюються;

–ділянка III – характеристика дуги зростаюча, що відповідає області стиснених дуг.

Падаючі вольт-амперні характеристики мають вільні малоамперні дуги, що горять в атмосфері повітря та в середовищі аргону при струмах від декількох ампер до 70 – 80 А. В цій області із зростанням струму напруга на дузі зменшується. Це пояснюється тим, що при незначних густинах струму (до 12 А/мм²) катодна пляма займає не всю поверхню торцю електроду і при зростанні струму дуги має можливість збільшуватися. Відповідно зростає діаметр стовпа дуги, густина струму в ньому знижується, а провідність проміжку збільшується, що і призводить до зниження падіння напруги на ньому.

Динамічний опір дуги R_d , що визначається як тангенс кута α нахилу дотичної, проведеної до певної точки характеристики (рис. 1.3), на цій ділянці є від'ємним.

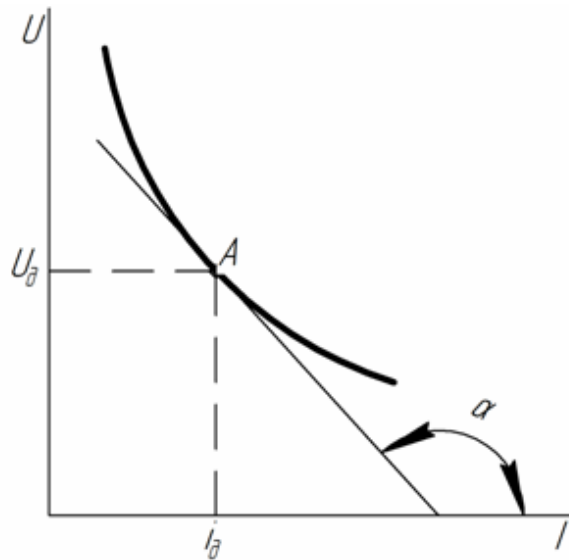


Рис. 1.3. - Визначення динамічного опору дугового проміжку

Жорстку вольт-амперну характеристику мають зварювальні дуги зі струмами від 80 А та вище при ручному дуговому та механізованому зварюванні під флюсом. Напруга на дузі в цьому випадку із зростанням струму залишається незмінною. Це викликано тим, що із зростанням струму пропорційно збільшується площа перерізу стовпа дуги, в результаті чого густина струму в стовпі дуги та провідність дуги залишаються незмінними. Цим пояснюється те, що при незмінній довжині дуги напруга на дузі не змінюється, при цьому $R_d = 0$.

Починаючи приблизно із 300...400 А та вище вольт-амперна характеристика дуги, що горить під шаром флюсу, стає повільно зростаючою. В цій області режимів катодна пляма займає всю площу торця електрода, тому при збільшенні струму дуги зростає густина струму в ній. Провідність дуги зменшується, а падіння напруги на дуговому проміжку зростає. При зварюванні плавким електродом в середовищі вуглецевого газу, яке здійснюється із застосуванням електродного дроту малого діаметру (0,8...2,0 мм) густина струму в катодній плямі і відповідно, у стовпі дуги досить значна і тому характеристика дуги круто зростаюча. Диференційний опір дуги $R_d > 0$.

Залежність між миттєвими значеннями зварювального струму та напруги дуги називають динамічною характеристикою дуги. Динамічна вольт-амперна характеристика дуги будується за даними осцилограм в умовах динамічної рівноваги, коли струм і напруга змінюються у часі, тобто виконується умова:

$$i_d = \text{var}; U_d = \text{var}.$$

Форма динамічної вольт-амперної характеристики (рис. 1.4) визначається, в основному, властивостями джерела живлення. За допомогою динамічної ВАХ дуги можливо оцінювати придатність даного джерела для живлення даної дуги.

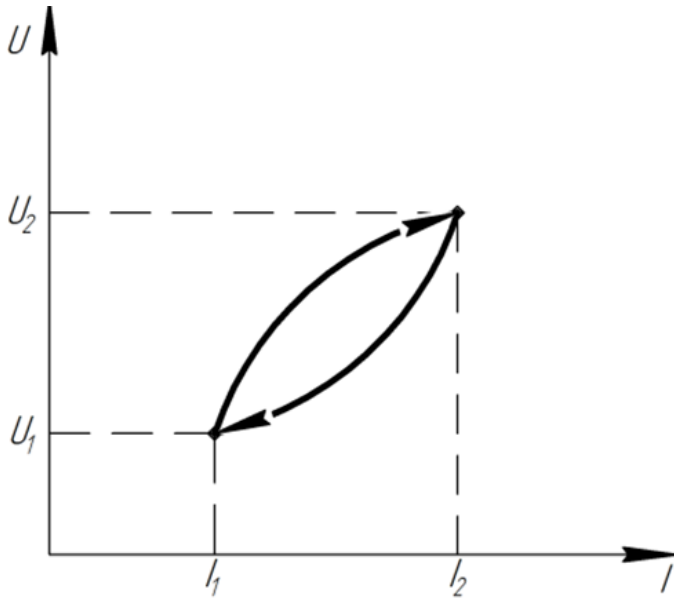


Рис. 1.4. - Динамічна ВАХ дугового розряду

1.2.2 Види зварювальних дуг

За найбільш вживаними технічними та технологічними ознаками розрізняють наступні основні групи зварювальних дуг:

1. Дуги прямої та посередньої дії.
2. Дуги з плавким та неплавким електродами.
3. Дуги, що горять в парах металів та в газах.
4. Вільні та стиснені дуги.
5. Сталені та неусталені дуги.
6. Відкриті та закриті дуги.
7. Дуги постійного та змінного струму.

Перелічені зварювальні дуги характеризуються наступними основними особливостями.

В дугах прямої дії метали, що підлягають нагріву та плавленню, є електродами розряду і їм передається кінетична і потенціальна енергія заряджених часток (рис. 1.5,а). Тому електроди інтенсивно розігріваються та плавляться.

Дуги посередньої дії розташовуються у поверхонь виробів, що підлягають нагріванню або плавленню. Електродами таких дуг є стержні з графіту або вольфраму, електрично не поєднані виробами (рис. 1.5,б). Нагрівання та плавлення виробів здійснюється лише за рахунок кінетичної енергії часток газу, що стікаються з іншими. Звичайно такий нагрів є малоефективним, тому дуги посередньої дії застосовуються у тих випадках, коли необхідна порівняно незначна теплопередача від дуги до виробу.

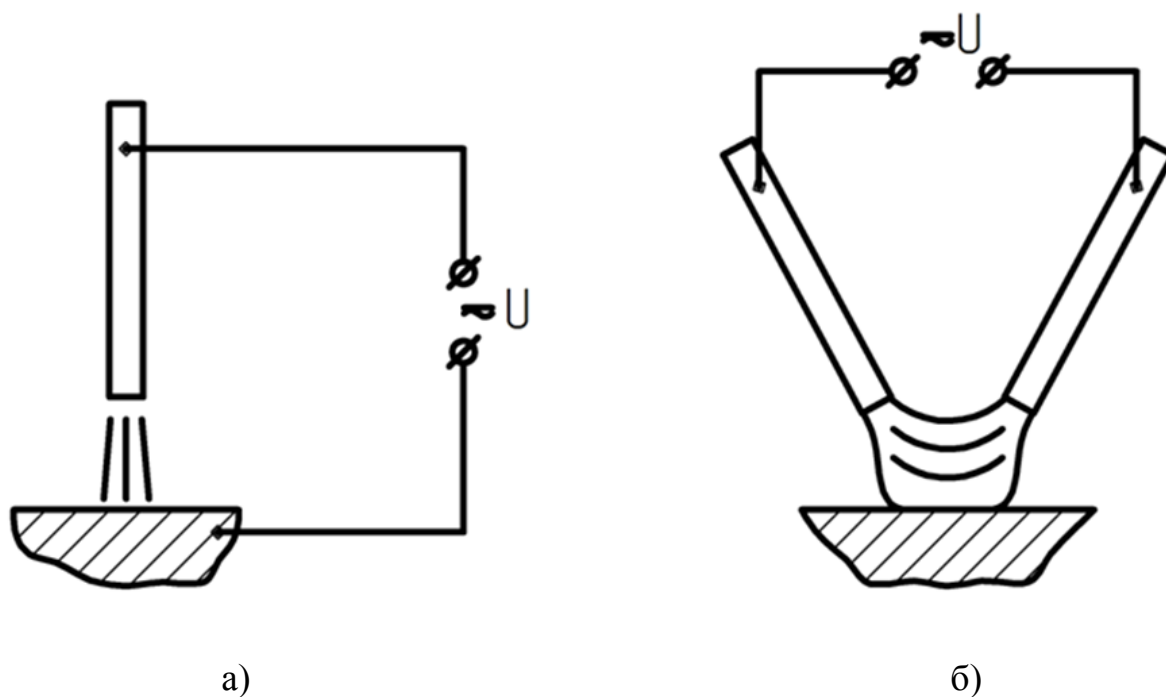


Рис. 1.5 .- Дуги прямої (а) та посередньої (б) дії

В дугах із плавкими електродами обидва електроди в процесі зварювання розплавляються, постачаючи метал у спільну зварювальну ванну, якщо один з електродів, виконаний із тугоплавкого матеріалу (вольфраму або графіту), не постачає метал у спільну ванну, то дуга зветься дугою із неплавким електродом.

Більшість плавких електродів дуги інтенсивно випаровується. Пари, рухаючись від електродів у вигляді струменю, майже повністю відтискують з області розряду інші гази. Тому саме пари електродів визначають основні властивості таких дуг, що і обумовлює їхню назву. При застосуванні графітових або вольфрамових електродів, що випаровуються незначно, склад газу розрядної області в основному визначається її атмосферою. Останню

утворюють захисні гази-аргон, гелій, водень, CO₂ та ін., що надаються у зону дуги для захисту металу від впливу повітря.

Дуга вважається вільною, якщо її розвиток у просторі не обмежується до границь, що визначається природними властивостями дуги. При наявності таких обмежень дуга зветься стисненою. Дугу стискають, розміщуючи її у вузьких каналах та щілинах, обмежуючи розміри електродів, обдуваючи дугу струменями газів та ін.

Дуга вважається усталеною, якщо тривалість її існування при заданих умовах помітно перевищує час протікання у ній перехідних процесів і параметри дуги вже не змінюються у часі. Зміна сили струму, складу атмосфери, відстані між електродами та ін. характеризують неусталені дуги. Однак, при порівняно повільній зміні перелічених факторів, коли кожному їх миттєвому значенню відповідають параметри дуги, близькі до усталених значень, такими змінами можливо знехтувати і дугу вважати усталеною.

Дуга вважається відкритою, якщо навколо неї відсутні перепони, що виключають або перешкоджають циркуляції газу в навколо дуговому просторі, або затримують випромінювання дуги. У випадку повного огороження дуги від навколишнього простору вона стає закритою. Прикладом такої дуги є дуга під флюсом. Циркуляція газових потоків у такій дузі обмежена, випромінювання дуги назовні не проникає. Можливі напівзакриті дуги (зварювання по шару флюсу).

Для дуг постійного струму характерними є незмінність напрямку струму та незначні коливання його величини, обумовлені процесами у дузі. В дугах змінного струму здійснюється неперервні зміни напрямку і сили струму у відповідності із змінами е.р.с. джерела та процесами у дузі. Такі дуги згасають кожного разу при переході струму через нуль та відновлюються знов на початку кожного напівперіода струму, що їх живить.

Реальні зварювальні дуги характеризуються одночасно декількома переліченими особливостями.

1.2.3 Зварювальна дуга змінного струму

При зварюванні на змінному струмі із частотою f стільки ж разів за секунду здійснюється зміна полярності електродів, коли кожен з електродів по чергово є катодом та анодом. При синусоподібній напрузі частотою 50 Гц така зміна здійснюється 50 разів за секунду, крім того 100 разів за секунду в

дуговому проміжку утворюються моменти, коли струм дуги переходить через нуль (рис. 1.6).

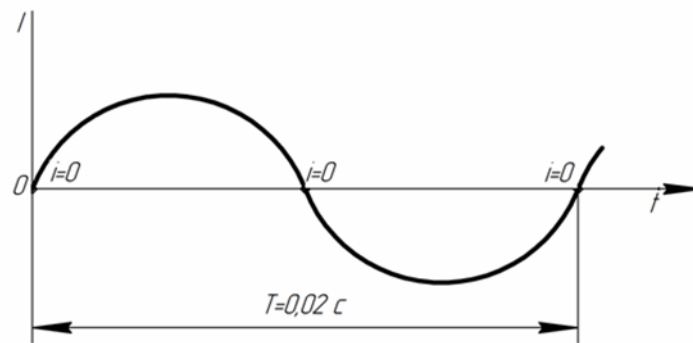


Рис. 1.6. - Форма змінного струму частотою 50 Гц

При переході через нульове значення дуга згасає, а дуговий проміжок де іонізується. Внаслідок цього зменшується ступінь іонізації газу в стовпі дуги, розсмоктується просторовий об'ємний заряд у при електричних областях, зменшується напруженість електричного поля в них, охолоджується катодна пляма дуги. Все це призводить до того, що повторне збудження дуги у наступний напівперіод ускладнюється і стає можливим лише при підвищенні напруги на електродах до деякого порогового значення, яке зветься напругою повторного запалювання дуги. Ця напруга звичайно перевищує напругу горіння дуги. На рис. 1.7 наведено осцилограми струму та напруги дугового розряду.

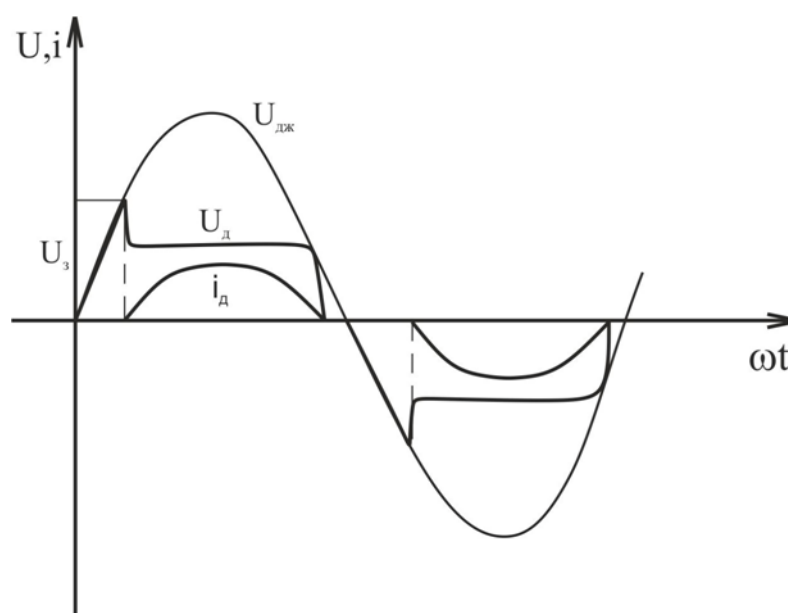


Рис. 1.7. - Осцилограми струму і напруги дугового розряду

Крива струму наближається до синусоїди, крива напруги характеризується яскраво визначеними піками запалювання на початку кожного напівперіода і майже постійним значенням на його подальшій протяжності.

Із збільшенням робочих струмів фізичні умови існування дугового розряду покращуються внаслідок підвищення швидкості охолодження катодної плями. Це призводить до зниження напруги повторного запалювання дуги.

Повторному збудженню дуги також сприяє введення в дуговий проміжок парів елементів, що легко іонізуються (калій, натрій, кальцій), які знижують ефективний потенціал іонізації газового середовища.

Крім згасання дуги при переході напруги через нуль, другим наслідком зміни полярності електродів є спотворення синусоподібної форми струму, виникнення вентильного ефекту – різної провідності дуги в різних напрямках. Викликане спотворення синусоїди струму тим, що катодна пляма по чергово розташовується то на електроді, то на основному металі. розташовуючись на основному металі в момент згасання дуги вона охолоджується швидше, ніж в ті моменти, коли вона розташована на електроді. Тому напруга повторного запалювання дуги у випадку розташування катодної плями на виробі виявляється більшою, ніж при розташуванні її на електроді (рис. 1.8). Має місце так звана випрямляюча дія дуги, коли внаслідок гірших умов запалювання і горіння струм дуги у напівперіоди зворотної полярності стає меншим, ніж у напівперіодах прямої полярності.

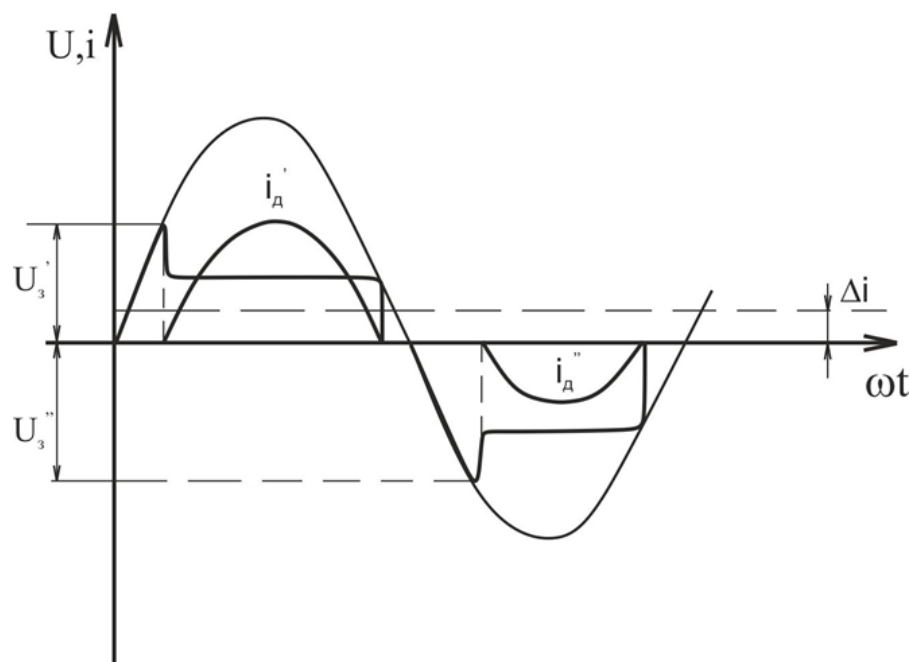


Рис. 1.8. - Вентильний ефект у дуговому розряді

Ця різниця умов запалювання та горіння дуги призводить до того, що в зварювальному колі протікає деяка постійна складова струму Δi , яка створює в трансформаторі джерела живлення додаткове постійне магнітне поле, що накладається на основне, створене обмотками трансформатора. У результаті підвищується намагнічуючий струм трансформатора, понижується його потужність та $\cos\varphi$, збільшується нагрів. Значна постійна складова струму негативно впливає на технологію зварювання.

Найбільш помітно вентильний ефект спостерігається в дугах, що мають електроди із різнорідних пар металів (зокрема, вольфрам – алюміній). Це пояснюється тим, що температура торця вольфрамового електроду в декілька разів вище температури рідкої ванни алюмінію. Крім того, має місце значна різниця термоелектричних емісій вольфраму та алюмінію (у алюмінію вона дуже незначна). Якщо при ручному дуговому зварюванні плавким електродом постійна складова струму в зварювальному колі не перевищує 5...10% від діючого значення робочого струму, то при аргонодуговому зварюванні алюмінію неплавким електродом ця величина може досягати 70...80%.

Спотворення симетричності синусоїди струму призводить до того, що повна електрична потужність дуги та її активна потужність виявляються неоднаковими. Ця різниця оцінюється коефіцієнтом потужності дуги.

$$\lambda_d = \frac{P_d}{I_d U_d} < 1$$

Підвищення коефіцієнта потужності дуги та більш ефективного застосування джерела живлення вимагає повного або часткового усунення постійної складової в зварювальному колі. В промислових джерелах живлення цього досягають, в основному, трьома способами.

За першим способом у зварювальне коло послідовно із дугою вмикають конденсаторну батарею значної ємності (рис. 1.9).

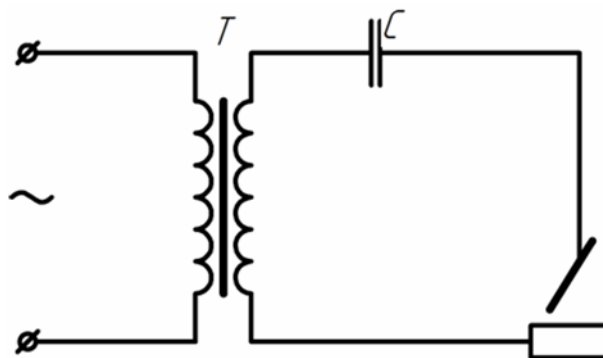


Рис. 1.9. - Усунення постійної складової за допомогою батареї конденсаторів в зварювальному колі

Цей спосіб забезпечує повне усунення постійної складової струму. Спосіб заснований на тому, що конденсатор для постійного струму представляє безмежний опір і його практично не пропускає, в той час як для змінного струму конденсатор має незначний опір.

Для реалізації цього способу ще у 50 – 60 – ті роки були розроблені спеціальні електролітичні неполярні конденсатори ємністю 1000 мкф, 12 В. В установках УДГ – 301 на струм 315 А батарея складалась із 100 таких конденсаторів, з'єднаних паралельно, її маса складала 45...50 кг. В установках УДГ – 501 застосовувалось 150 конденсаторів. В результаті суттєво зростали маса та габарити установок.

У другому варіанті для обмеження постійної складової зварювального струму паралельно до вторинної обмотки силового трансформатора T_1 (рис. 1.10) вмикається додаткове малопотужне джерело, що складається з трансформатора T_2 та двохнапівперіодного випрямляча V , вихідні клеми якого під'єднуються до зварювального кола у полярності, необхідній для вирівнювання струмів у на півперіодах. Цей спосіб не знайшов розповсюдження внаслідок збільшення маси і габаритів джерела та необхідності регулювання напруги додаткового джерела при зміні режиму зварювання.

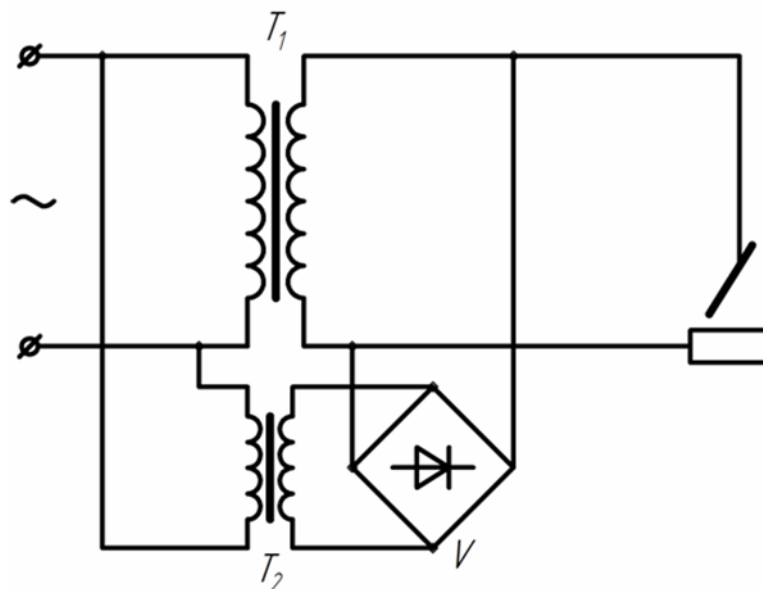


Рис. 1.10. - Усунення постійної складової струму за допомогою додаткового джерела

Третій спосіб усунення постійної складової струму заснований на вмиканні у зварювальне коло активного опору (резистора), зашунтованого силовим діодом (рис. 1.11).

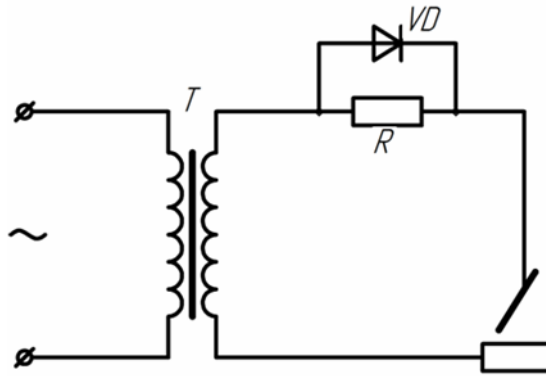


Рис. 1.11 .- Обмеження постійної складової зварювального струму за допомогою активного опору

Полярність вмикання діода обирається такою, щоб він пропускав струм у напівперіоди зворотної полярності. У напівперіоди прямої полярності, коли струм дуги більше, діод зачинений і величина струму обмежується резистором, ввімкненим паралельно діоду.

Для того, щоб усунути постійну складову струму при різних режимах зварювання резистор повинен бути змінним. Недолік такого пристрою – необхідність його переналагодження при зміні режиму зварювання та значні енергетичні витрати при проходженні напівхвилі струму прямої полярності через резистор.

Із початком застосування у зварювальній техніці силових тиристорів на основі останнього пристрою розроблений більш ефективний та економічний спосіб обмеження постійної складової струму, схема якого наведена на рис. 1.12.

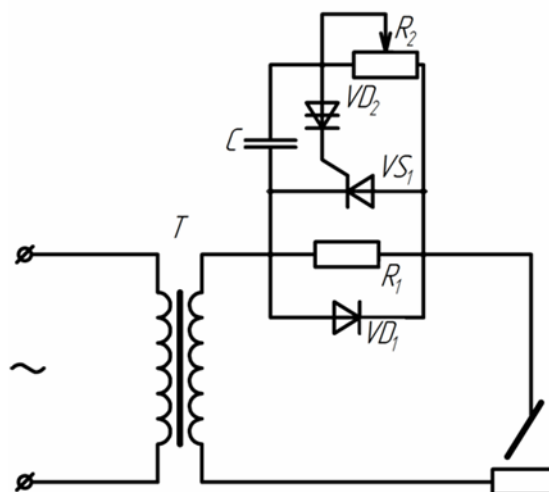


Рис.1.12. - Модернізована схема для усунення постійної складової зварювального струму

У вторинне коло зварювального трансформатора ввімкнений двохполюсник, що складається із паралельно – зустрічно ввімкнених діода $VD1$, тиристора VS із лінією затримки, та резистора $R1$. Лінія затримки на вмикання тиристора складається з конденсатора C , резистора $R2$ та перемикаючого діода $VD2$.

У напівперіод зворотної полярності зварювальний струм без перешкод проходить через діод $VD1$. На початку наступного напівперіода струм дуги підтримується через резистор $R1$. Із збільшенням напруги на трансформаторі зростає напруга заряджання конденсатора C через резистор $R2$ лінії затримки. По досягненню певної напруги на конденсаторі здійснюється вмикання діода $VD2$ і конденсатор розряджається на керуючий перехід тиристора VS , призводячи до його відкриття. Робочий струм починає протікати через незначний опір відкритого тиристора VS . Потужність, що розсіюється на резисторі $R1$, незначна, оскільки резистор пропускає струм тільки під час затримки на вмикання тиристора.

Опір резистора $R1$ обирається з умови підтримання мінімального струму дуги.

Пристрій не вимагає переналагодження при зміні режиму зварювання та забезпечує обмеження постійної складової зварювального струму до рівня, що не перевищує 10...12% від діючого значення струму.

1.2.4 Зварювальна дуга в колі змінного струму з активним та індуктивним опором

Зварювальна дуга в колі з активним опором. Активний опір вмикається в зварювальне коло для забезпечення регулювання величини зварювального струму та формування падаючої зовнішньої характеристики джерела живлення. В умовах ручного дугового зварювання ці функції зазвичай виконує баласний реостат, який представляє собою змінний активний опір із ступінчастим регулюванням (рис. 1.13).

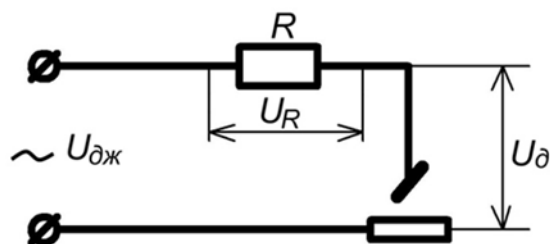


Рис. 1.13. - Електрична схема дуги в колі з активним опором

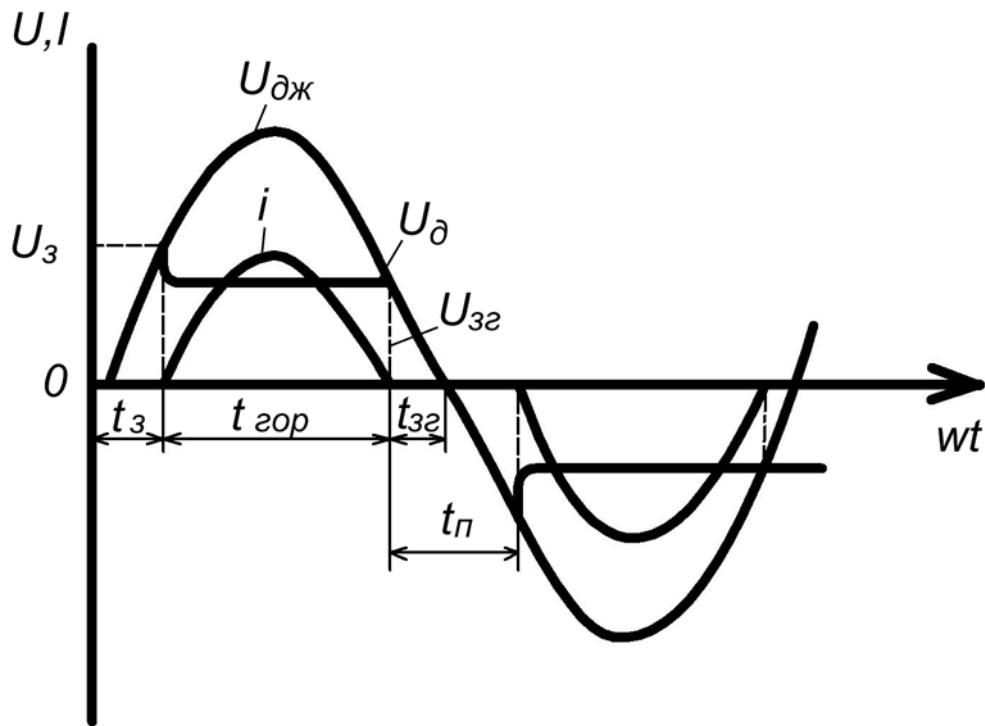


Рис. 1.14. - Осцилограми дугового розряду в колі з активним опором

Основні позначення на рисунку 1.14:

$U_{д}$ – напряга горіння дуги;

$U_{г}$ – напряга холостого ходу джерела живлення;

$U_{м}$ – амплітудне значення напряги джерела живлення;

$U_{з}$, $U_{зг}$ – відповідно, напряга запалювання та згасання дуги;

$t_{з}$, $t_{г}$, $t_{зг}$ – відповідно, час запалювання, горіння та згасання дуги;

$t_{п}$ – час перерви (паузи) в горінні дуги;

i – струм дуги.

При наявності в зварювальному контурі тільки резистивного опору струм дуги і напряга джерела живлення співпадають за фазою. На початку напівперіода, від моменту часу $t = 0$ до $t = t_{з}$, поки напряга джерела живлення не досягне напряги запалювання дуги $U_{з}$, дуга не горить і зварювальний струм практично дорівнює нулю. Коли синусоподібна напряга $U_{м}$ досягає значення $U_{з}$ у момент $t = t_{з}$, створюються умови для існування дугового розряду і дуга збуджується.

Після виникнення дугового розряду зварювальний струм змінюється за кривою напряги джерела живлення, а напряга на дуговому проміжку

знижується від U_3 до напруги горіння U_d . Наприкінці напівперіоду напруга на виході джерела стає нижчою за напругу горіння дуги і дуга згасає. У наступному напівперіоді процес повторюється. Інтервал часу від $t_{зг}$ до t_3 , на якому зварювальний струм відсутній, представляє собою час перерви в горінні зварювальної дуги.

Із наведеного розряду можливо зробити висновок, що при наявності у зварювальному контурі тільки резистивного опору спостерігаються проміжки часу, коли дуговий розряд відсутній, тобто дуга згасає. Відповідно, в цих умовах зварювальна дуга і процес зварювання є нестабільними. Для підвищення стабільності горіння дуги змінного струму необхідно визначити умови, за яких перерви в горінні дуги можуть бути усунені або обмежені.

Метод спрощеного аналізу умов існування дуги змінного струму запропонований В. П. Нікітіним. Аналіз виконується для двох крайніх режимів при активному та індуктивному характері опору короткого замикання джерела.

При активному характері опору зварювального кола умова збудження та існування дугового розряду може бути представлена у наступному вигляді:

$$U_m \sin \omega t \geq U_3 \quad (1.3)$$

Запалювання дуги здійснюється у момент часу t_3 , який із рівняння $U_3 = U_m \sin \omega t_3$ визначається наступним чином:

$$t_3 = \arcsin \frac{U_3}{U_m} \cdot \frac{1}{\omega} \quad (1.4)$$

Аналогічним чином визначається і час згасання дуги:

$$t_{32} = \arcsin \frac{U_3}{U_m} \cdot \frac{1}{\omega} \quad (1.5)$$

Як вже відмічалось, із збільшенням величини зварювального струму умови дугового розряду поліпшуються, тому для потужних дуг орієнтовно виконується рівність:

$$U_3 \approx U_{зг} \approx U_d \quad (1.6)$$

Тому тривалість паузи зварювального струму t_n можна визначити як:

$$t_n = 2 t_3 = 2 \arcsin \frac{U_d}{U_m} \cdot \frac{1}{\omega} \quad (1.7)$$

Оскільки кутова частота $\omega = 2\pi f$, рівняння (1.7) можливо записати у наступному вигляді:

$$t_n = \frac{\arcsin \frac{U_d}{U_m}}{\pi f} \quad (1.8)$$

З виразу (1.8) випливає, що тривалість перерв у горінні дуги може бути скорочена або збільшена збільшенням напруги холостого ходу джерела живлення U_m , або збільшенням частоти f вихідної напруги джерела, або зниженням напруги горіння дуги U_d . Перший шлях є неефективним як з енергетичних міркувань (знижується коефіцієнт потужності), так і за умов техніки безпеки. Другий шлях вимагає спеціальних джерел енергії змінного струму підвищеної частоти і реалізується в деяких сучасних джерелах, що мають перетворювачі частоти. При ручному дуговому зварюванні найбільш поширеним є третій спосіб, заснований на застосуванні якісних електродів, в склад покриття яких в певній кількості входять лужні метали.

Зварювальна дуга в колі з індуктивним опором. В ряді практичних випадків живлення дуги змінного струму при ручному дуговому зварюванні плавким електродом, а частіше при зварюванні під флюсом здійснюють, вмикаючи в коло дуги не резистор, а котушку із феромагнітним осердям, що володіє значною індуктивністю. Принципова електрична схема джерела живлення дуги змінним струмом із котушкою індуктивності у зварювальному контурі наведена на рисунку 1.15.

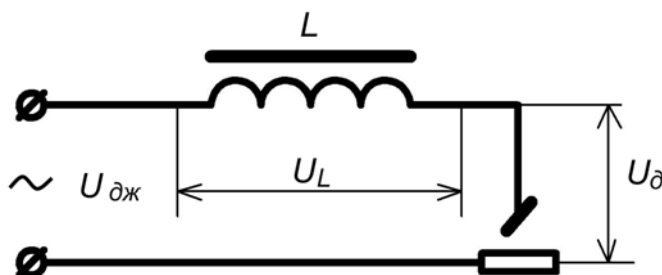


Рис. 1.15. - Електрична схема дуги в колі з індуктивним опором

Котушка володіє індуктивністю L та резистивним опором R , яким в силу значної площі перерізу дротів у зварювальному колі можна знехтувати.

При вмиканні в коло змінного струму індуктивного опору з'являється зсув фаз між струмом та напругою на кут φ (рис. 1.16).

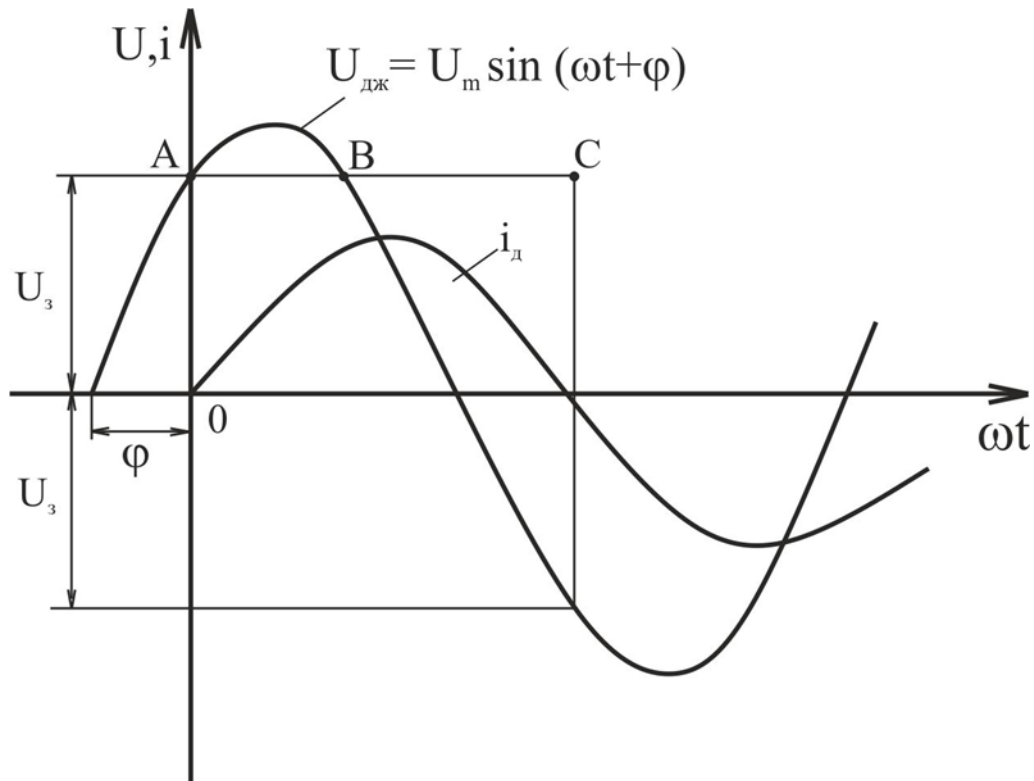


Рис. 1.16. - Осцилограми дугового розряду в колі з індуктивним опором

При проходженні зварювального струму i по обмотці котушки індуктивності магніторушійна сила iW_k (де W_k – кількість витків котушки) збуджує в осерді котушки змінне у часі магнітне поле, яке індукує в обмотці е.р.с. самоіндукції. Ця е.р.с. підтримує горіння дуги на ділянці від точки B (рис. 1.16), коли напруга джерела стає недостатньою для існування дугового розряду, до точки C , що відповідає моменту переходу струму через нульове значення. Напруга, що підводиться до розрядного проміжку на ділянці BC представляє собою алгебраїчну суму двох е.р.с. e_r та e_l

$$U_d = e_2 + e_L$$

де e_2 – е.р.с. вторинної обмотки зварювального трансформатора;

e_L – е.р.с. самоіндукції.

Завдяки цьому підтримується напруженість електричного поля в міжелектродному проміжку (на ділянці BC), необхідна для існування струму i .

В момент переходу струму i через нуль (т. С) полярність напруги джерела вже змінилась і напруга досягла певного значення. Якщо обрати кут φ таким, що при переході струму через нульове значення напруга джерела живлення буде досягати або перевищувати напругу запалювання дуги, то дуга буде горіти безперервно. Основна умова неперервності горіння дуги:

$$U_m \sin (\omega t + \varphi) \geq U_d$$

При цьому струм переходить через нуль в моменти $\omega t = 0, \omega t = \pi$. Звідси

$$\sin \varphi = U_d / U_m \quad (1.9)$$

При індуктивному характері опору короткого замикання джерела рівняння зварювального кола приймає вигляд:

$$U_m \sin (\omega t + \varphi) = U_d + L \frac{di}{dt}, \quad (1.10)$$

З якого випливає, що

$$di = \frac{U_m}{L} \sin (\omega t + \varphi) dt + \frac{U_d}{L} dt \quad (1.11)$$

Інтегруючи цей вираз при припущенні $U_d = \text{const}$, отримаємо:

$$i = - \left[\frac{U_m}{\omega L} \cos(\omega t + \varphi) + \frac{U_d}{\omega L} \cdot \omega t \right] + C \quad (1.12)$$

Постійна інтегрування C у виразі (1.12) знаходиться з початкової умови: при $\omega t = 0, i = 0$:

$$C = \frac{U_m}{\omega L} \cos \varphi$$

Відповідно:

$$i = - \left[\frac{U_m}{\omega L} \cos(\omega t + \varphi) + \frac{U_d}{\omega L} \cdot \omega t \right] \quad (1.13)$$

Враховуючи, що $i = 0$ також і при $\omega t = \pi$, з виразу (1.13) знаходимо:

$$\cos \varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{U_d}{U_m} \quad (1.14)$$

Разом з рівнянням (1.9) рівняння (1.14) дозволяє знайти умову неперервного горіння дуги. Застосовуючи відоме рівняння $\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1$, отримаємо:

$$\frac{U_3^2}{U_m^2} + \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{U_d^2}{U_m^2} = 1$$

Зробивши заміну $U_3 = m U_d$, де $m \geq 1$, знаходимо необхідне відношення:

$$\frac{U_m}{U_d} \geq \sqrt{\frac{\pi^2}{4} + m^2}, \quad (1.15)$$

З якого можливо зробити висновок, що дуга горить неперервно, коли амплітудне значення е.р.с джерела перевищує напругу дуги мінімум у 1.86 разу (при $m=1$). При напрузі запалювання $U_3 > U_d$ (при $m > 1$), необхідна напруга джерела ще вище. При ручному дуговому зварюванні співвідношення (1.15) звичайно знаходиться в межах $U_m = (1,8 \dots 2,5) U_d$.

1.2.5 Трифазна зварювальна дуга

Трифазною називають зварювальну дугу, що отримує живлення від трифазної силової мережі. Вона представляє собою систему дугових розрядів між трьома електродами, розташованими настільки близько, що теплова енергія цих дуг діє в достатньо обмеженому спільному просторі.

Трифазна дуга при зварюванні значних товщин має переваги у порівнянні із однофазною дугою. Продуктивність зварювання трифазною дугою у 2 – 2.5 рази вище, ніж продуктивність зварювання однофазною дугою.

Принципова електрична схема живлення трифазної дуги наведена на рис. 1.17,а. Дві фази від джерела приєднуються до електродів дуги, а третя – до виробу, що зварюється. Трифазна дуга складається з трьох окремих дуг, що горять у спільному газовому середовищі та утворюються спільний плавильний

простір (рис. 1.17,б). Дуги U_{23} та U_{31} є дугами прямої, а дуга U_{12} – посередньої дії.

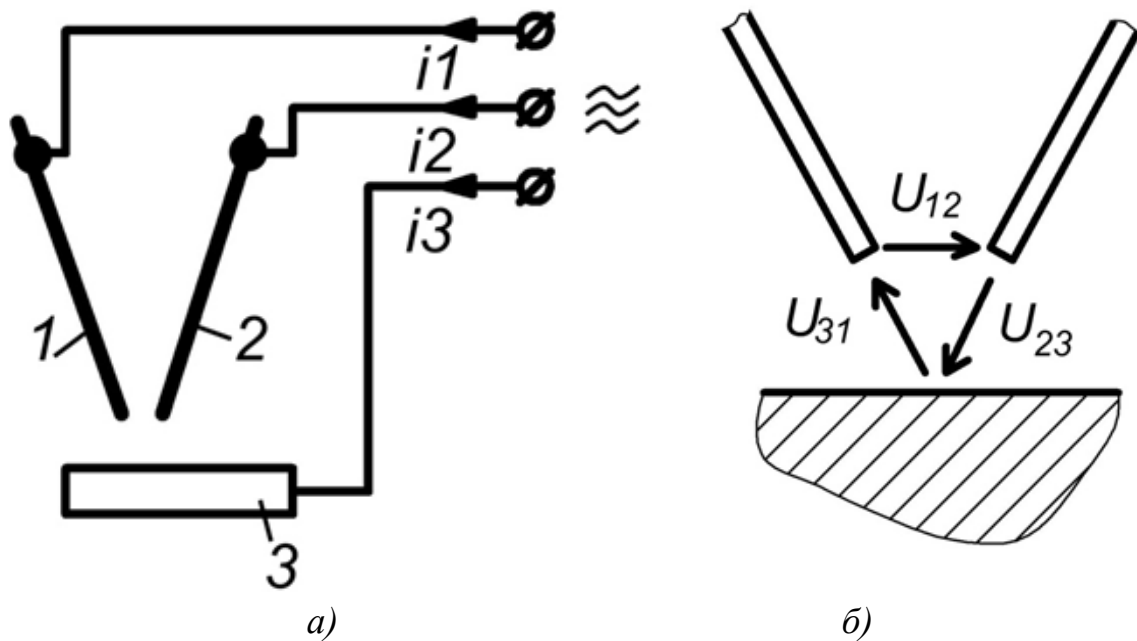


Рис. 1.17. - Схеми трифазного дугового зварювання

Послідовність та тривалість горіння кожної із трьох дуг залежить від послідовності та чергування фаз джерела живлення. Схема горіння дуг через кожні $1/12$ періоду змінного трифазного струму наведена на рис. 1.18.

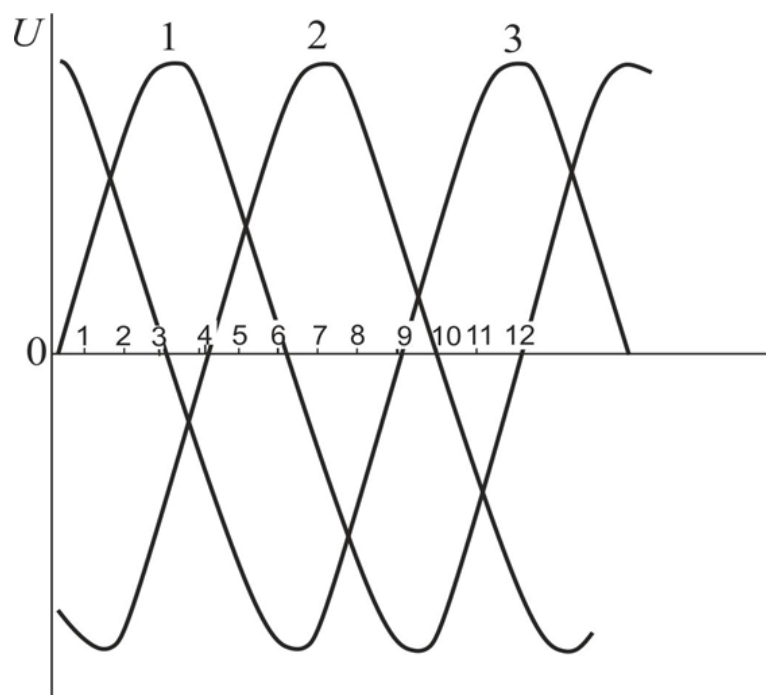


Рис. 1.18. - Осцилограми трифазного струму

У будь-який момент часу в трифазній дузі, як впливає з рис. 1.17, горить, по меншій мірі, одна з трьох можливих дуг. Внаслідок цього середовище між електродами постійно іонізоване, що сприятливо позначається на стійкості дуги. Водночас, в кожний момент часу в трифазній дузі може існувати одночасно не більше двох дуг. Пояснюється це тим, що для існування третьої дуги між електродами на торці одного з електродів повинні виникнути одночасно катодна та анодна плями, а в одному і тому ж приелектродному просторі повинні виникнути як додатні, так і від'ємні просторові заряди, що фізично неможливо.

Режим роботи системи трифазна дуга – джерело живлення визначається величиною струмів в електродах і виробі i_1, i_2, i_3 , та напругою окремих дуг U_{12}, U_{23}, U_{31} . При трьохфазному живленні створюються умови для роздільного регулювання величини струмів в колах електродів і в колі виробу шляхом зміни відстані між електродами та індуктивностей L_a, L_b, L_c в колі кожної з фаз. При цьому з'являється можливість розподіляти теплоту, що витрачається на розплавлення електродів та проплавлення основного металу шляхом зміни співвідношення між струмами в електродах та виробі, а також, напруги або довжини окремих дуг. Якщо позначити співвідношення між струмом у виробі i_3 та струмом $i_1 = i_2$ як:

$$K_m = \frac{i_3}{i_1} = \frac{i_3}{i_2},$$

то при $K_m > 1$ збільшується глибина проплавлення, а кількість розплавленого металу електродів зменшується. При $K_m < 1$ спостерігається зворотна картина.

Більш висока стійкість трифазної дуги, обумовлена постійною іонізацією газового проміжку між електродами і виробом, дозволяє застосовувати джерела живлення із більш низькою напругою холостого ходу, ніж при зварюванні однофазною дугою, що дає зменшення габаритів і металоємності трансформатора. Співвідношення між напругою холостого ходу джерела і робочою напругою приймають рівним $U_{xx}/U_p = 1,17 \dots 1,25$.

Значного поширення зварювання трифазною дугою не отримало, оскільки виявилось неконкурентоспроможним у порівнянні із електрошлаковим зварюванням. В обмежених масштабах вона застосовується для механізованого зварювання виробів значної товщини із сталі та алюмінію.

1.3 Загальні вимоги до системи «джерело живлення–дуга»

1.3.1 Способи регулювання зварювального струму

Електричні властивості джерела живлення при роботі в статичному режимі визначаються його зовнішньою характеристикою – залежністю напруги на його виході від сили струму, що протікає в зварювальному колі при навантаженні. В загальному вигляді це коло може бути представлено спрощеною схемою (рис. 1.19)

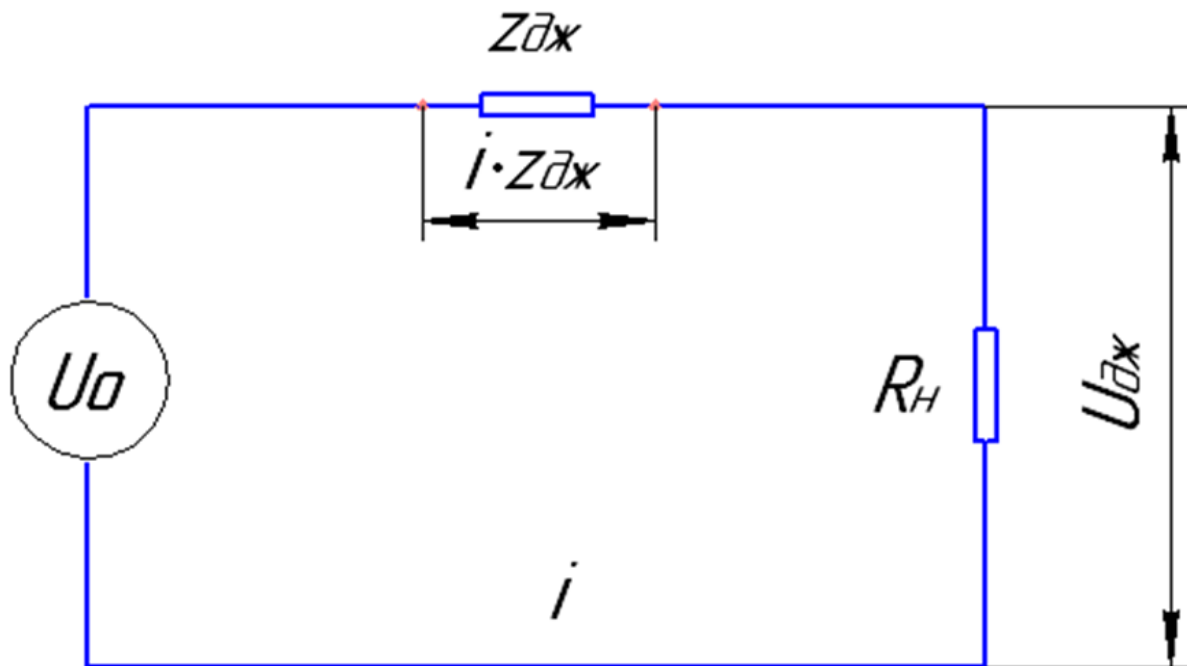


Рис. 1.19 – Схема зварювального кола при навантаженні

U_0 – напруга (е.р.с.) холостого ходу джерела

$U_{дж}$ – вихідна напруга джерела

Z – внутрішній опір джерела (як активний, так і реактивний)

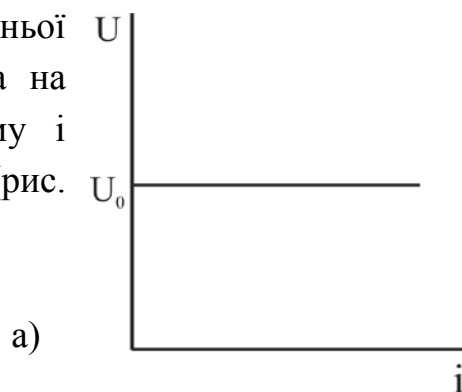
i – струм в колі

Згідно схеми напруга на вихідних клеммах джерела в залежності від струму визначається як:

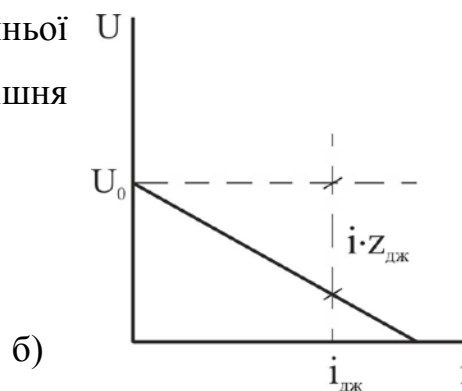
$$U_{дж} = U_0 - i \cdot Z \quad (1.16)$$

З виразу (1.16) можливо визначити вигляд зовнішньої характеристики джерела в залежності від його внутрішнього опору Z :

1) $Z = 0$, тоді рівняння зовнішньої характеристики $U_{дж} = U_0$ тобто напруга на виході джерела не залежить від струму i зовнішня характеристика є жорсткою (рис. 1.20,а).



2) $Z > 0$, рівняння зовнішньої характеристики $U_{дж} = U_0 - i \cdot Z$, зовнішня характеристика є спадаючою (рис. 1.20,б).



3) $Z < 0$, рівняння зовнішньої характеристики $U_{дж} = U_0 + i \cdot Z$, зовнішня характеристика джерела є зростаючою (рис. 1.20,в).

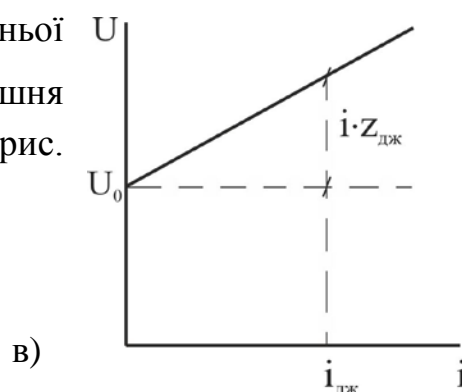


Рис. 1.20. - Форми зовнішніх характеристик джерел живлення дуги

При незначному внутрішньому опорі джерела падіння напруги буде на ньому несуттєвим і зовнішня характеристика стає повільно спадаючою. При значному внутрішньому опорі $Z \gg 0$ зовнішня характеристика є круто спадаючою.

Регулювання режиму зварювання здійснюється зміною форми або положення зовнішньої характеристики джерела. Можливі способи регулювання також впливають із формули (1.16).

1-й спосіб регулювання полягає у зміні напруги холостого ходу джерела U_0 при незмінному внутрішньому опорі Z . Якщо напрузі холостого ходу надати деякий приріст ΔU_0 , то отримаємо:

$$U_{дж} = U_0 \pm \Delta U_0 - i \cdot Z$$

При цьому нові характеристики пройдуть еквідистантно вихідній характеристиці (рис. 1.21)

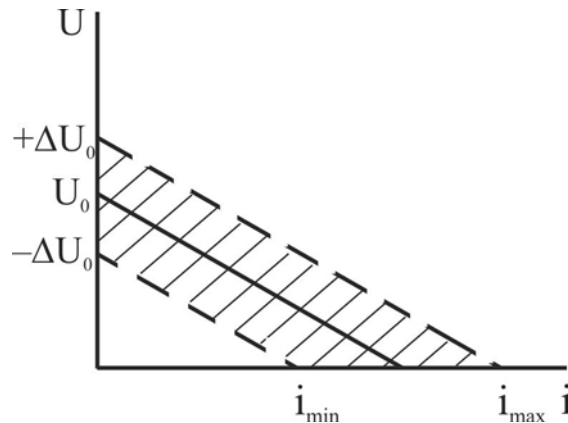


Рис. 1.21. - Регулювання форми зовнішньої характеристики джерела зміною напруги холостого ходу

2-й спосіб регулювання здійснюється зміною внутрішнього опору джерела Z на деяку величину ΔZ при незмінній напрузі холостого ходу U_0 . В цьому випадку рівняння зовнішньої характеристики прийме вигляд:

$$U_{дж} = U_0 - i \cdot Z \pm i \cdot \Delta Z$$

Це призводить до зміни кута нахилу зовнішніх характеристик (рис. 1.22).

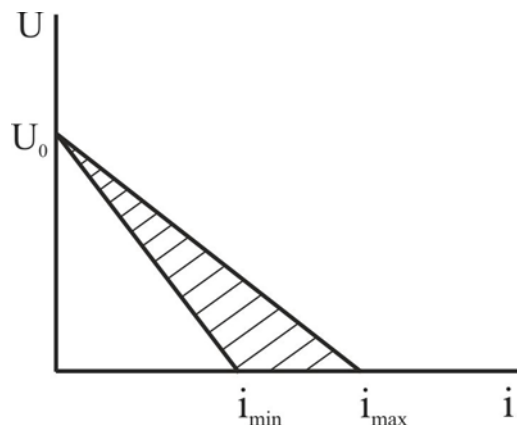


Рис. 1.22. - Регулювання форми зовнішньої характеристики джерела зміною внутрішнього опору джерела

На практиці в зварювальних джерелах зазвичай застосовують одночасно обидва способи регулювання (рис. 1.23), що дозволяє розширити межі регулювання зварювального струму. Такий спосіб застосовується для плавнo-ступінчастого регулювання режиму зварювання у більшості зварювальних трансформаторів, випрямлячів та генераторів.

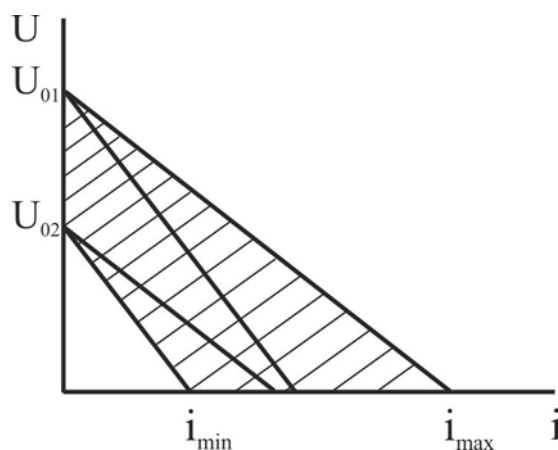


Рис. 1.23. - Комбінований спосіб регулювання режиму зварювання

1.3.2 Статична стійкість системи “джерело живлення – зварювальна дуга”

Зварювальна дуга не існує сама по собі, для її первинного та повторного збудження, а також стійкого горіння необхідне виконання ряду умов. В сукупності із джерелом живлення вона утворює динамічну систему. В ході технологічного процесу ця система піддається дії ряду збурюючих факторів: зміни довжини дуги, коливанням напруги мережі, швидкості подачі електроду та ін. Таким чином, постійно виникають стрибкоподібні або повільні зміни електричного режиму і перехідні процеси в електричному колі дуга–джерело живлення, що порушують рівноважний стан системи та призводять до погіршення якості зварювання. З цього випливає, що система повинна володіти стійкістю, під якою розуміють її здатність повертатись у вихідний стан після дії збурюючих факторів.

Згідно 2-го закону термодинаміки система буде стійкою, якщо за час спостереження зміна її внутрішньої енергії буде дорівнювати нулю:

$$dQ = P_{\text{п}} - P_{\text{в}} = 0$$

де dQ – зміна внутрішньої енергії;

$P_{\text{п}}$ – енергія, що поступає в систему;

$P_{\text{в}}$ – енергія, що витрачається системою.

З цього виразу випливає, що для забезпечення стійкості системи “джерело живлення – дуга” необхідно, щоб струм і напруга дуги дорівнювали струму і напрузі джерела:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{дж}} &= U_{\text{д}} = U_{\text{р}} \\ i_{\text{дж}} &= i_{\text{д}} = i_{\text{р}} \end{aligned} \right\} \quad (1.17)$$

де $U_{\text{р}}$ та $i_{\text{р}}$ – напруга та струм дуги, що відповідають її рівноважному стану.

Розглянемо цю умову на прикладі, наведеному на рис. 1.24, де показані спадаюча ділянка статичної вольт-амперної характеристики дуги $U(i)_{\text{д}}$, та падаюча зовнішня характеристика джерела $U(i)_{\text{дж}}$, які мають дві точки перетину, що відповідають режиму зварювання, при якому система має знаходитись в рівноважному стані.

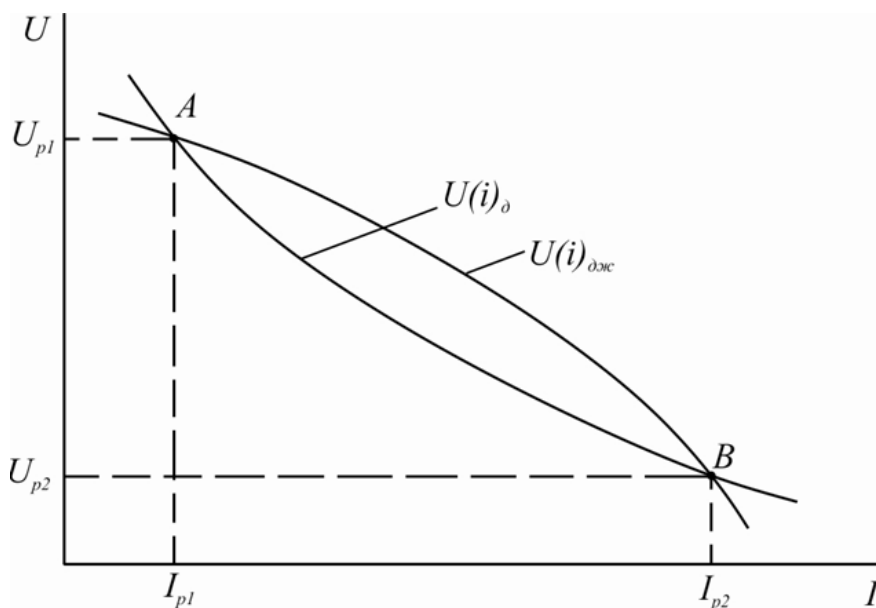


Рис. 1.24. - Статична характеристика дуги $U(i)_{\text{д}}$, та зовнішня характеристика джерела $U(i)_{\text{дж}}$; $U_{\text{р}}$, $i_{\text{р}}$ – рівноважний стан системи

Якщо при горіння дуги в т.А здійснюється зменшення струму, та для підтримання дугового розряду згідно ВАХ дуги, необхідна більш велика напруга. Її величина стає більшою, ніж може надати джерело живлення при цьому струмі. В зв'язку з цим здійснюється подальше самовільне зниження струму і дуга гасне. Тобто, в т.А дуга стабільно існувати не може. В т.В при

зниженні струму напруга джерела стає більшою, ніж це необхідно для горіння дуги згідно її ВАХ. Завдяки цьому здійснюється самовільне збільшення струму і процес повернеться у т.В.

Таким чином, система (1.17) відображає необхідну умову стійкості, але вона недостатня, оскільки цій умові задовільняють водночас т. А та т. В.

Розглянемо стан стійкої рівноваги в т. В. Умовою статичної рівноваги буде $dQ = 0$, або для зварювального кола:

$$U_{дж} \cdot i - U_d \cdot i - L \frac{di}{dt} = 0,$$

Звідки:

$$U_{дж} = U_d + L \frac{di}{dt} \quad (1.18)$$

де L – індуктивність зварювального кола.

Припустимо, що в деякий початковий момент часу $t=0$ струм отримає прирощення Δi (рис. 1.25)

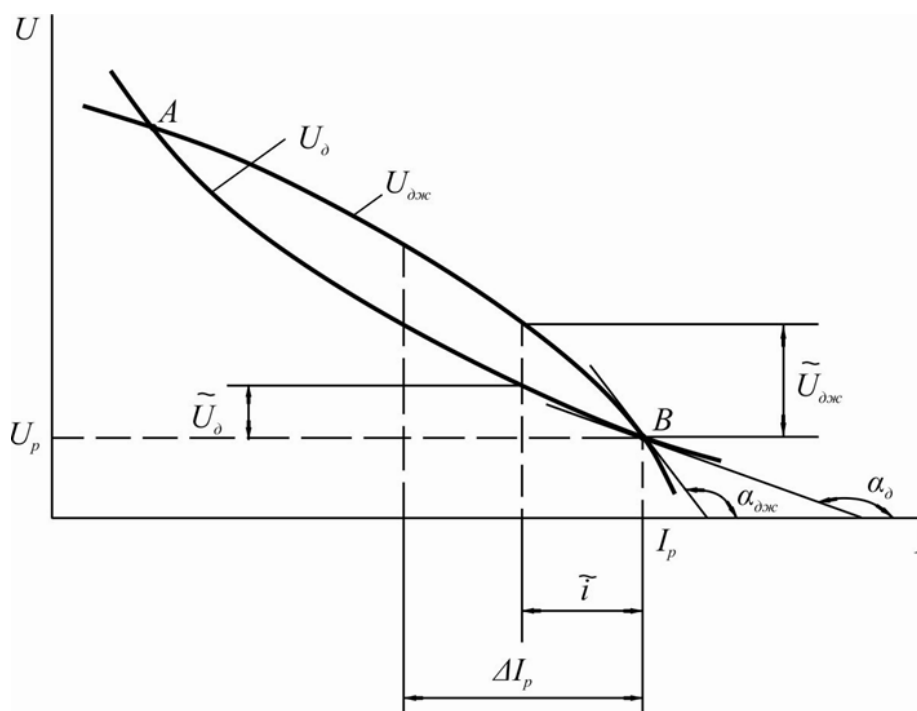


Рис. 1.25. - Аналіз стійкості системи “джерело живлення – зварювальна дуга” при зміні зварювального струму

В наступний момент часу $t > 0$ відхилення струму почне змінюватись в функції від часу. Поточні значення струму i та напруги позначимо \bar{i} та \bar{U} .

Тоді можливо записати:

$$\left. \begin{aligned} i &= i_p + \bar{i} \\ U_{дж} &= U_p + \bar{U}_{дж} \\ U_d &= U_p + \bar{U}_d \end{aligned} \right\} \quad (1.19)$$

Підставимо систему (1.19) у рівняння (1.18):

$$U_p + \bar{U}_{дж} = U_p + \bar{U}_d + L \frac{d(i_p + \bar{i})}{dt},$$

Звідки отримуємо:

$$\bar{U}_{дж} = \bar{U}_d + L \frac{d\bar{i}}{dt} \quad (1.20)$$

Рівняння (1.20) пов'язує відхилення струму дуги із відхиленням напруги дуги та джерела живлення. Якщо вважати, що ці відхилення від $t.B$ здійснилися на безмежно малій ділянці, то відрізки кривих на характеристиках дуги джерела живлення можливо замінити відрізками прямих – дотичних, проведених до цієї точки (здійснити лінеаризацію методом малих відхилень).

Для лінеаризованих характеристик можливо записати:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_{дж} &= \frac{\bar{U}_{дж}}{\bar{i}} = \frac{dU}{di} \\ \operatorname{tg} \alpha_d &= \frac{\bar{U}_d}{\bar{i}} = \frac{dU_d}{di} \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

Визначимо з системи (1.21) поточні значення струму та напруги і підставимо їх у рівняння (1.20), звідки отримаємо:

$$\left(\frac{dU_{\text{д}}}{di} - \frac{dU_{\text{дж}}}{di} \right) \cdot i = -L \frac{di}{dt} \quad (1.22)$$

Вираз у дужках в рівнянні (1.22) представляє собою коефіцієнт стійкості системи і позначається як:

$$K_c = \frac{dU_{\text{д}}}{di} - \frac{dU_{\text{дж}}}{di} \quad (1.23)$$

З урахуванням (1.23) рівняння виразу (1.22) приймає вигляд:

$$\dot{i} = \Delta i e - \frac{K_c}{L} \cdot t \quad (1.24)$$

Рівняння (1.24) представляє собою рівняння динаміки струму в системі “джерело живлення – дуга”. Система буде стійкою, якщо відхилення струму, що виникло в неї, з часом буде спрямовуватись до нуля ($t \rightarrow \infty, \dot{i} \rightarrow 0$). Для цього необхідно, щоб показник ступеня при експоненті був від’ємним. Оскільки індуктивність L завжди більше нуля, то другою і достатньою умовою стійкості системи “джерело живлення – дуга” є:

$$K_c = \frac{dU_{\text{д}}}{di} - \frac{dU_{\text{дж}}}{di} > 0$$

Для лінеаризованих характеристик цю умову можливо записати як:

$$\text{tg} \alpha_{\text{д}} - \text{tg} \alpha_{\text{дж}} > 0 \quad \text{або} \quad \alpha_{\text{д}} > \alpha_{\text{дж}}$$

Це графічна інтерпретація умови стійкості системи, яка відповідає т.В на рис. 1.25. Згідно цієї умови, якщо дуга має спадаючу вольт-амперну характеристику, то для забезпечення її стійкості необхідне джерело із круто спадаючою зовнішньою характеристикою. Для жорсткої ділянки характеристики дуги необхідне джерело із повільно- або крутоспадаючою

характеристикою. Для зростаючої ділянки характеристики дуги необхідне джерело із жорсткою або повільно спадаючою зовнішньою характеристикою (рис. 1.26).

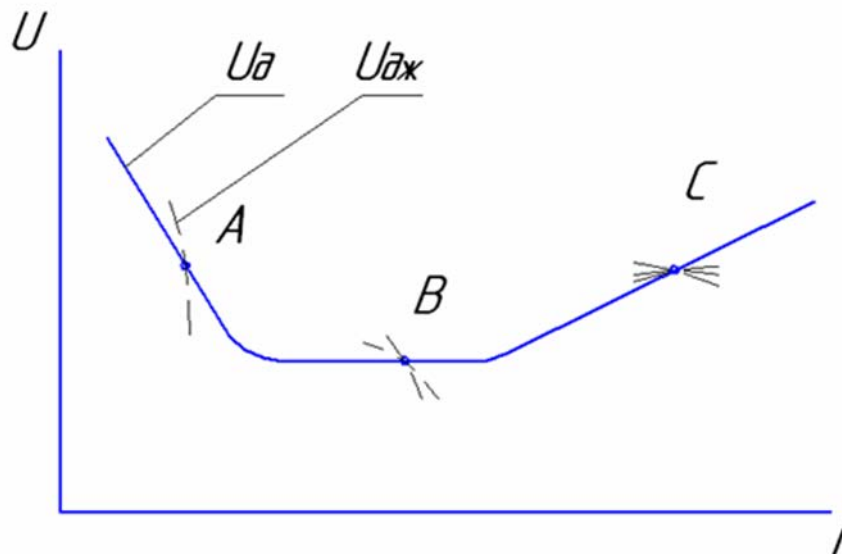


Рис. 1.26. - Вибір зовнішньої характеристики джерела живлення в залежності від виду статичної характеристики дуги

Таким чином, можливо констатувати, що для забезпечення стійкості системи “джерело живлення – дуга” необхідно, щоб при русі від точки перетину характеристик дуги та джерела у бік більших струмів, характеристика дуги розташовувалась вище характеристики джерела.

1.3.3 Стійкість системи “джерело живлення – дуга” при зміні довжини дуги

При дуговому зварюванні практично завжди має місце зміна довжина дуги. Це може спостерігатись при коливаннях руки зварювальника при ручному зварюванні, зміні рельєфу поверхонь деталей, нестабільній швидкості подачі дроту при автоматичному зварюванні та ін. Зміна довжини дуги супроводжується змінами струму, які можуть порушити стійкість горіння дуги. Тому однією з важливих вимог до системи “джерело живлення – дуга” є забезпечення так званої “еластичності” дуги, під якою розуміють можливість зміни довжини дуги в деяких межах без втрат її стійкості.

В загальному випадку падіння напруги на дузі є функцією її довжини і струму $U_d = f(l_d, i_d)$. Розглянемо випадок зміни довжини дуги при спадаючій

зовнішній характеристиці джерела та спадаючій статичній характеристиці дуги. Висновки, отримані при аналізі цієї системи справедливі і для інших видів вольт-амперних характеристик.

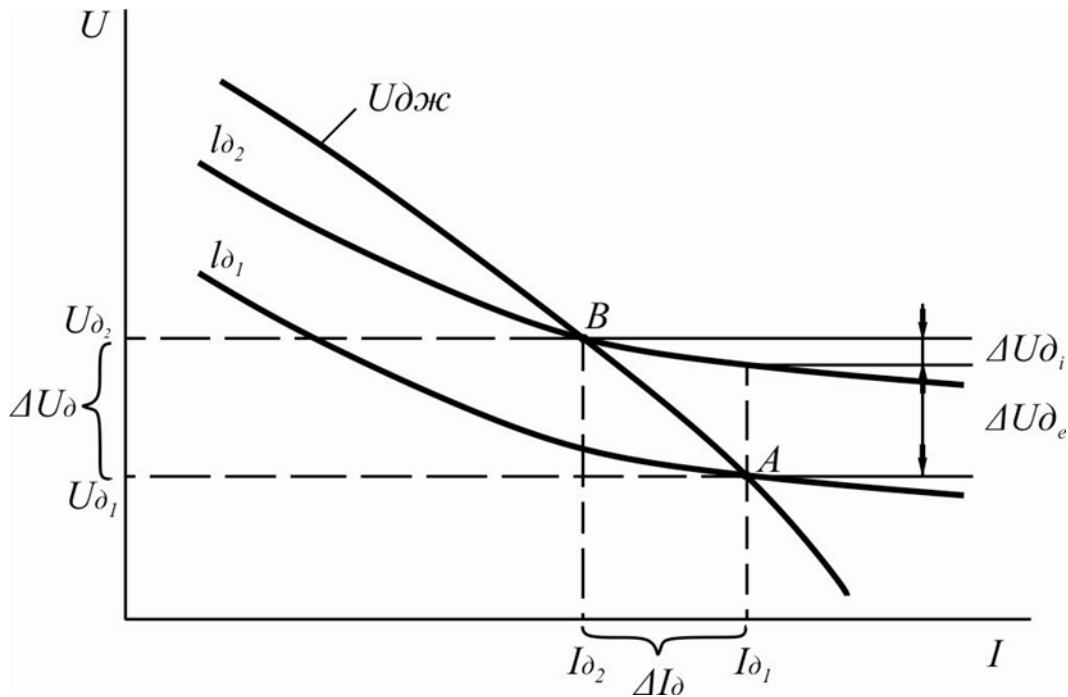


Рис. 1.27. - Аналіз системи “джерело живлення – дуга” при зміні довжини дуги

Припустимо, що в межах відхилень струму, що розглядаються, ділянки статичних характеристик дуги та джерела живлення прямолінійні. Тоді сумарне відхилення напруги дуги від зміни струму і довжини дуги буде дорівнювати (рис. 1.27):

$$\Delta U_{\partial} = \Delta U_{\partial l} + \Delta U_{\partial i} = \frac{dU_{\partial}}{dl} \Delta l_{\partial} + \frac{dU_{\partial}}{di} \Delta i_{\partial} \quad (1.25)$$

де $\Delta U_{\partial l}$ – зміна напруги дуги від зміни довжини дуги при $i_{\partial} = \text{const}$;

$\Delta U_{\partial i}$ – зміна напруги дуги від зміни струму при $l_{\partial} = \text{const}$.

Позначимо $\frac{dU_{\partial}}{dl} = K_{\partial}$ – градієнт потенціалу в стовпі дуги $\left[\frac{\text{В}}{\text{см}} \right]$.

K_{∂} показує, наскільки змінилась напруга дуги при зміні її довжини на одну одиницю вимірювання. Тоді рівняння (1.25) прийме вигляд:

$$\Delta U_{\partial} = K_{\partial} \Delta l_{\partial} + \frac{dU_{\partial}}{di} \Delta i_{\partial} \quad (1.26)$$

В стані стійкої рівноваги в системі “дуга – джерело живлення” виконується умова:

$$\Delta U_{\partial} = \Delta U_{\partial жк} + \frac{dU_{\partial жк}}{di} i_{\partial} \quad (1.27)$$

Підставимо (1.27) у (1.26) і отримаємо:

$$\left(\frac{dU_{\partial}}{di} - \frac{dU_{\partial жк}}{di} \right) \Delta i_{\partial} = -K_{\partial} \Delta l_{\partial}$$

Оскільки вираз у дужках представляє собою коефіцієнт стійкості системи K_c , то зміна струму в цій системі буде складати:

$$\Delta i_{\partial} = -\frac{K_{\partial}}{K_c} \Delta l_{\partial}$$

Аналіз останнього рівняння дозволяє зробити наступні висновки:

1. Оскільки за умов стійкості системи необхідно, щоб $K_c > 0$, то відхилення струму дуги та її довжини завжди будуть мати протилежний знак, тобто при збільшенні довжини дуги струм зменшується.

2. Абсолютна величина відхилення струму дуги Δi_{∂} зменшується при збільшенні коефіцієнту стійкості системи K_c , відповідно збільшується максимально припустима довжина дуги. Таким чином, еластичність дуги зростає із збільшенням коефіцієнту стійкості системи “джерело живлення - дуга”, який, в свою чергу, визначається формою вольт-амперних характеристик дуги та джерела (рис. 1.28).

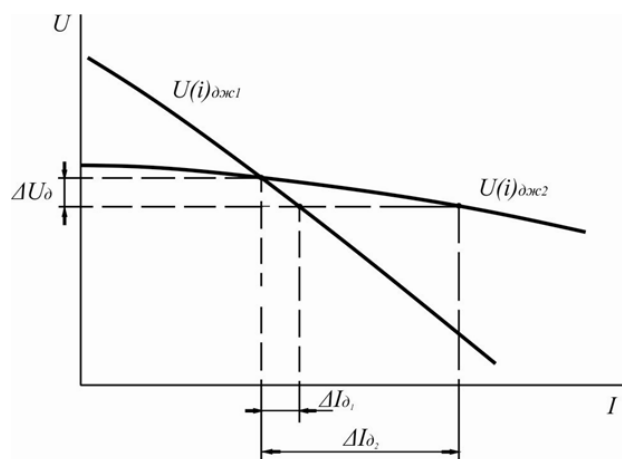


Рис. 1.28. - Зміна струму дуги ΔI_{∂} при коливаннях її довжини для джерел із круто- (1) та повільно спадаючою (2) зовнішньою характеристикою

1.3.4 Динамічні властивості джерел живлення зварювальної дуги

При зварюванні рідкий метал електроду у вигляді окремих крапель переноситься у зварювальну ванну і при достатньо короткій дузі періодично закорочує дуговий проміжок. В цей момент напруга дуги спадає майже до нуля, а зварювальний струм суттєво зростає. При відриві краплі від електроду струм спадає до нуля, а напруга зростає до напруги запалювання дуги. Оскільки дуга і джерело живлення складають єдину енергетичну систему, очевидно, що в цих умовах і джерело живлення повинно змінювати свою напругу від нуля до напруги холостого ходу. Швидкість утворення крапель достатньо значна ($10^2 \dots 10^3$ крапель за секунду), тому джерело живлення повинно швидко реагувати на всі зміни, що здійснюються у дузі. При змінах електричного опору дугового проміжку в процесі зварювання струм і напруга джерела приймають свої сталі значення не миттєво, а протягом деякого часу. Це викликано електромагнітною інерцією джерел. Здатність джерела швидко реагувати на зміни, що здійснюються у дузі, визначається його динамічними властивостями. Чим швидше відновлює джерело напругу після короткого замикання, чим вище його динамічні властивості. Високі динамічні властивості джерела забезпечують спокійний перенос металу з електроду у зварювальну ванну, зменшують розбризкування та покращують якість зварного з'єднання.

Оскільки динамічні властивості джерела живлення визначають характер і швидкість протікання перехідних процесів в системі джерело – дуга – ванна, що супроводжуються різкими змінами зварювального струму при переході від одного режиму в інший (при переході від холостого ходу до короткого замикання і навпаки), час, необхідний джерелу для переходу у відповідний режим не повинен перевищувати 0,05 с.

Питання для самоперевірки

1. Поняття та структура зварювальної дуги.
2. Статична та динамічна характеристики дуги.
3. Класифікація зварювальних дуг.
4. Причини нестабільності дуги змінного струму в колі з активним опором.
5. Роль індуктивного опору в колі дуги змінного струму.
6. Способи усунення постійної складової зварювального струму.
7. Поняття та принципи формування зовнішніх характеристик джерел живлення.
8. Способи формування зовнішніх характеристик джерел.
9. Умова статичної стійкості системи дуга–джерело живлення.
10. Засоби підвищення еластичності дуги.
11. Динамічні характеристики джерел живлення.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗВАРЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

2.1 Узагальнені вимоги до джерел живлення зварювальної дуги

Для отримання якісного зварного з'єднання джерело живлення дуги повинно володіти властивостями, що визначаються процесом зварювання, і водночас бути розрахованим на конкретні режими роботи, тобто на певне навантаження і певні умови експлуатації (температуру, вологість, просторове положення зварного шва), при яких його властивості проявляються найбільш ефективно. Таким чином, джерело живлення повинно задовольняти двом групам вимог: технологічним та техніко-економічним.

Технологічні вимоги визначаються технічними можливостями досягнення технологічних властивостей, які визначаються, в свою чергу, статичними та динамічними властивостями джерела, його здатністю підтримувати стійке горіння дуги і заданий режим зварювання. До цих вимог можливо віднести наступні:

– джерело живлення повинно забезпечувати напругу холостого ходу, достатню для впевненого запалювання і стійкого горіння дуги. Для джерел змінного струму ця напруга може досягати $U_{xx} \geq 80$ В, для джерел постійного струму $U_{xx} \geq 90$ В;

– джерело живлення повинно споживати від мережі відносно малі струми і утворювати у вторинному колі струми, що відповідають режиму зварювання;

– зовнішні характеристики джерела повинні відповідати обраному способу зварювання;

– джерело живлення повинно мати регулюючі пристрої, що дозволяють в широких межах змінювати величину зварювального струму та напруги холостого ходу;

– джерело живлення повинно мати добрі динамічні характеристики, тобто відновлювати робочу напругу після короткого замикання за час не більше 0,02...0,04 с;

– джерело живлення повинно забезпечувати без перегрівання тривалість циклу роботи не нижче 5 хв. при ручному дуговому зварюванні та не менше 10 хв. при механізованому;

– струм короткого замикання джерела не повинен перевищувати зварювальний струм більш, ніж на 40...50%. При цьому джерело живлення повинно витримувати тривалі короткі замикання зварювального кола.

До техніко-економічних показників джерел живлення відносять коефіцієнт корисної дії (к.к.д.), коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$), габаритні

розміри, масу (металоємність), відповідність вимогам безпеки, ергономічні показники.

2.2 Режими роботи зварювальних джерел живлення

Джерело живлення для зварювання, як і будь – яка електротехнічна установка, розраховується на певне навантаження, при якому він працює без перегрівання вище встановлених норм, тобто розраховується за нагрівом на певний режим роботи, що визначається характером зміни навантаження у часі.

При експлуатації джерела живлення здійснюється нагрівання його обмоток, феромагнітного осердя та деяких конструктивних елементів. Більшому нагріванню піддаються вузли джерела, що знаходяться всередині конструкції. Водночас теплота віддається вузлами джерела навколишньому середовищу.

Під перегрівом розуміють перевищення температури джерела живлення над температурою навколишнього середовища. Експлуатаційна надійність джерел у вирішальній мірі визначається нагрівостійкістю електроізоляційних матеріалів, під якою розуміється їх здатність тривало витримувати припустиму температуру та виконувати свої функції протягом усього періоду експлуатації. Електроізоляційні матеріали за гранично припустимою температурою нагріву поділяють на наступні класи: Y (90°), A (105°), E (120°), B (135°), F (155°), H (180°), C (більше 180°). Найбільш розповсюдженими класами нагрівостійкості є класи: B, E, F.

Після вмикання джерела живлення температура його вузлів підвищується і температура перегріву зростає, поки не досягне деякого сталого значення. При цьому значенні кількість теплоти, що віддається в навколишнє середовище за одиницю часу, дорівнює кількості теплоти, що виділяється у джерелі.

Теплові процеси характеризуються значною інерційністю, тому температура нагріву залежить не тільки від величини струму, але й від тривалості зварювального процесу.

За характером зміни навантаження у часі розрізняють наступні основні режими роботи джерел живлення для дугового зварювання: тривалий, повторно – короткочасний та такий, що перемежається.

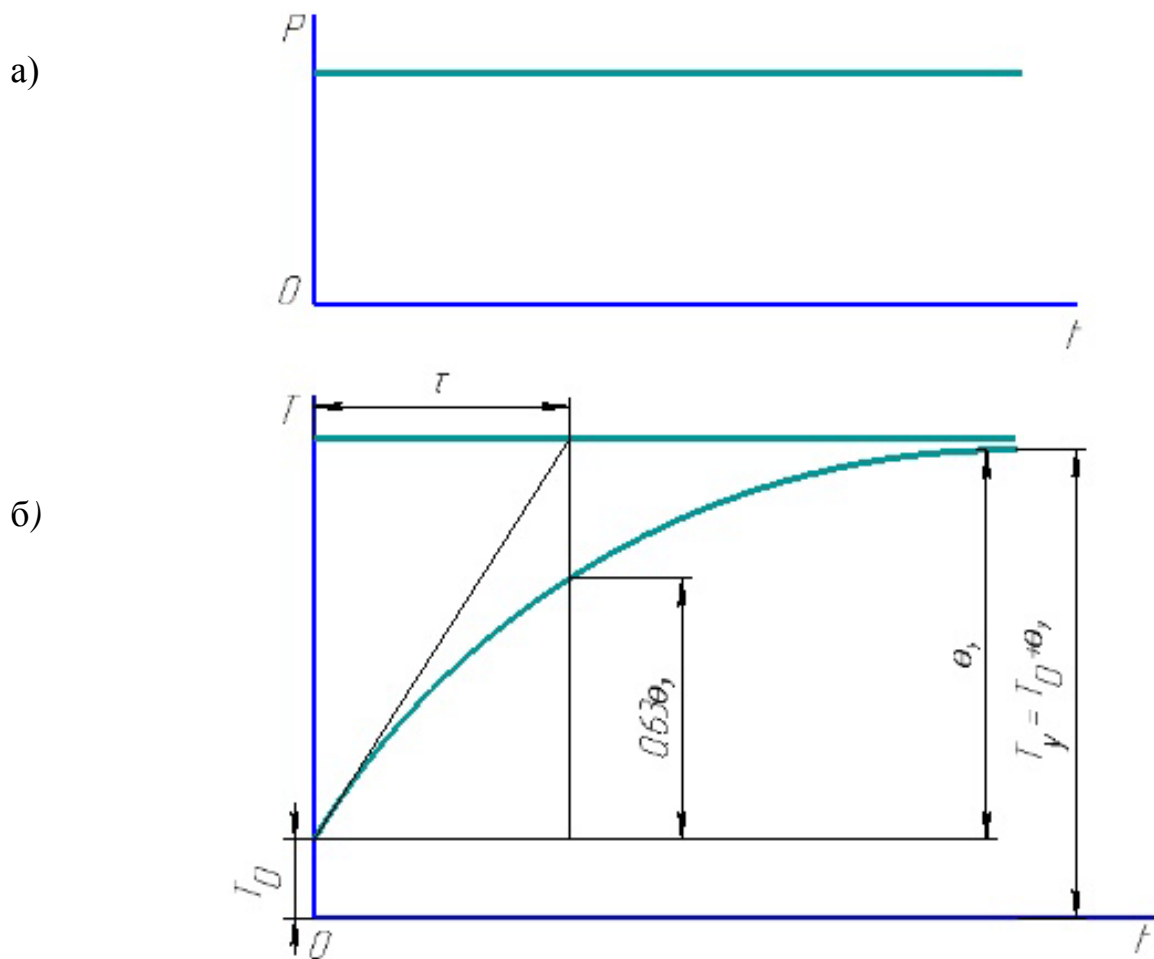
Тривалим зветься такий режим роботи джерела, при якому потужність навантаження не змінюється, а температура нагріву джерела із часом досягає

практично сталого значення, коли підвищення температури припиняється (рис. 2.1а, б).

При режимі, що перемежається, короточасні робочі періоди чергуються із періодами роботи джерела на холостому ході (рис. 2.1,в). В періоди паузи відключення джерел живлення не здійснюється і вони споживають у ці моменти від мережі певну потужність. В цьому випадку для оцінки роботи джерела застосовують характеристику, яка зветься тривалістю навантаження

$$ПН, \% = \frac{t_p}{t_p + t_{xx}} \cdot 100\% , \quad (1.28)$$

де t_p – час робочого періоду; t_{xx} – час паузи, що відповідає роботі джерела на холостому ході.



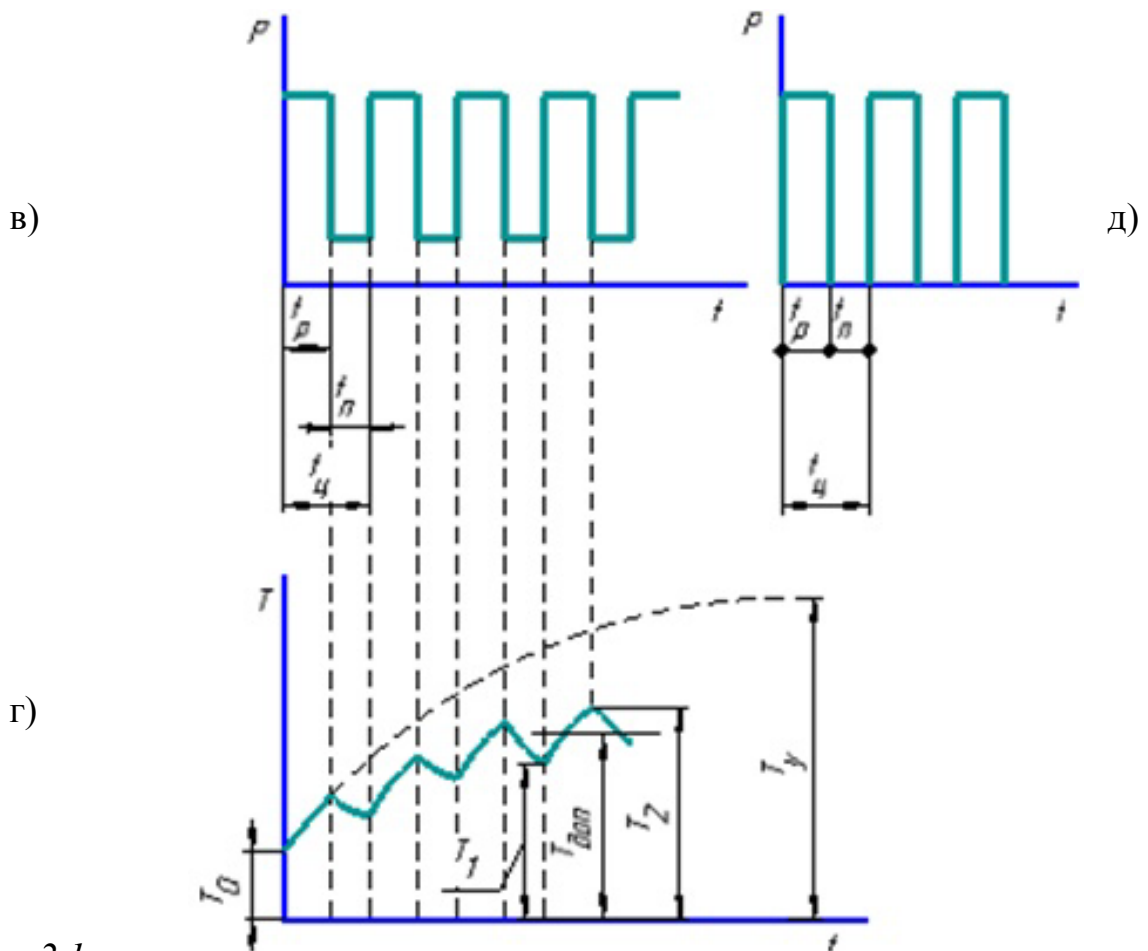


Рис. 2.1. -

Режими роботи джерел живлення

На цьому режимі за робочий період перевищення температури не встигає досягнути сталого значення, а за періоди паузи – температури навколишнього середовища (рис. 2.1,г).

Повторно-короткочасний режим роботи характеризується тим, що робочі періоди чергуються із періодами відключення силового кола джерела від мережі (рис. 2.1,д).

Повторно – короткочасний режим роботи прийнято характеризувати відносною тривалістю вмикання (%), яка визначається за формулою:

$$ПВ, \% = \frac{t_p}{t_p + t_n} \cdot 100\% = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\% \quad (1.29)$$

де t_p , t_n , $t_{\text{ц}}$ – час робочого періоду; час паузи та загальний час циклу.

Втрати холостого ходу в сучасних зварювальних джерелах нерозмірні із втратами в робочому режимі, тому між ПВ та ПН різниця практично відсутня.

Температура нагріву в повторно – короткочасних режимах та режимах, що перемежаються, не одразу досягає максимальних значень внаслідок помітної інерційності теплових процесів, тому тривалість циклу роботи джерел, призначених для ручного дугового зварювання, що мають періодичні режими роботи, прийнята рівною 5 хв., а джерел для механізованого зварювання та універсальних – 10 хв.

Припустима величина ПВ вказується в паспортах на електрозварювальне обладнання.

2.3 Єдина система позначень зварювальних джерел живлення

Зварювальне обладнання, що випускається вітчизняною промисловістю та промисловістю країн СНД, має єдину систему позначень, що описується структурою, наведеною на рис. 2.2.

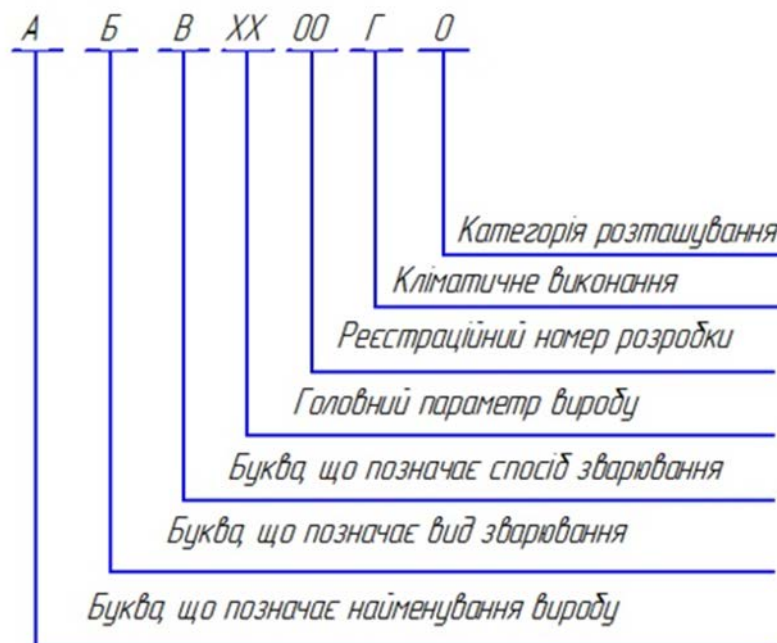


Рис. 2.2. - Структура позначень типів електрозварювальних джерел живлення

Літерні та цифрові позначення в наведеній структурі розшифровують наступним чином:

А – найменування виробу (А – агрегат, Т – трансформатор, В – випрямляч, П – перетворювач, Г – генератор, И – джерело живлення);

Б – вид зварювання (Д – дугове, П - плазмове);

В – спосіб зварювання (О – відкритою дугою, Ф – під флюсом, Г – в захисних газах). Відсутність букви означає ручне дугове зварювання. Додатково можуть застосовуватись букви: М – для багатопостового зварювання, И – імпульсного зварювання, Р – джерело для різання, У – універсальне джерело, Б – для зварювальних агрегатів із бензиновим двигуном, Д – із дизельним двигуном;

XX – номінальний струм у сотнях ампер;

00 – реєстраційний номер розробки (від 01 до 99);

Г – кліматичне виконання (У – для помірного клімату, Т – тропічного, ХЛ – холодного клімату);

0 – цифрове позначення категорії приміщення, для якого призначене обладнання (1 – відкрите повітря, 2 – палатки, криті причепа та кузови автомобілів, 3 – приміщення із природною вентиляцією без опалення, 4 – приміщення із примусовою вентиляцією та опаленням, 5 – приміщення із підвищеною вологістю).

Приклади позначень:

1. ТД – 301У2 – трансформатор зварювальний однопостовий для ручного дугового зварювання із номінальним струмом 300А, реєстраційний номер розробки 01, кліматичне виконання У, категорія розміщення 2.

2. ВДМ – 1001У3 – випрямляч багатопостовий для ручного дугового зварювання із номінальним струмом 1000А, реєстраційний номер розробки 01, кліматичне виконання У, категорія розміщення 3.

2.4 Класифікація зварювальних джерел живлення

В залежності від технічних та технологічних характеристик, галузі застосування та ряду інших ознак зварювальні джерела живлення класифікують наступним чином:

1) за родом струму – на джерела постійного та змінного струму;

2) за формою зовнішніх характеристик – на джерела із спадаючою, зростаючою, жорсткою та універсальною характеристиками;

3) за способом отримання енергії – на залежні та незалежні (автономні) джерела, що отримують енергію від стаціонарної електричної мережі або мають джерелом енергії двигун внутрішнього згорання, агрегований із джерелом живлення дуги;

4) за кількістю постів, що обслуговуються – на одно– та багатопостові джерела;

5) за режимом роботи – на джерела із повторно – короткочасним режимом роботи без відключення джерела від мережі під час перерв у горінні дуги, та з повторно – короткочасним режимом роботи із відключенням від мережі;

б) за застосуванням – на загально промислові та спеціалізовані. До загально промислових відносять джерела для ручного дугового зварювання та механізованого зварювання під флюсом та у CO_2 . Ці джерела призначені для зварювання низьковуглецевих та низьколегованих сталей помітної товщини (більше 1 мм) і мають відносно просту конструкцію та електричну схему.

До спеціалізованих відносять джерела, призначені для зварювання легких металів та сплавів, високолегованих сталей, тонких та особливо тонких металів. Ці джерела за електричною схемою та конструкцією значно складніше загально промислових.

Питання для самоперевірки

1. Технологічні вимоги до джерел живлення дуги.
2. Техніко-економічні вимоги до зварювальних джерел живлення.
3. Чим розрізняються режими роботи зварювальних джерел.
4. Призначення загально-промислових та спеціалізованих джерел живлення.

3 ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

3.1 Загальні відомості

Основним видом джерел живлення дуги змінного струму є зварювальні трансформатори. Взагалі трансформатор – це електричний апарат, призначений для перетворення однієї змінної напруги в іншу змінну напругу тієї ж частоти. Зварювальний трансформатор розподіляє силову мережу та зварювальне коло, понижує напругу мережі до напруги, необхідної для зварювання, забезпечує формування необхідної зовнішньої характеристики та регулювання зварювального струму.

Зварювальні трансформатори належать до спеціального виду силових понижуючих трансформаторів. Вторинна напруга трансформатора при холостому ході повинна забезпечувати надійне повторне запалювання і стійке горіння дуги. Зовнішні характеристики зварювальних трансформаторів, як правило, падаючі.

Існують два принципово відмінних шляхи створення таких джерел. Перший – на основі трансформатора T із жорсткою зовнішньою характеристикою. Падаюча характеристика джерела забезпечується в цьому випадку додатковим вмиканням в коло дуги котушки із феромагнітним осердям – дроселя L , що володіє значним індуктивним опором (рис. 3.1,а).

Другий – на основі трансформатора із падаючою зовнішньою характеристикою, яка забезпечується створенням різними способами підсилених (збільшених) магнітних полів розсіювання (тобто збільшеного індуктивного опору) самого трансформатора (рис. 3.1,б).

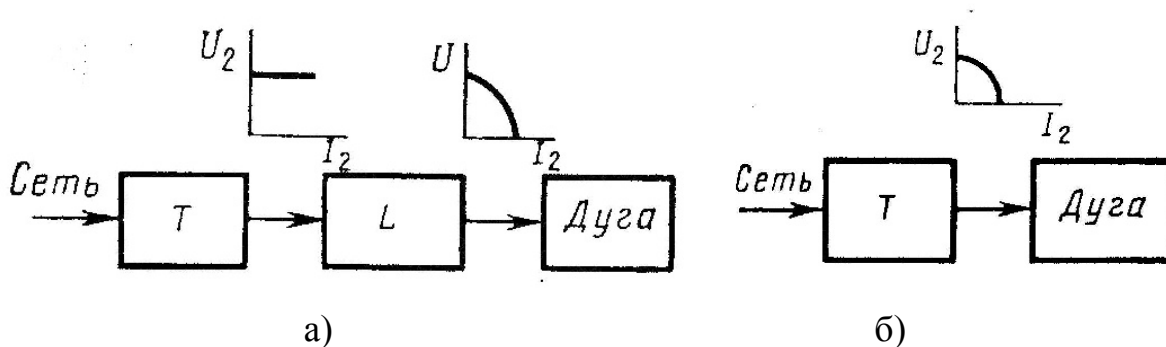


Рис. 3.1. - Функціональні блок-схеми способів створення падаючих зовнішніх характеристик $U=f(I_2)$ зварювальних трансформаторів

Конструкції зварювальних трансформаторів різноманітні. В залежності від способу формування зовнішніх характеристик і регулювання режиму зварювання розрізняють трансформатори із механічним та електричним регулюванням. До першої групи входять трансформатори, пов'язані із застосуванням рухомих обмоток та частин магнітопроводу, до другої – трансформатори із підмагнічуванням магнітопроводу постійним струмом та тиристорним регулюванням. В обох групах зварювальних трансформаторів повинна бути забезпечена можливість регулювання в широких межах зовнішніх характеристик, що необхідно для налагодження режимів зварювання.

Для ручного дугового зварювання застосовують трансформатори із механічним регулюванням. Діапазон номінальних струмів при РДЗ складає 125...300 А.

Для механізованого зварювання під шаром флюсу застосовують тільки трансформатори із електричним регулюванням, що дозволяють забезпечувати стабілізацію режиму зварювання та його дистанційне регулювання. Виконуються на зварювальні струми до 2000 А.

У трансформаторах для РДЗ робоча напруга U_2 і зварювальний струм i_2 пов'язані співвідношенням:

$$U_2 = 20 + 0,04 i_2$$

У трансформаторах для зварювання під флюсом на струмах до 1000 А:

$$U_2 = 19 + 0,0037 i_2$$

та

$$U_2 = 13 + 0,0315 i_2 \quad \text{на струмах до 2000 А.}$$

3.2 Елементи теорії трансформаторів

Трансформатор складається з двох або більше електрично не пов'язаних між собою обмоток, розташованих на замкненому сталевому магнітопроводі. Для зменшення витрат на вихрові струми магнітопроводи виготовляються з листової електротехнічної сталі товщиною 0,35 та 0,5 мм.

За характером будови магнітного кола розрізняють трансформатори броньового та стержньового типу, а за конструкцією обмоток – трансформатори із циліндричними та дисковими обмотками. Зварювальні

трансформатори мають, як правило, стержньовий тип осердя. Осердя броньового типу мають, в основному, трифазні трансформатори.

В трансформаторах із циліндричними обмотками (рис. 3.2,а) первинна і вторинна обмотки намотуються концентрично одна поверх іншої, у трансформаторах із дисковими обмотками первинна та вторинна обмотки звичайно рознесені одна відносно іншої на стержнях магнітопровода (рис. 3.2,б).

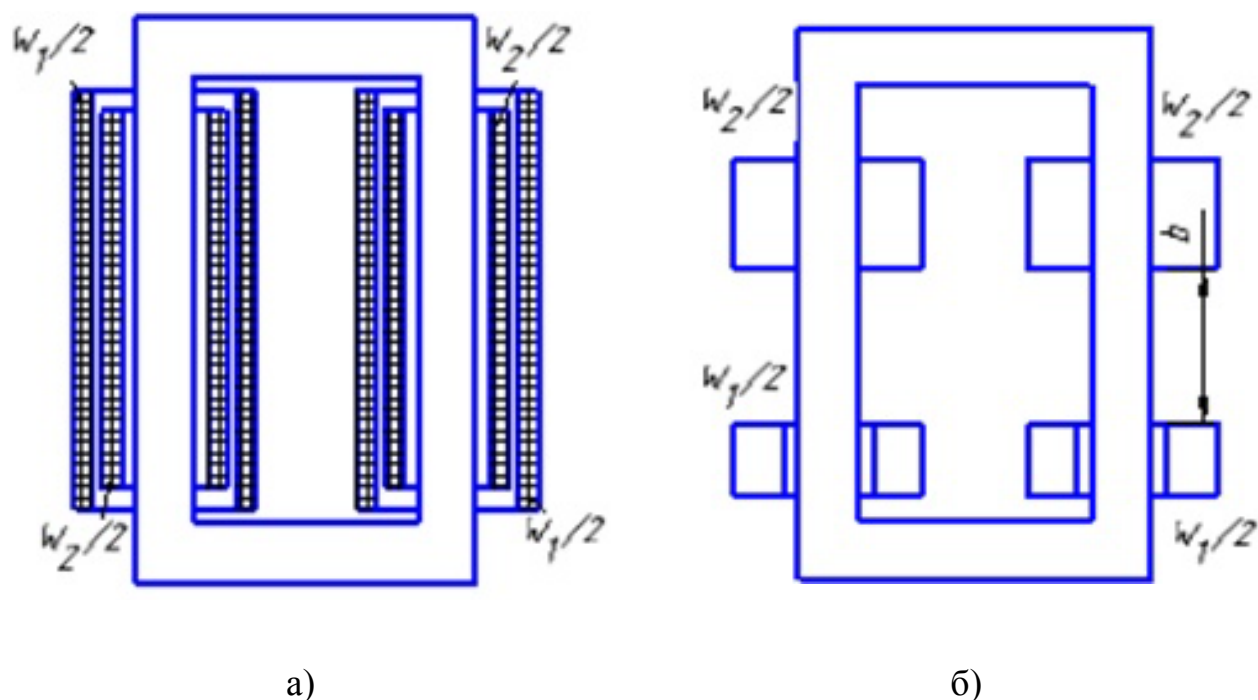


Рис. 3.2. - Конструктивні схеми силових трансформаторів

Якщо на холостому ході, коли вторинна обмотка розімкнена, до первинної обмотки прикласти змінну напругу, по ній почне протікати струм холостого ходу i_0 . Намагнічуюча сила первинної обмотки $\dot{i}_0 \cdot W_1$ (де w_1 - кількість витків первинної обмотки) створює в осерді основний магнітний потік Φ_0 (рис. 3.3). Цей потік за законом електромагнітної індукції наводить у первинній і вторинній обмотках е.р.с. E_1 та E_2 :

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_1 &= - W_1 \frac{d\hat{O}_0}{dt} \\ \dot{A}_2 &= - W_2 \frac{d\hat{O}_0}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

При синусоподібній зміні основного магнітного потоку е.р.с. E_1 та E_2 можуть бути знайдені у відповідності із (3.1) наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_1 &= -W_1 \frac{d(\hat{O}_m \sin \omega t)}{dt} = -\omega W_1 \hat{O}_m \cos \omega t = 2\pi f W_1 \hat{O}_m \sin(\omega t - 90^\circ) \\ \dot{A}_2 &= -W_2 \frac{d(\hat{O}_m \sin \omega t)}{dt} = -\omega W_2 \hat{O}_m \cos \omega t = 2\pi f W_2 \hat{O}_m \sin(\omega t - 90^\circ) \end{aligned} \right\} 3.2)$$

де $\omega = 2\pi f$ - колова частота змінної напруги;
 f - частота струму електричної мережі;

Отримані рівняння свідчать, що е.р.с. відстають за фазою від основного потоку, що їх викликав, на кут 90° , а діючі їх значення будуть дорівнювати:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \frac{2\pi}{\sqrt{2}} W_1 f \Phi_m = 4.44 W_1 f \Phi_m \\ E_2 &= \frac{2\pi}{\sqrt{2}} W_2 f \Phi_m = 4.44 W_2 f \Phi_m \end{aligned} \right\} (3.3)$$

Ці рівняння характеризують роботу “ідеального” трансформатора. В реальних трансформаторах частина магнітного потоку, створеного первинною обмоткою, замикається окрім осердя у повітряному зазорі між котушками, утворюючи потік розсіювання Φ_p (рис. 3.3)

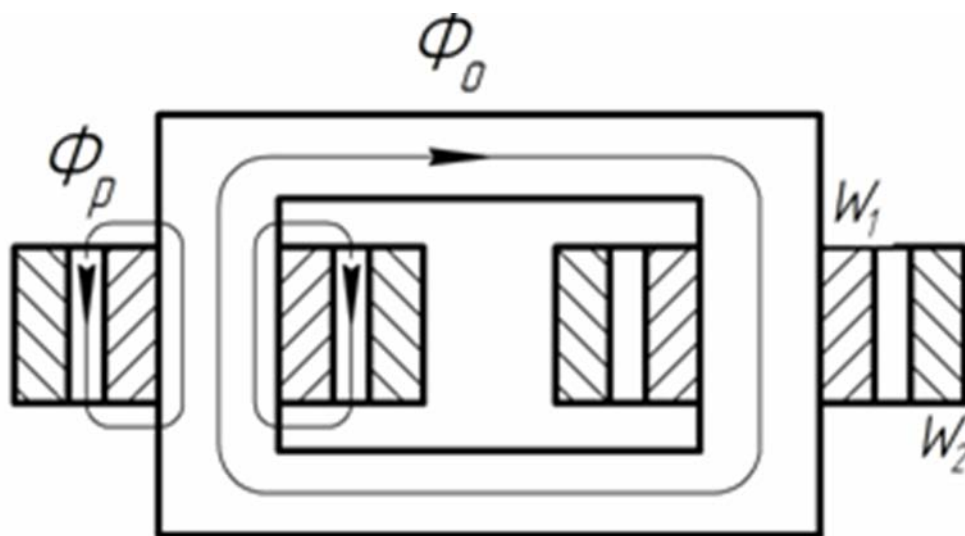


Рис. 3.3. - Розподіл магнітних потоків в ненавантаженому трансформаторі

Повний магнітний потік в магнітопроводі трансформатора в цьому випадку буде складати:

$$\Phi_{оп} = \Phi_o + \Phi_p \quad (3.4)$$

Ступінь розсіювання магнітних потоків залежить від конструктивного виконання обмоток і оцінюється коефіцієнтом магнітного зв'язку:

$$K_m = \Phi_o / (\Phi_o + \Phi_p) \quad (3.5)$$

Якщо цей коефіцієнт наближається до одиниці ($K_m \approx 1$), коли розсіювання практично відсутнє, то такий трансформатор називають трансформатором із нормальним магнітним розсіюванням.

Коефіцієнт магнітного зв'язку, менший одиниці $K_m < 1$ (при $\Phi_p \neq 0$) характеризує трансформатор із збільшеним розсіюванням.

Потік розсіювання, прямо пропорційний первинному струму, співпадає із ним за фазою та індукує в первинній обмотці е.р.с. розсіювання E_p :

$$E_p = 4.44 W_1 f \Phi_p \quad (3.6)$$

Для реального трансформатора із урахуванням (2.3), (2.4), (2.5), (2.6) можливо записати:

$$E_1 = 4.44 W_1 f \Phi_{оп} K_m$$

$$E_2 = 4.44 W_2 f \Phi_{оп} K_m$$

$$E_p = 4.44 W_1 f \Phi_{оп} (1 - K_m)$$

Співвідношення $n = E_1/E_2 = W_1/W_2$ відіграє важливу роль при аналізі процесів і має назву коефіцієнта трансформації. При холостому ході падіння напруги у первинній обмотці мало, тому е.р.с. E_1 практично дорівнює напрузі U_1 , тобто для "ідеального" трансформатора $U_1 = E_1$, $U_2 = E_2$ і коефіцієнт трансформації:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

Для реального трансформатора:

$$U_1 = E_1 + E_p$$
$$U_2 = E_2$$

і згідно (3.7) коефіцієнт трансформації такого трансформатора складає:

$$n = \frac{W_1}{K_m W_2}$$

і визначається конструктивними особливостями його обмоток.

3.3 Схема заміщення трансформатора

В реальному трансформаторі індуктивність розсіювання вважають ввімкненою послідовно у зварювальне коло у вигляді еквівалентної реактивної котушки (дроселя). Аналіз цієї схеми (рис. 3.4) утруднений необхідністю водночас розглядати електричні та магнітні процеси.

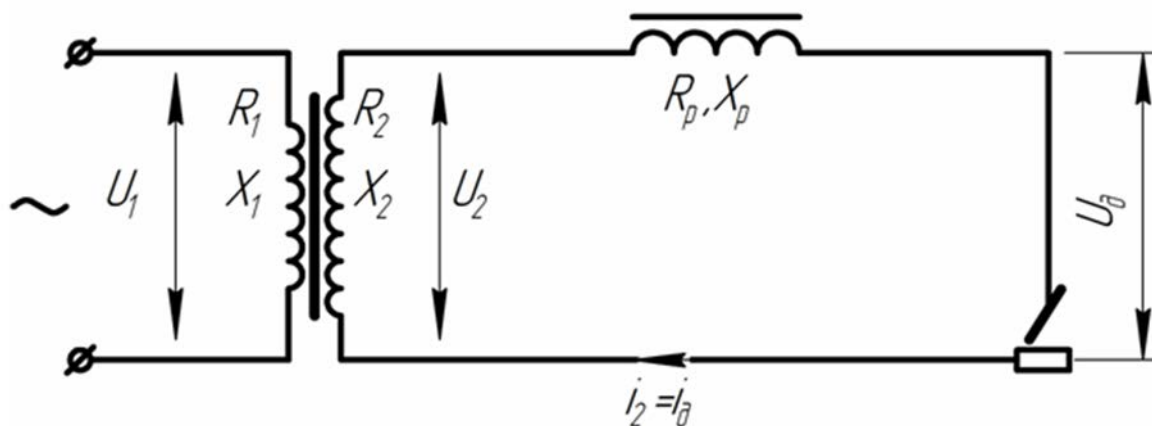


Рис. 3.4. - Електрична схема реального трансформатора в режимі навантаження

Зручніше розглядати роботу трансформатора за допомогою схеми заміщення. В такій схемі магнітний зв'язок між колами первинної та вторинної обмоток трансформатора замінюється електричним. така заміна припустима, якщо схема заміщення буде еквівалентною дійсному трансформатору, тобто

якщо потужність, що споживається, та корисна потужність, коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності, зсув фаз, знайдені за схемою заміщення, будуть дорівнювати дійсним величинам в реальному трансформаторі.

Для виконання умов еквівалентності необхідно здійснити приведення всіх параметрів однієї з обмоток до іншої. В зварювальних трансформаторах вторинна обмотка визначає режим зварювання, тому здійснимо приведення параметрів первинної обмотки до вторинної. Приведені параметри позначимо тими ж самими буквами, що і на рис. 3.4, але зі штрихом U_1', R_1' і т.д. (рис. 3.5).

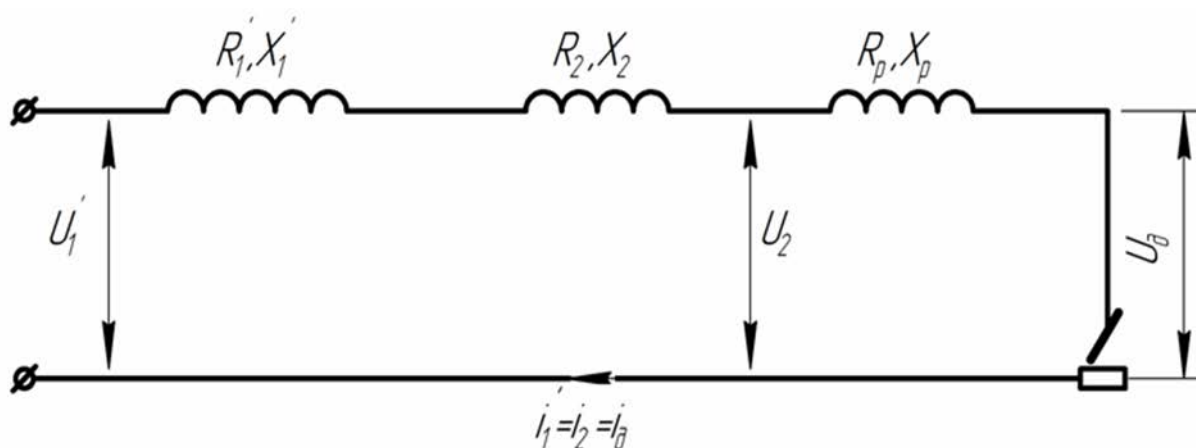


Рис. 3.5. - Схема заміщення трансформатора

Для виконання умов приведення всі приведені первинні величини повинні бути визначені через відповідні дійсні первинні величини.

Оскільки усі елементи схеми з'єднані послідовно і через них протікає однаковий струм, то:

$$i_1' = i_2 = ni_1, \text{ де } n = \frac{W_1}{W_2} - \text{коефіцієнт трансформації}$$

Із умови рівності витрат потужності на активних опорах у дійсному трансформаторі і схемі заміщення можливо записати:

$$(i_1')^2 R_1 = i_1^2 R_1$$

Звідки знаходимо:

$$R'_1 = \frac{R_1}{n_2}$$

Із умови рівності повних потужностей дійсного та приведеного первинного кола $U'_1 i'_1 = U_1 i_1$ знаходимо приведену напругу первинної обмотки:

$$U'_1 = \frac{U_1}{n} = U_{20}$$

де U_{20} - напруга холостого ходу вторинної обмотки трансформатора.

Рівняння залежності вторинної напруги від струму навантаження буде мати вигляд (згідно рис. 3.4):

$$U_2 = U'_1 - i_2 \left[(R'_1 + R_2) + j(x'_1 + x_2) \right] \quad (3.8)$$

Для напруги, також згідно рис. 3.4, рівняння прийме вигляд:

$$U_d = U'_1 - i_d \left[(R'_1 + R_2 + R_p) + j(x'_1 + x_2 + x_p) \right] \quad (3.9)$$

У рівнянні (3.9) можливо виділити окремо величини, що відносяться до обмоток самого трансформатора (R'_1, R_2, x'_1, x_2) та реактивної котушки в колі дуги (R_p, X_p) і записати рівняння (3.9) у вигляді:

$$U_d = U_{20} - i_d \left[(R_T + R_p) + j(x_T + x_p) \right] \quad (3.10)$$

де R_T та x_T – активний та реактивний опір трансформатора, сума яких складає повний еквівалентний (приведений) опір трансформатора $Z_{екв}$. Тоді:

$$U_d = U_{20} - i_d \cdot Z_{екв} \quad (3.11)$$

Це рівняння зовнішньої характеристики зварювального трансформатора. Воно відповідає джерелу живлення у загальному вигляді, тому схема заміщення може бути вихідною для обґрунтування принципу дії і методів налагодження режиму зварювального трансформатора.

Використовуючи основне рівняння зовнішньої характеристики трансформатора (3.11) розглянемо його роботу в режимі навантаження та короткого замикання.

Як вже відмічалось, зовнішня характеристика зварювального трансформатора, як правило, повинна бути падаючою. Згідно рівняння (3.11) падаюча характеристика джерела досягається за рахунок падіння напруги на повному опорі трансформатора $Z_{\text{екв}} = (R_T + R_p) + j(x_T + x_p)$.

Оскільки активні опори R_T та R_p відносно незначні у порівнянні з індуктивними опорами можливо прийняти $Z_{\text{екв}} \approx j(x_T + x_p)$. З урахуванням цього припущення можливо представити спрощену векторну діаграму навантаженого зварювального трансформатора у вигляді (рис. 3.6):

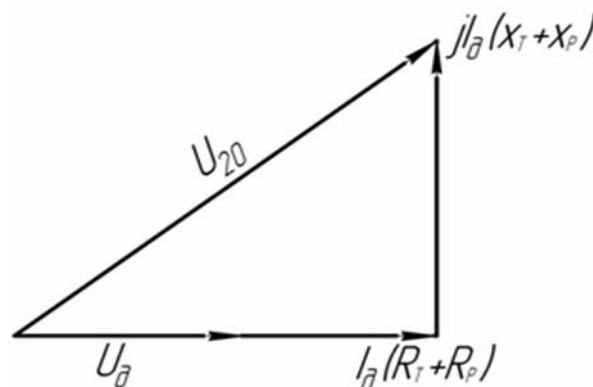


Рис. 3.6. - Спрощена векторна діаграма зварювального трансформатора в режимі навантаження

З представленої векторної діаграми можливо отримати основне рівняння роботи трансформатора:

$$U_{\ddot{a}} = U_{\ddot{a}\ddot{x}} = \sqrt{U_{20}^2 - i_{\ddot{a}}^2 (\tilde{\delta}_{\delta} + \tilde{\delta}_{\delta})^2} \quad (3.12)$$

З рівняння (3.12) випливає, що падаюча характеристика зварювального трансформатора може визначатись або падінням напруги на індуктивному опорі обмоток трансформатора x_T , або падінням напруги на індуктивному опорі окремої реактивної обмотки x_p . Перший випадок має місце у трансформаторах із штучно збільшеним магнітним розсіюванням, коли x_T має помітну величину, а x_p наближається до нуля (реактивна обмотка відсутня). У

другому випадку, який відповідає трансформаторам із нормальним магнітним розсіюванням, індуктивний опір обмоток x_T наближається до нуля завдяки конструктивним особливостям їх виконання, а падаюча зовнішня характеристика створюється за рахунок падіння напруги на значному індуктивному опорі x_p реактивної обмотки (дроселя).

В режимі короткого замикання, коли напруга на дузі $U_d \approx 0$, струм короткого замикання буде складати:

$$i_{кз} = \frac{U_{20}}{x_T + x_p}$$

Звідси, струм короткого замикання зварювального трансформатора залежить, в основному, від напруги холостого ходу джерела і обмежується величиною індуктивних опорів x_T та x_p .

3.4 Класифікація електромагнітних схем зварювальних трансформаторів

Електромагнітна схема характеризує конструкцію трансформатора, взаємне розташування обмоток та схему їх вмикання. За вказаними ознаками розрізняють дві електромагнітні схеми зварювальних трансформаторів:

- 1) трансформатори із нормальним магнітним розсіюванням та додатковою реактивною котушкою – дроселем;
- 2) трансформатори із збільшеним магнітним розсіюванням.

В свою чергу, до першої групи входять наступні типи трансформаторів:

а) трансформатори із нормальним магнітним розсіюванням та окремою реактивною котушкою у двохкорпусному виконанні (рис. 3.7). Реактивна котушка (дросель), має окреме осердя і розташовується в окремому корпусі. Між обмотками трансформатора та дроселя існує тільки електричний зв'язок.

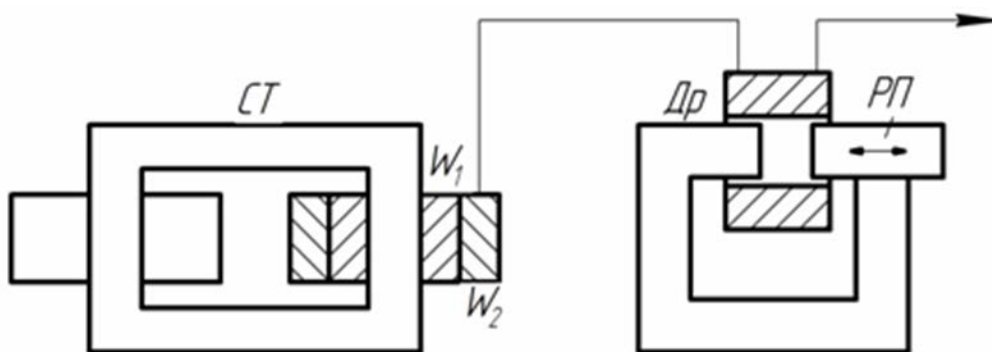


Рис. 3.7. - Зварювальний трансформатор із окремим дроселем

Дросель має незамкнене феромагнітне осердя. Регулювання режиму здійснюється зміною повітряного зазору δ в магнітопроводі дроселя.

б) трансформатори з нормальним магнітним розсіюванням в комбінації із реактивною котушкою в однокорпусному виконанні (рис. 3.8).

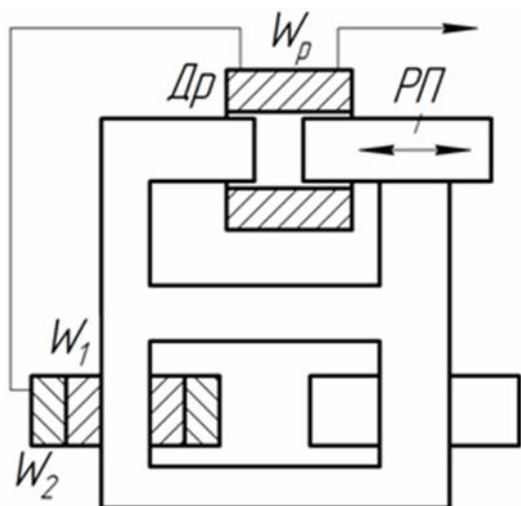


Рис. 3.8. - Конструкція трансформатора із дроселем у однокорпусному виконанні

Трансформатор має спільний магнітопровід із дроселем. Між обмотками трансформатора та дроселя існує не тільки електричний, але й магнітний зв'язок. Регулювання режиму також здійснюється за рахунок зміни повітряного зазору δ в осерді реактивної котушки.

Трансформатори другої групи із збільшеним розсіюванням виконуються в одному корпусі, а всі їх властивості обумовлені збільшеним індуктивним опором обмоток самого трансформатора. До цієї групи відносять:

а) трансформатори із збільшеним магнітним розсіюванням та рухомими магнітними шунтами (рис. 3.9)

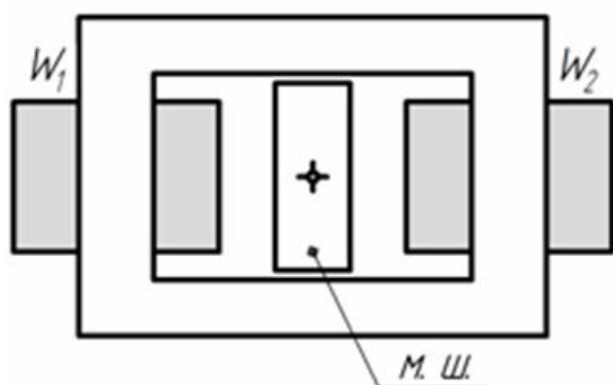


Рис. 3.9. - Схема трансформатора із рухомими магнітними шунтами

Трансформатори цього типу виконуються із нерухомими обмотками. Між обмотками розташовуються рухомі магнітні шунти, переміщенням яких

відносно магнітопроводу трансформатора змінюють ступінь розсіювання i , тим самим, здійснюють регулювання режиму.

б) трансформатори із збільшеним магнітним розсіюванням та нерухомим магнітним шунтом, що підмагнічується (рис. 3.10).

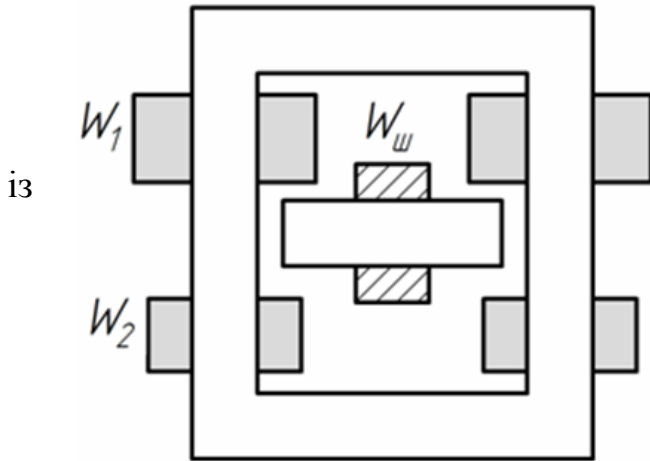


Рис. 3.10. - Схема трансформатора з нерухомим магнітним шунтом та обмоткою підмагнічування

Конструкція магнітної системи такого трансформатора аналогічна попередній. Відмінністю є те, що осердя магнітного шунта встановлюється нерухомо і на ньому розташовуються обмотки підмагнічування. Зміну величини магнітного розсіювання в магнітопроводі трансформатора i , відповідно, регулювання режиму здійснюють зміною струму в обмотках підмагнічування, тобто електричним способом.

в) трансформатори із збільшеним магнітним розсіюванням і рухомими обмотками (рис. 3.11).

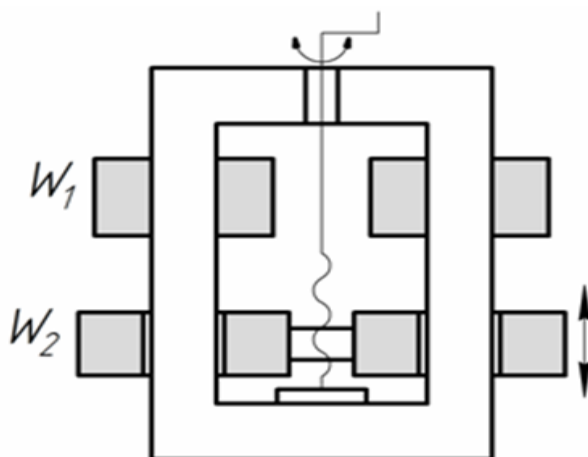


Рис. 3.11. - Схема трансформатора із рухомими обмотками

Одна з обмоток трансформатора виконується рухомою і може переміщуватись вздовж стержнів магнітопроводу. Регулювання режиму здійснюється зміною відстані між обмотками, в результаті чого змінюється розсіювання i , відповідно, індуктивний опір трансформатора.

3.5 Зварювальні трансформатори з механічним регулюванням

3.5.1 Трансформатори із нормальним магнітним розсіюванням та реактивними котушками у зварювальному колі

Джерела складаються із двох вузлів: трансформатора із жорсткою зовнішньою характеристикою T та дроселя $Др$ із феромагнітним осердям (рис. 3.7, 3.8).

Магнітопроводи трансформаторів із нормальним розсіюванням можуть мати будь – яку конструкцію: стержньову, броньову, тороїдальну. Найбільш поширено застосовується стержньовий тип осердя. Первинна і вторинна обмотки трансформатора розташовуються на обох стержнях осердя, причому вторинна обмотка намотується поверх первинної, що забезпечує мінімальні потоки розсіювання, коефіцієнт магнітного зв'язку між обмотками досягає максимальних значень $K_m \approx 1$.

За цією ознакою трансформатор, що працює спільно із дроселем, є звичайним понижуючим трансформатором із нормальним розсіюванням та жорсткою зовнішньою характеристикою.

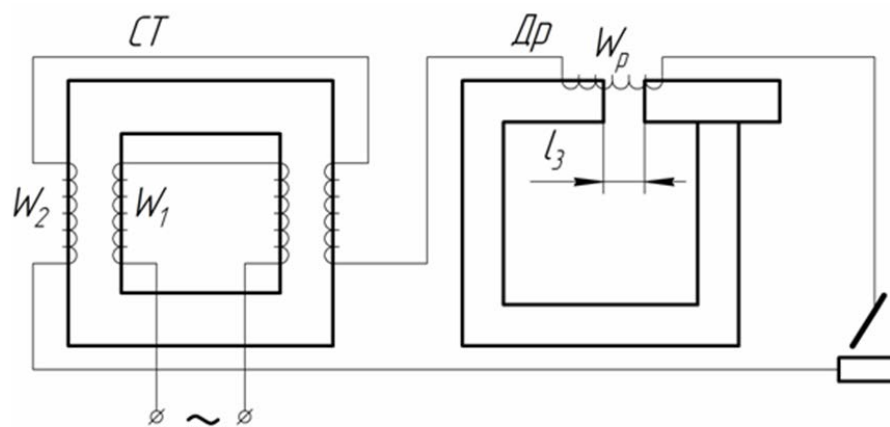


Рис. 3.12. - Функціональна схема джерела із додатковим окремим дроселем

Трансформатори із окремою реактивною обмоткою (дроселем). Основні зварювальні властивості джерела визначаються реактивними котушками (дроселями). Дросель формує падаючі зовнішні характеристики. За його допомогою здійснюється також налагодження режиму, тобто він є водночас і регулятором зварювального струму. Одним з різновидів цього типу джерел є зварювальні трансформатори у двохкорпусному виконанні із окремим розташуванням дроселя. Між обмотками трансформатора та осердя існує лише електричний зв'язок (рис. 3.12). В режимі холостого ходу напруга

на виході джерела складає $U_{20} = \frac{W_2}{W_1} \cdot U_1$, тобто визначається лише напругою холостого ходу трансформатора.

В режимі навантаження параметри зварювального кола в значній мірі визначаються характеристиками дроселя. Згідно із схемою заміщення та векторною діаграмою роботи трансформатора (рис. 3.5) напруга на виході джерела і на дузі:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{дж}} = \sqrt{U_{20}^2 - i_{\text{д}}^2 X_{\text{р}}^2},$$

звідки струм дуги:

$$i_{\text{д}} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{\text{д}}^2}}{X_{\text{р}}} \quad (3.13)$$

Згідно виразу 3.13, регулювання режиму в такій схемі джерела можливо здійснювати як за допомогою трансформатора, так і дроселя. однак, для регулювання струму за допомогою трансформатора необхідно в широких межах змінювати напругу його холостого ходу. Але при цьому напруга холостого ходу на першому ступені (малі струми) не повинна бути надто низькою, оскільки дуга буде нестійкою. Тому U_{20} на останньому ступені (великі струми) може виявитись занадто високою, що неприпустимо за вимогами техніки безпеки. Крім того, для забезпечення достатньо плавного регулювання струму необхідна значна кількість відводів від вторинної обмотки трансформатора, що ускладнює його конструкцію.

Найбільш поширена конструкція дроселя, що застосовується у зварювальній техніці, наведена на рис. 3.13. Осердя дроселя має повітряний зазор δ , що регулюється. Рухомий пакет РП осердя дроселя набраний, як і осердя трансформатора, з листів електротехнічної сталі, переміщується за допомогою рукоятки Р.

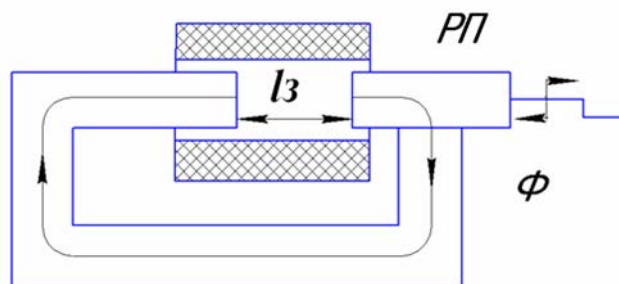


Рис. 3.13. - Конструкція дроселя із регульованим повітряним зазором

Особливість такої конструкції складається у принциповій можливості регулювання реактивного (індуктивного) опору, а, відповідно, і зварювального струму двома способами – зміною кількості витків у обмотці та зміною величини повітряного зазору.

Можливі способи налагодження режиму за допомогою дроселя впливають із залежності його індуктивного опору від цих характеристик, оскільки індуктивний опір обмотки дроселя із кількістю витків W та індуктивністю L :

$$X_p = \omega L = \frac{\omega W^2}{\delta / (\mu_0 S_M)} = \frac{\omega W^2}{R_\mu} \quad (3.14)$$

де $R_\mu = \delta / (\mu_0 S_M)$ - опір магнітному потоку (магнітний опір дроселя), що визначається величиною повітряного зазору в магнітопроводі дроселя δ , магнітний опір матеріалу осердя незначний.

$\omega = 2\pi f$ - колова частота;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м – магнітна стала;

S_M – площа поперечного перерізу осердя в зоні повітряного зазору.

Регулювання в дроселі за першим способом, незважаючи на більш високу надійність, обумовлену відсутністю механізму переміщення рухомого пакету, практичного застосування не знайшло. Це пов'язано із необхідністю значної кількості відводів на обмотці для плавного регулювання, неможливістю регулювання режиму під навантаженням та недостатнім застосуванням активних матеріалів дроселя при такому способі регулювання. Осердя дроселя розраховується по максимальному потоку (великі струми), тому при переході на менші струми осердя виявляється недовантаженим.

Практичне застосування знайшов другий спосіб регулювання, що здійснюється рухомим пакетом дроселя. Із збільшенням повітряного зазору δ індуктивний опір дроселя, згідно (3.14), зменшується і зварювальний струм зростає.

Для розширення технологічних властивостей джерела застосовують комбіноване регулювання, поєднуючи плавне переміщення рухомого пакету дроселя із двома ступенями регулювання напруги холостого ходу трансформатора.

Недоліком даного типу трансформаторів є вібрація рухомого пакету дроселя внаслідок дії електромагнітних сил, що намагаються зменшити повітряний зазор, а при певних умовах – відірвати рухомий пакет від

нерухомої частини осердя. Особливо помітно зміна зазору під дією цих сил спостерігається при незначній його величині, сумарній із амплітудою вібрацій. Це негативно впливає на стійкість процесу, особливо при низьких струмах дуги.

Окремо розташований дросель мають зварювальні трансформатори серії СТЭ, які на даний час зняті з виробництва, але ще знаходяться в експлуатації.

Трансформатори у комбінації із реактивною обмоткою (дроселем).

У трансформаторах серії СТН та ТСД дросель конструктивно суміщений із магнітопроводом трансформатора, внаслідок цього вони мають кращі масо – габаритні показники.

Магнітна система (рис. 3.14) складається із двох осердь – основного та допоміжного. На основному (нижня частина) розташовується первинна і вторинна обмотки трансформатора, на допоміжному (верхньому) розташована реактивна обмотка, що з'єднується послідовно із вторинною обмоткою трансформатора. Коефіцієнт магнітного зв'язку між обмотками трансформатора наближається до одиниці, оскільки вони розташовуються одна поверх іншої і магнітне розсіювання незначне. Магнітний зв'язок між обмотками трансформатора та реактивною обмоткою значно менший завдяки розташуванню її на допоміжному осерді та наявності у ньому повітряного зазору. тому основна частина магнітних потоків трансформатора замикається через середній спільний стержень (середнє ярмо), а незначна частина відгалужується у осердя реактивної обмотки, індукуючи е.р.с. розсіювання E_{po} .

В залежності від способу послідовного з'єднання реактивної обмотки із вторинною обмоткою трансформатора ця е.р.с. може співпадати за фазою та додаватись до е.р.с. вторинної обмотки, або буде спрямовуватись їй назустріч. У відповідності з цим розрізняють трансформатори із узгодженим або зустрічним вмиканням реактивної обмотки.

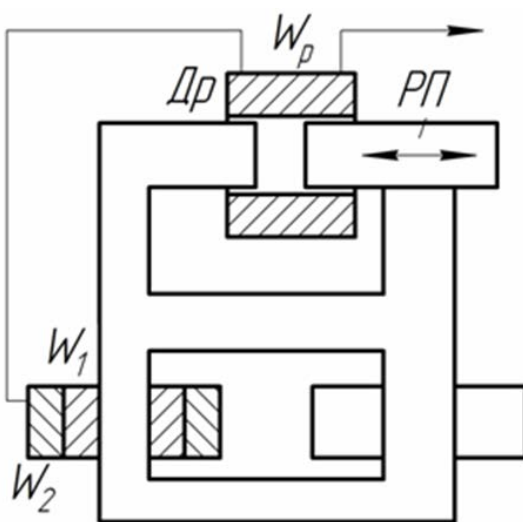


Рис. 3.14. - Конструкція зварювального трансформатора,

суміщеного із дроселем

При роботі в режимі холостого ходу витки первинної обмотки утворюють у нижньому (основному) осердді основний магнітний потік Φ_0 , який розповсюджується у магнітопроводі трансформатора, утворюючи потоки Φ_{c0} та Φ_{d0} , що замикаються відповідно, через середнє ядро та допоміжне осерддя (рис. 3.15). Не враховуючи можливі магнітні втрати можливо записати:

$$\Phi_0 = \Phi_{c0} + \Phi_{d0}$$

Коефіцієнт магнітного зв'язку між первинною та реактивною обмотками:

$$K_{13} = \frac{\Phi_{d0}}{\Phi_0}$$

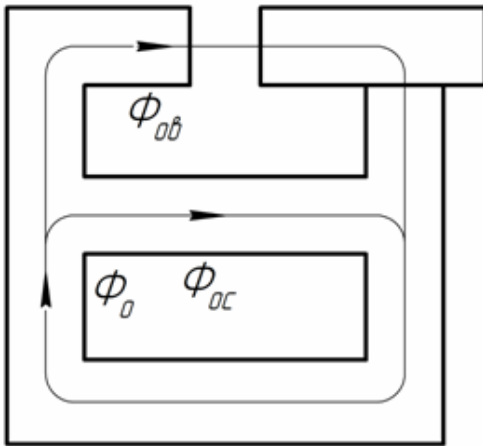


Рис. 3.15. - Розподіл магнітних потоків в магнітопроводі в режимі холостого ходу

Потоки Φ_{c0} та Φ_{d0} у розгалуженому магнітному колі будуть зворотно пропорційні магнітним опорам на шляху цих потоків:

$$\frac{\Phi_{c0}}{\Phi_{d0}} = \frac{R_{\mu d}}{R_{\mu c}}$$

Тоді

$$K_{13} = \frac{\Phi_{d0}}{\Phi_{c0} + \Phi_{d0}} = \frac{R_{\mu c}}{R_{\mu c} + R_{\mu d}}$$

Звідси випливає, що із збільшенням повітряного зазору в осердді реактивної обмотки, коли $R_{\mu d}$ збільшується, K_{13} буде зменшуватися.

Магнітні потоки Φ_o та $\Phi_{\partial o}$ індукують у вторинній та реактивній обмотках відповідно, е.р.с E_{20} та E_{p0} . В залежності від способу з'єднання цих обмоток – узгоджене або зустрічне, напруга на виході трансформатора буде дорівнювати:

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

При збільшенні повітряного зазору у дросельній частині трансформатора K_{13} зменшується, тому величина E_{p0} та її вплив на напругу холостого ходу трансформатора також зменшується.

При навантаженні обмотки трансформатора та реактивної обмотки (дроселя) будуть створювати власні магнітні потоки Φ_1 , Φ_2 та Φ_p . Потоки первинної та вторинної обмоток утворюють результуючий магнітний потік в осерді трансформатора:

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

Потоками розсіювання між первинною та вторинною обмотками можливо знехтувати, оскільки $K_{12} \approx 1$.

Розподіл магнітних потоків в осерді трансформатора залежить від способу з'єднання вторинної та реактивної обмоток (рис. 3.16).

Потік Φ_T (рис. 3.16) замикається, в основному, через середнє ядро, утворюючи в ньому потік Φ_c , і лише частково відгалужується в осердя реактивної котушки у вигляді потоку Φ_e . Намагнічуюча сила реактивної обмотки утворює потік Φ_p . Цей потік замикається, в основному, також через середнє ядро, утворюючи у ньому потік Φ_{pc} , і частково проникає у основне осердя (потік Φ_{p0}).

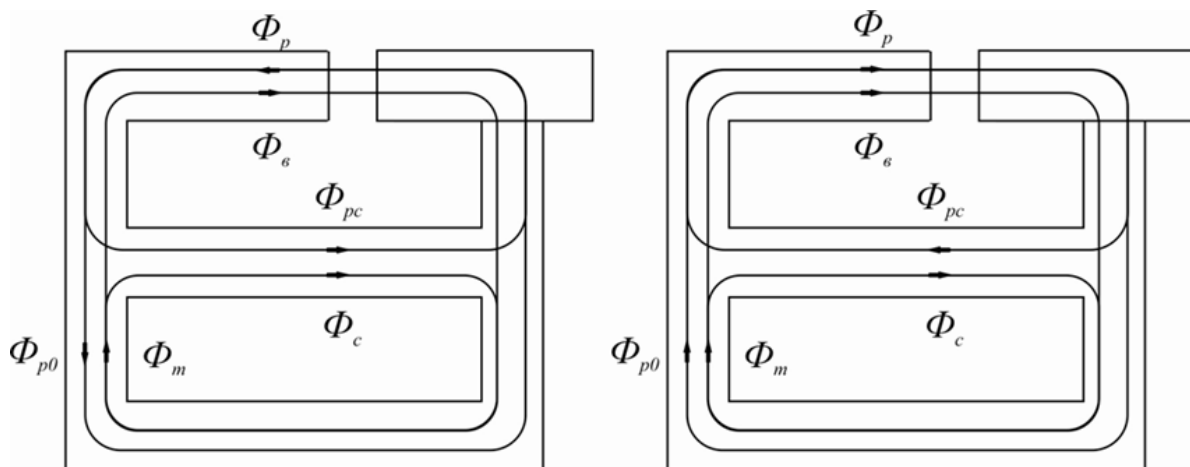


Рис. 3.16. - Схеми магнітних потоків в магнітопроводі трансформатора в режимі навантаження при узгодженому (а) та зустрічному (б) з'єднанні вторинної та реактивної обмоток

При узгодженому вмиканні обмоток потік Φ_p спрямований зустрічно по відношенню до потоку Φ_T , оскільки потоки Φ_p та Φ_2 співпадають за фазою і знаходяться у фазі із струмом вторинної обмотки i_2 .

Потік Φ_T співпадає за фазою із намагнічуючим струмом первинної обмотки i_1 , а при наявності у вторинному колі трансформатора значної індуктивності кут зсуву фаз між струмами i_1 та i_2 перевищує 90° і при короткому замиканні досягає 180° . В середньому стержні потоки Φ_c та Φ_{pc} діють узгоджено і результуючий потік у ньому:

$$\Phi_{ся} = \Phi_c + \Phi_{pc}$$

Зростання результуючого потоку у спільному ярмі при узгодженому вмиканні, особливо значне при коротких замиканнях, може призвести до насичення ярма, збільшенню втрат і зростанню струму короткого замикання, тому застосовується воно відносно рідко. Більш ефективним є зустрічне вмикання вторинної та реактивної обмоток, яке сприяє зменшенню намагнічуючої складової, що діє у середньому стержні, і підвищує коефіцієнт потужності трансформатора, особливо при роботі на значних струмах.

В існуючих конструкціях трансформаторів повітряні зазори достатньо значні, тому коефіцієнт магнітного зв'язку між первинною та реактивною обмотками можливо вважати такими, що наближаються до нуля $K_{13} \approx 0$. В цьому випадку розподіл магнітних потоків у осерді трансформатора для зустрічного з'єднання буде мати вигляд (рис. 3.17).

Зі схеми розподілу магнітних потоків (рис. 3.17) видно, що трансформатор та осердя реактивної обмотки утворюють два практично

незалежних магнітних кола. Робота такої схеми аналогічна роботі трансформатора з нормальним магнітним розсіюванням та окремим дроселем і може бути описана рівнянням (3.13).

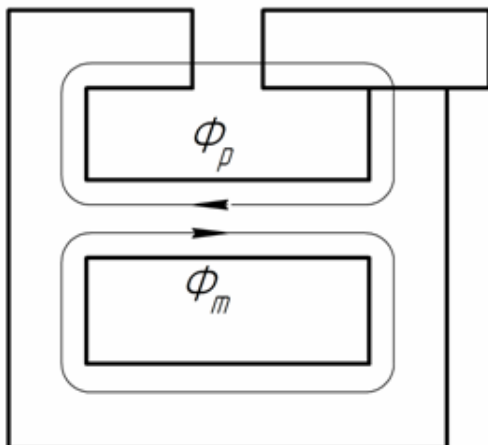


Рис. 3.17. - Спрощена схема розподілу магнітних потоків у магнітопроводі трансформатора при навантаженні

Регулювання струму дуги здійснюється плавною зміною величини повітряного зазору, тобто зміною магнітного потоку реактивної обмотки Φ_p і, відповідно, магнітного стану середнього ярма. Регулювальні характеристики трансформатора наведені на рис. 3.18,а.

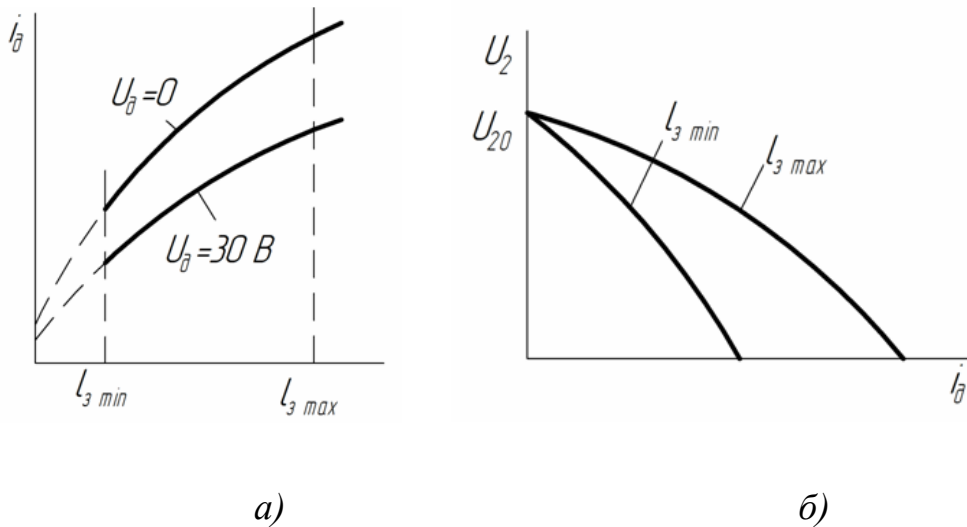


Рис. 3.18. - Вигляд регулювальних (а) та зовнішніх (б) характеристик трансформаторів ТСД та СТН

Для забезпечення регулювання повинні виконуватись наступні вимоги: 1) у будь – який момент часу середнє ярмо не повинно насичуватись; 2) повітряний зазор повинен знаходитись всередині котушки реактивної обмотки, що розширює діапазон регулювання; 3) максимальну величину повітряного зазору необхідно зменшувати для усунення явища випучування силових ліній магнітного поля в зазорі та поліпшенню ефективності регулювання. Остання умова виконується в трансформаторах серії ТСД, у яких один повітряний зазор l_g замінений двома послідовними зазорами $l_g/2$, які регулюються одночасно (рис. 3.19).

Рис. 3.19. - Конструкція осердя та розташування обмоток трансформатора ТСД

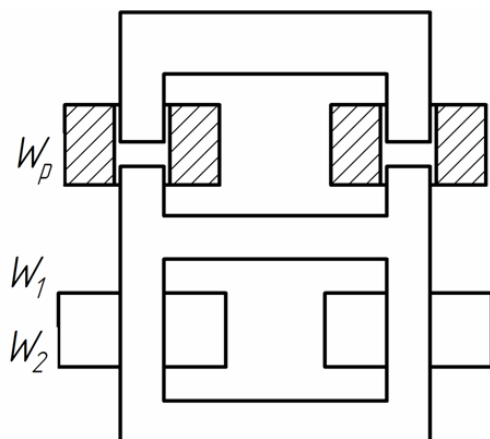
Вторинна напруга холостого ходу трансформаторів СТН та ТСД має дві ступені, для встановлення яких у трансформаторів СТН мають додаткові витки вторинної обмотки, а у ТСД секціонована первинна обмотка.

Суттєвим недоліком цих трансформаторів є значна маса та матеріалоемність, що обмежує їх випуск та застосування.

3.5.2 Трансформатори із збільшеним магнітним розсіюванням

Трансформатори цієї групи мають значний власний індуктивний опір, який забезпечує падаючу зовнішню характеристику джерела. Це дає змогу отримувати номінальний вторинний струм на рівні до 80% від струму короткого замикання, в той час як для трансформаторів із нормальним магнітним розсіюванням і жорсткою характеристикою ця величина складає 7...12%. Завдяки високим енергетичним показникам, відносно незначній матеріалоемності, простоті конструкції ці трансформатори отримали найбільше розповсюдження як основний тип джерела живлення для ручного дугового зварювання.

До зварювальних трансформаторів, що володіють збільшеним (розвиненим) електромагнітним розсіюванням та механічним регулюванням відносять трансформатори із рухомими обмотками та рухомими магнітними шунтами.



Трансформатори із рухомими обмотками. Трансформатори із розвиненим магнітним розсіюванням та рухомими обмотками принципово можуть виконуватись як на броньових, так і на стержньових осердях. Стержньові конструкції (рис. 3.20) відрізняються меншими питомими витратами матеріалів і тому отримали

більш широке розповсюдження у трансформаторах для ручного дугового зварювання.

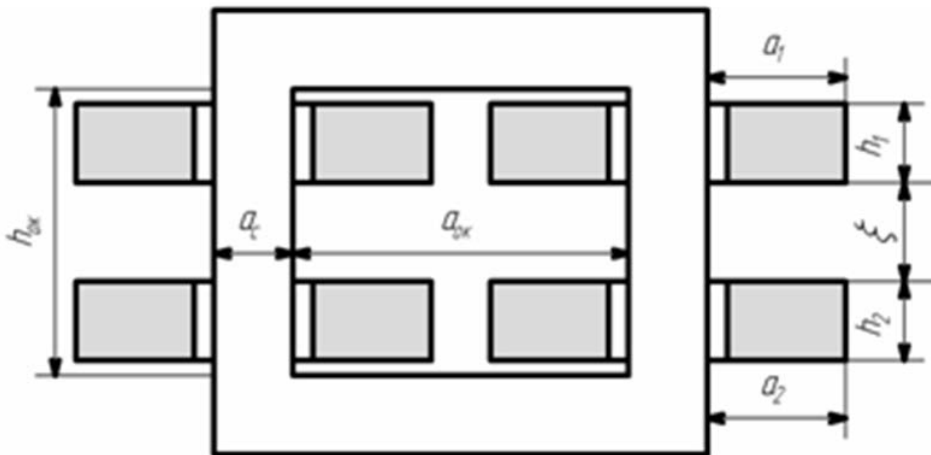


Рис. 3.20. - Стержньовий трансформатор із рухомими обмотками

Розвинене магнітне розсіювання трансформатора досягається завдяки розташуванню первинної та вторинної обмоток вздовж стержнів магнітопровода на деякій відстані одна від одної. Одна з обмоток трансформатора, звичайно первинна, виконується нерухомою, інша – рухомою. Пересування рухомої обмотки здійснюється ходовим гвинтом. При цьому змінюється реактивний (індуктивний) опір трансформатора і, відповідно, максимальний зварювальний струм.

В режимі холостого ходу струм, що протікає по первинним обмоткам трансформатора, призводить до утворення основного магнітного потоку Φ_o в магнітопроводі (рис. 3.21). Цей магнітний потік, проходячи через контур вторинних обмоток, наводить у них е.р.с. Переважна частина силових ліній основного магнітного потоку буде замикатись у феромагнітному осерді, магнітний опір якого незначний у порівнянні із опором немагнітного навколишнього середовища. Відповідно, практично увесь основний магнітний потік замкнеться через вторинну обмотку, а напруга холостого ходу буде залежати від коефіцієнта трансформації і коефіцієнта магнітного зв'язку. Крім того, незначна частина силових ліній магнітного потоку замкнеться через повітряний зазор між обмотками, цей потік буде представляти собою потік розсіювання Φ_p (рис. 3.21,а). Напруга холостого ходу буде визначатись за формулою

$$U_{xx} = U_1 \cdot W_2 \cdot K\mu / W_1$$

де U_1 – напруга первинної обмотки трансформатора; W_2 – кількість витків вторинної обмотки; K_μ – коефіцієнт магнітного зв'язку, величина якого залежить від відстані між обмотками; W_1 – кількість витків первинної обмотки.

Оскільки при розсуванні обмоток K_μ зменшується, то це призводить до деякого зниження напруги холостого ходу.

В режимі навантаження із появою у вторинній обмотці зварювального струму виникають магнітні потоки розсіювання вторинної обмотки (рис. 3.21,б), які також замикаються через повітряний зазор і створюють у ній реактивну е.р.с. розсіювання, пропорційно пов'язану із магнітним потоком розсіювання. Із збільшенням навантаження зростає реактивна е.р.с. вторинної обмотки, що призводить до збільшення магнітного потоку розсіювання первинної обмотки і зменшенню основного магнітного потоку. Це забезпечує створення падаючої зовнішньої характеристики і стабілізацію зварювального струму.

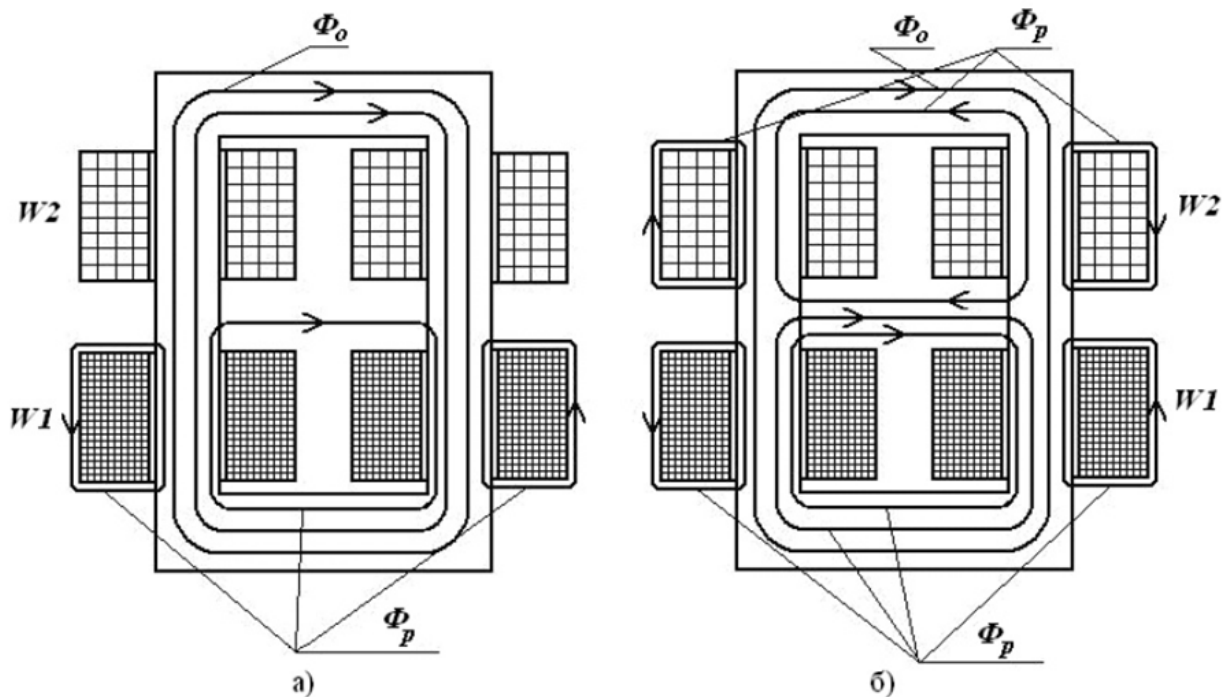


Рис. 3.21. - Спрощена картина полів розсіювання трансформатора

Реальне поле розсіювання трансформатора можливо представити як суму трьох складових (рис. 3.21): поля розсіювання в лобових частинах обмоток $\Phi_{1л}$ та $\Phi_{2л}$, поля розсіювання у вікні трансформатора в зоні котушок $\Phi_{1вік}$ та $\Phi_{2вік}$, поля розсіювання в зазорі між обмотками $\Phi_{вік}$.

Цим потокам відповідають реактивні опори $x_{л}$, $x_{вік}$, $x_{в}$, що визначаються за наступними формулами.

Індуктивний опір лобових частин обмоток:

$$X_{л} = \mu_0 f W_2^2 l_{л1} l_{лн} \frac{g_{12}^2}{g_1 g_2}, \quad (3.15)$$

де μ_0 - магнітна стала;

$l_{л}$ – середня довжина витка котушок в лобових частинах;

g_1, g_2, g_{12} – середні відстані, які в свою чергу визначаються як:

$$\begin{cases} g_1 = 0,223 (2 a_1 + h_1) \\ g_2 = 0,223 (2 a_2 + h_2) \\ g_{12} = (a_1 + a_2) [0.22 + 0.75(h_1 + h_2)/(a_1 + a_2)] \end{cases} \quad (3.16)$$

Опір від потоків розсіювання у вікні дорівнює:

$$X_{вік} = 2\pi f \mu_0 W_2^2 \lambda \frac{h_1 + h_2}{3} \quad (3.17)$$

де h_1, h_2 – висота котушок первинної та вторинної обмоток (рис. 3.21).

Регульований індуктивний опір від потоків розсіювання в просторі між площинами обмоток лінійно пов'язаний із відстанню між обмотками b і дорівнює:

$$X_b = 2\pi f \mu_0 W_2^2 \lambda b \quad (3.18)$$

Величина λ , що входить у вирази (3.17), (3.18), характеризує середнє значення відносної магнітної проникності у просторі між стержнями і визначається за емпіричною формулою:

$$\lambda = 1.5 + 1.2 \frac{b_m}{a_{вік}}$$

де b_m – товщина набору магнітопроводу.

Повний індуктивний опір трансформатора визначається сумою складових:

$$x_m = x_l + x_{\text{вік}} + x_g \quad (3.19)$$

Складові x_g та $x_{\text{вік}}$ не залежать від відстані між обмотками і відповідають магнітному полю у вікні трансформатора ($\Phi_{1\text{вік}}$, $\Phi_{2\text{вік}}$) та лобових частинах ($\Phi_{1\text{л}}$, $\Phi_{2\text{л}}$) при повністю зсунених обмотках ($b=0$). Складова x_b відповідає магнітному полю у вікні трансформатора в зазорі між обмотками і пов'язана із відстанню між обмотками b прямо пропорційною залежністю.

При значному віддаленні обмоток картина полів розсіювання змінюється, ефективність регулювання знижується, а габарити трансформатора зростають. Внаслідок того, що все більша частина основного магнітного потоку замикається при цьому через повітря поміж стержнями, напруга холостого ходу зменшується, що небажано для режимів малих струмів (рис. 3.22).

Для послаблення цих небажаних явищ діапазон регулювання розбивається на дві ступені: великих та малих струмів. В першому випадку обмотки вмикаються паралельно, у другому – послідовно (рис. 3.23). При цьому напруга холостого ходу не змінюється, а індуктивний опір обмоток змінюється у чотири рази.

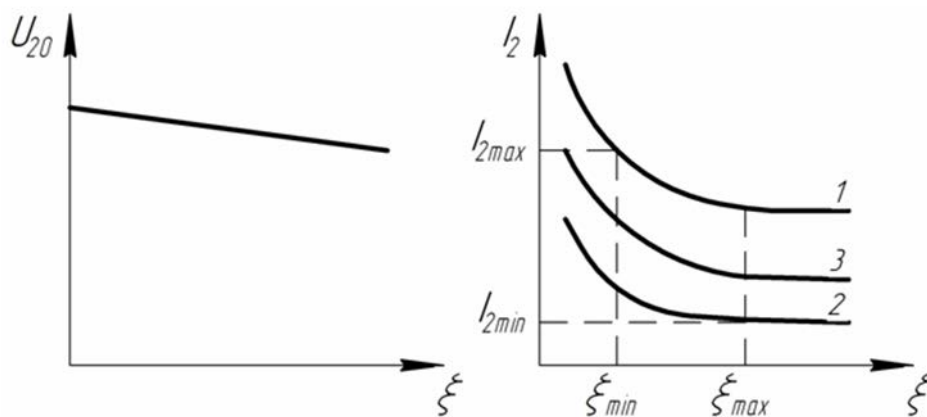


Рис. 3.22. - Залежність напруги холостого ходу (а), та струму зварювання (б) від відстані між котушками (1,2 – паралельне та послідовне вмикання обмоток, 3 – послідовне із відключенням частини витків)

Необхідною умовою плавно – ступінчатого регулювання є стикування між двома діапазонами струмів. Припускається незначний розрив струмів при переході з одного діапазону на інший – не більше 7,5%. Щоб отримати необхідне стикування між двома діапазонами струмів в цьому трансформаторі необхідно мати кратність регулювання не менше 1 : 4 в кожному з діапазонів. при цьому загальна кратність регулювання струму складає 1 : 16. Таке глибоке регулювання струму на практиці не застосовується, тому в ряді трансформаторів послідовно вмикаються не всі обмотки, а тільки їх частини (рис. 3.23,б). Кратність регулювання при цьому зменшується до 1 : 6...8, а матеріалоемність знижується на 25...30%. При цьому можливе збільшення напруги холостого ходу в режимі малих струмів, що позитивно впливає на стабільність горіння дуги. Регулювальна характеристика трансформатора проходить в цьому випадку між відповідними характеристиками при паралельному та послідовному з'єднаннях (рис. 3.22,б).

Даний принцип регулювання реалізований в зварювальних трансформаторах серій ТС, ТСК, ТД, ТДМ. Трансформатори із рухомими обмотками випускаються у пересувному (ТД – 300, ТД – 500, ТД – 502) та переносному (ТД – 102) виконаннях, причому переносні призначені для роботи із більш низькими значеннями ПН%, тобто для зварювання короткими швами із тривалими паузами.

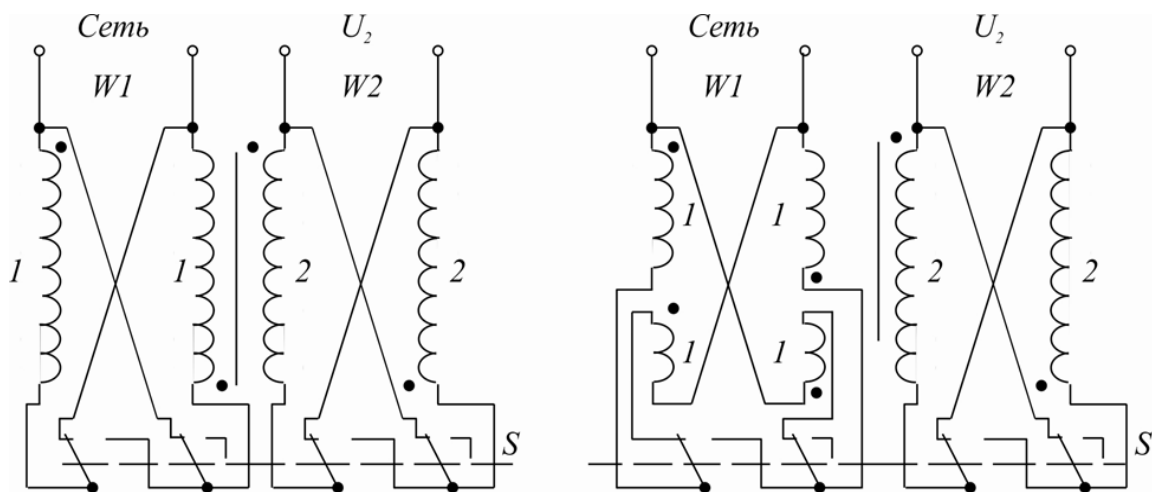


Рис. 3.23. - Принципові електричні схеми трансформатора із двома ступенями регулювання зварювального струму

Основним недоліком трансформаторів із рухомими котушками обмоток є: а) труднощі надійного закріплення рухомих котушок, на які діють значні зусилля, що пульсують із частотою 100 Гц і призводять до передчасного

руйнування регульовального механізму; б) забезпечення необхідного діапазону плавного регулювання зварювального струму вимагає збільшення висоти стержнів магнітопровода, що призводить до зростання габаритів і маси трансформатора.

Зварювальні трансформатори із рухомим магнітним шунтом.
 Зварювальні трансформатори із розвиненим магнітним розсіюванням та рухомими магнітними шунтами виконуються, як правило, на магнітопроводах стержньового типу і мають дискові обмотки. Обмотки трансформатора (рис. 3.24) розташовані симетрично на обох стержнях магнітопровода. Всередині магнітопровода між первинними та вторинними обмотками розташований рухомий середній стержень – магнітний шунт. Між шунтом та стержнями осердя мають два постійних за величиною повітряних зазори δ . Тому через середній стержень замикається лише частина магнітних потоків, створених обмотками трансформатора. Активний переріз магнітного шунта по відношенню до осердя трансформатора можливо змінювати висуванням його за межі основного осердя. Наявність шунта збільшує потоки розсіювання i , відповідно, індуктивний опір трансформатора.

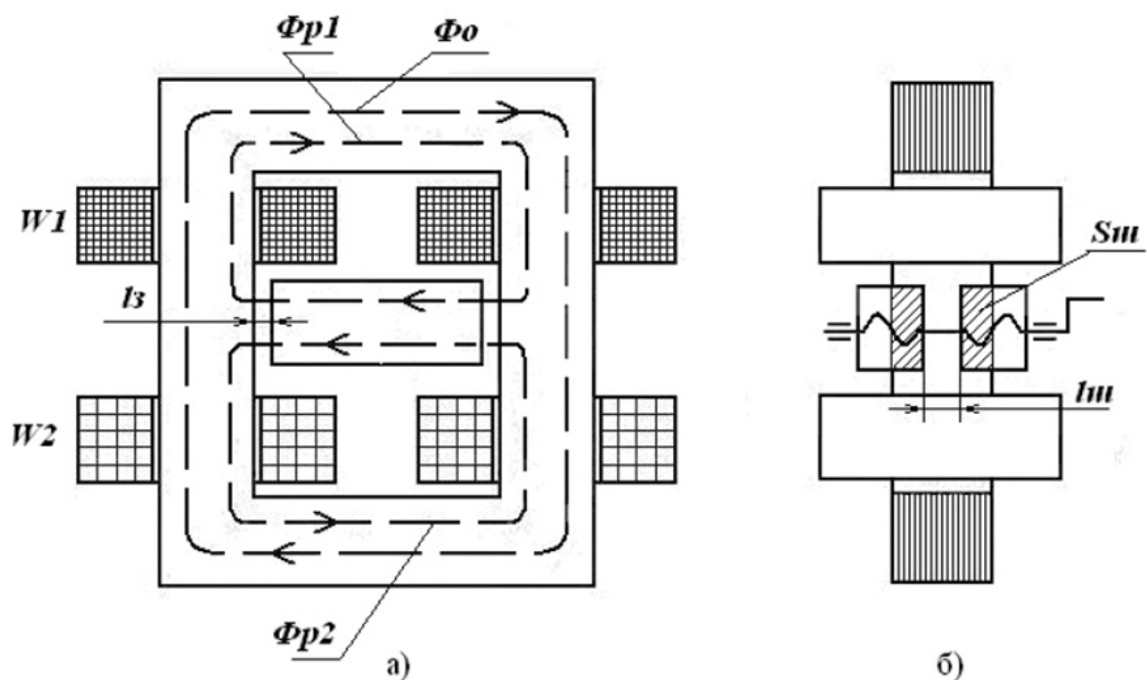


Рис. 3.24. - Конструкція трансформатора із рухомим магнітним шунтом

Трансформатор із повністю висувеним магнітним шунтом наближається до трансформатора із рухомими обмотками, і має мінімальний опір, який

визначається за формулою (3.19). Однак, наявність висуненого шунта дещо впливає на характер поля розсіювання в результаті чого індуктивний опір такого трансформатора на 20 – 30% вищий, ніж у аналогічного трансформатора із розсуненими обмотками без шунта.

Мінімальний індуктивний опір трансформатора із шунтом складає:

$$x_{min} = (1.2 \dots 1.3) (x_{vik} + x_l + x_{b_1})$$

де 1.2...1.3 – поправочний коефіцієнт;

b_1 – відстань між обмотками.

При повністю введеному шунті індуктивний опір досягає максимального значення, яке визначається сумою двох складових. перша з них відповідає трансформатору з даними геометричними розмірами, у якого магнітний шунт відсутній і магнітні потоки розсіювання замикаються через повітря.

Максимальний індуктивний опір такого трансформатора складається з двох складових, що відповідають потокам розсіювання по повітрю x'_{min} та через шунт $x_{ш}$.

Перша складова визначається як:

$$X'_{min} = X_{vik} + X_l + X_{b_2}$$

де b_2 – усереднена відстань від обмоток до шунта.

Друга складова враховує тільки потоки розсіювання, що замикаються через шунт і дорівнює:

$$X_{ш} = K_b \pi f \mu_0 W_2^2 S / 2\delta$$

де $K_b = 1.1$ – коефіцієнт, що враховує “випучування” магнітного потоку шунта;

$S_{ш}$ – площа поперечного перерізу магнітного шунта;

δ – величина зазору між шунтом і осердям.

Загальний характер зміни регулюючого індуктивного опору трансформатора при переміщенні шунта наведений на рис. 3.24а. Трансформатори з магнітними шунтами не мають постійної напруги холостого ходу, оскільки частина магнітного потоку завжди замикається через шунт. Зміна коефіцієнту магнітного зв'язку між первинними та вторинними

обмотками K_{12} при переміщенні шунта призводить до зміни коефіцієнту трансформації:

$$n = \frac{W_1}{K_{12} W_2} = \frac{U_1}{K_{12} U_{20}},$$

і, відповідно, напруги холостого ходу (рис. 3.25,б).

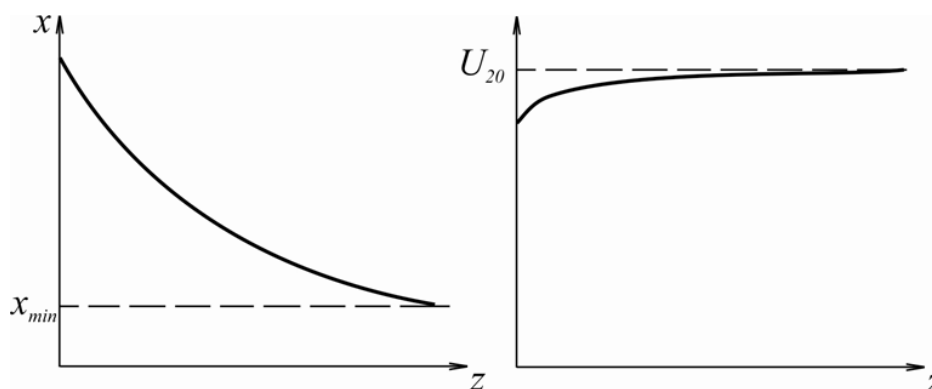


Рис. 3.25. - Залежність індуктивного опору (а) та напруги холостого ходу (б) від положення магнітного шунта

Внаслідок достатньо значної величини x_{min} трансформатори конструкції, наведеної на рис. 3.24, виконуються на відносно незначні струми – до 250...300 А. Збільшення струму можливе за рахунок розташування в зоні первинної обмотки частини вторинної або навпаки. Розширення діапазону робочих струмів досягається також застосуванням плавно – ступінчастого регулювання. При цьому діапазону більших струмів відповідає паралельне з'єднання вторинних обмоток, при переході на діапазон менших струмів вторинні обмотки вмикаються послідовно, що супроводжується збільшенням напруги холостого ходу.

При виході з вікна магнітопроводу магнітний шунт сприймає максимальне осьове електромагнітне зусилля, яке втягує шунт у вікно магнітопроводу і викликає його вібрацію. Якщо шунт поділити на дві рівні частини, які висуваються із вікна у протилежні сторони, то в цьому випадку осьові сили, що діють на половини шунта, спрямовані зустрічно і взаємно компенсуються.

В трансформаторах з рухомими магнітними шунтами регулювання режиму здійснюється висуванням середнього стержня за межі магнітопроводу вручну або електроприводом. Повітряні зазори між шунтом та магнітопроводом трансформатора при цьому залишаються незмінними, а активний переріз середнього стержня $S_{ш}$, що пронизується магнітним потоком розсіювання, зменшується. Відповідно, при висуванні шунта індуктивний опір трансформатора

$$x_T = x_{min} + x_{ш}$$

зменшується, а зварювальний струм зростає.

Даний принцип регулювання реалізований в трансформаторах серії СТШ. Ці трансформатори практично не поступаються за масою та енергетичними показниками трансформаторам із рухомими обмотками, але мають дещо більшу трудомісткість виготовлення.

3.6 Зварювальні трансформатори з електричним регулюванням

Для безконтактного електричного регулювання напруги та струму в зварювальних трансформаторах можуть застосовуватись тиристорні та магнітні регулятори. Основна перевага таких регуляторів – відсутність рухомих частин і, як наслідок, висока надійність та довговічність.

Для автоматичного зварювання під флюсом розроблена серія трансформаторів, у яких регулювання сили зварювального струму здійснюється підмагнічуванням магнітного шунта постійним струмом. До них відносять трансформатори типів ТДФ – 1001, ТДФ–1002, ТДФ – 1601 та ТДФ – 2001. На рис. 3.26 наведена конструктивна схема цих трансформаторів

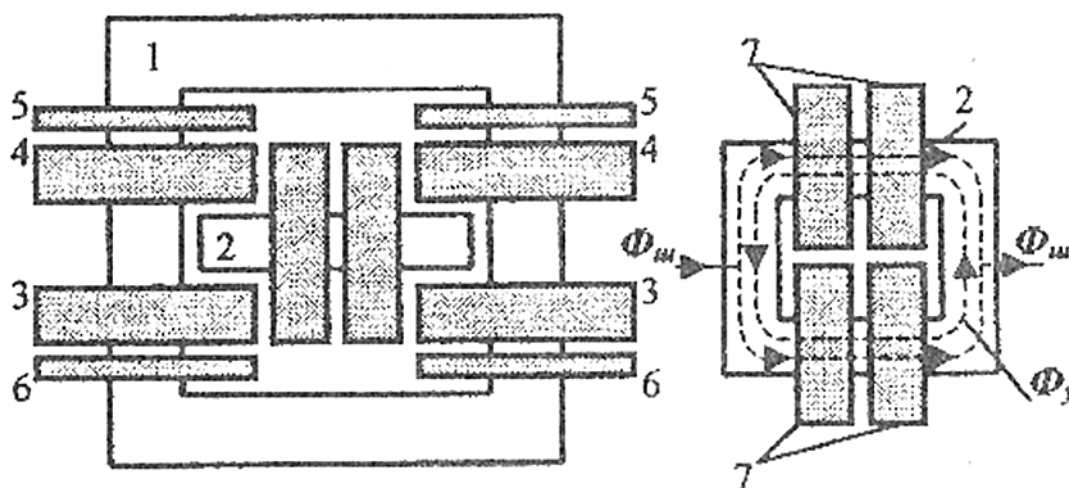


Рис. 3.26. - Конструктивна схема трансформаторів серії ТДФ

В основу конструкції трансформаторів цього типу покладений стержньовий трансформатор із підвищеними магнітними потоками розсіювання, які забезпечуються відповідним розташуванням обмоток.

Магнітна система складається з двох замкнених і перпендикулярно розташованих магнітопроводів: зовнішнього (трансформатора) і внутрішнього (шунта).

На кожному стержні головного магнітопроводу трансформатора на деякій відстані одна від одної симетрично розташовані котушки первинної та вторинної обмоток. Вторинна обмотка має додаткові витки, що розташовуються поблизу первинної обмотки. Додаткові частини вторинної обмотки 5 віддалені від первинної обмотки, а додаткові частини 6 навпаки наближені до неї. Це дозволяє забезпечувати ступінчасту зміну опору короткого замикання і отримувати два основних режими роботи: малих та великих струмів.

Загалом трансформатори мають плавно-ступінчасте регулювання зварювального струму. Ступінчасте регулювання (дві ступені) здійснюється перемиканням витків котушок вторинної обмотки. Для плавного регулювання зварювального струму застосовується магнітний шунт. Осердя магнітного шунта 2 із обмоткою керування 7, що складається з двох або чотирьох котушок, розташоване у вікні осердя трансформатора між його первинною та вторинною обмотками. Між основним осердям та шунтом мають постійні за величиною повітряні зазори. Потік управління Φ_u замикається практично тільки по шунту

Плавне регулювання струму в межах однієї ступені здійснюється підмагнічуванням магнітного шунта. Більшому струму керування відповідає більший зварювальний струм, оскільки зростає магнітний опір на шляху основного потоку розсіювання трансформатора.

Обмотки керування магнітного шунта живляться від однонапівперіодного тиристорного випрямляча (рис. 3.27), що складається із допоміжного трансформатора T2, тиристора VS та схеми фазового керування тиристором БФК.

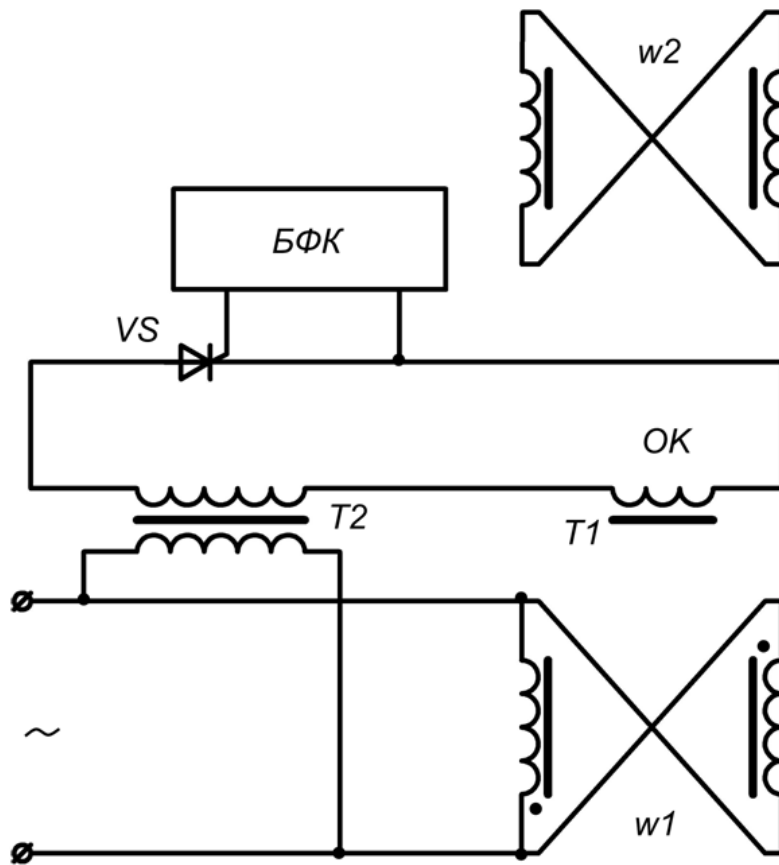


Рис. 3.27. - Електрична схема зварювального трансформатора ТДФ

Трансформатори описаної серії мають ряд суттєвих недоліків, до основних з яких слід віднести:

- відсутність стабілізації режиму при зміні напруги мережі;
- оскільки струм керування достатньо значний, джерело живлення обмотки шунта повинно мати значну потужність. Це ускладнює дистанційне керування, збільшує масу шунта та трансформатора в цілому.

Застосування тиристорного регулювання дозволяє знизити масу силового трансформатора, стабілізувати режим зварювання, автоматизувати та програмувати процес, обмежувати напругу холостого ходу в паузах горіння дуги.

В тиристорних трансформаторах переривчастого струму регулятор зазвичай представляє собою два зустрічно – паралельно з'єднаних тиристори, ввімкнені послідовно із первинною або вторинною обмоткою трансформатора (рис. 3.28). Основними елементами таких джерел є фазорегулятор ΦP на тиристорах та силовий трансформатор CT . Спосіб фазового регулювання заснований на перетворенні синусоподібного струму у знаковмінні імпульси, амплітуда та тривалість яких визначається кутом відкриття тиристорів. Цей спосіб регулювання у дуговому зварюванні вважався непридатним, оскільки в

паузах між імпульсами струму здійснюється деіонізація дугового проміжку, що утруднює повторне запалювання дуги.

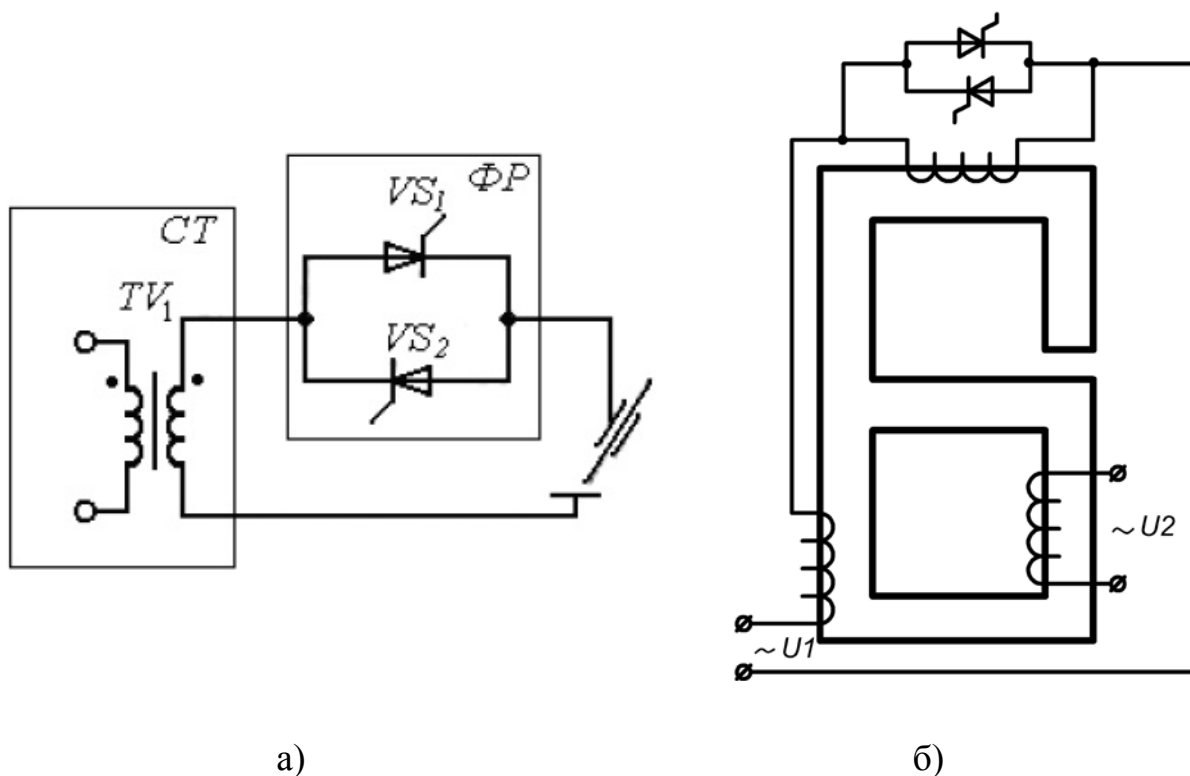


Рис. 3.28. - Схеми тиристорних трансформаторів

Особливо значні паузи мають місце в пристроях, близьких до ідеальних, де застосовується силовий трансформатор із нормальним магнітним розсіюванням.

Форма напруги на активному навантаженні при регулюванні змінного струму за допомогою тиристорів наведена на рис. 3.29.

Заштрихована частина напруги осцилограм прикладається до навантаження, не заштрихована – до зачинених тиристорів. Середнє за напівперіод значення напруги на навантаженні визначається відношенням:

$$U_{i.нд.} = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \cdot (1 + \cos \varphi) \quad (3.20)$$

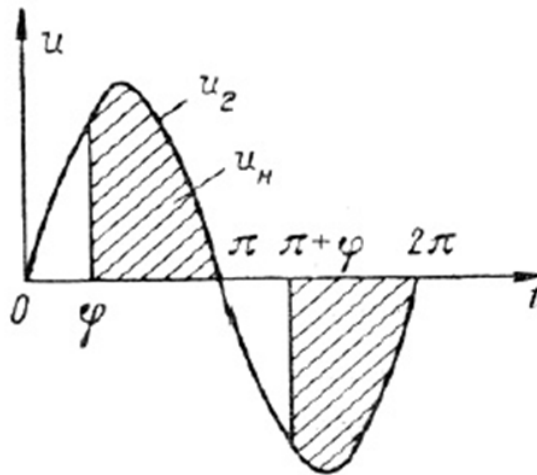


Рис. 3.29. - Осцилограми напруги при фазовому регулюванні тиристорами у зварювальному колі

Діюча напруга на навантаженні:

$$U_{i.a.} = U_2 \sqrt{\frac{\pi - \varphi + \sin 2\varphi / 2}{\pi}} \quad (3.21)$$

У випадках, коли відсутня необхідність керувати постійною складовою зварювального струму, тиристори доцільно вмикати у первинне коло трансформатора, по якому протікає відносно незначний струм (рис.3.28,б).

Крім зниження габаритів регулятора і витрат в тиристорах таке рішення дозволяє зменшити витрати холостого ходу трансформатора, забезпечує оперативне відключення його від мережі. Однак, при ввімкненні тиристорів у первинне коло трансформатора стає неможливим регулювати (компенсувати) постійну складову зварювального струму, зменшується діапазон регулювання струму, підвищуються вимоги до симетрії імпульсів керування тиристорами і, відповідно, кута їх відкривання.

Основна задача, яку необхідно вирішувати при розробці тиристорних трансформаторів – виключення пауз у протіканні струму через тиристори при фазовому регулюванні (рис. 3.29), протягом яких між імпульсами струму здійснюється швидка деіонізація дугового проміжку, що погіршує повторне запалювання дуги.

Одним із засобів заповнення безструмових пауз в інтервали непровідності тиристорів є застосування спеціального кола, що зветься колом підживлення дуги, по якому проходить мінімально необхідний для стійкого процесу зварювання струм (струм підживлення i_{20} на рис. 3.30).

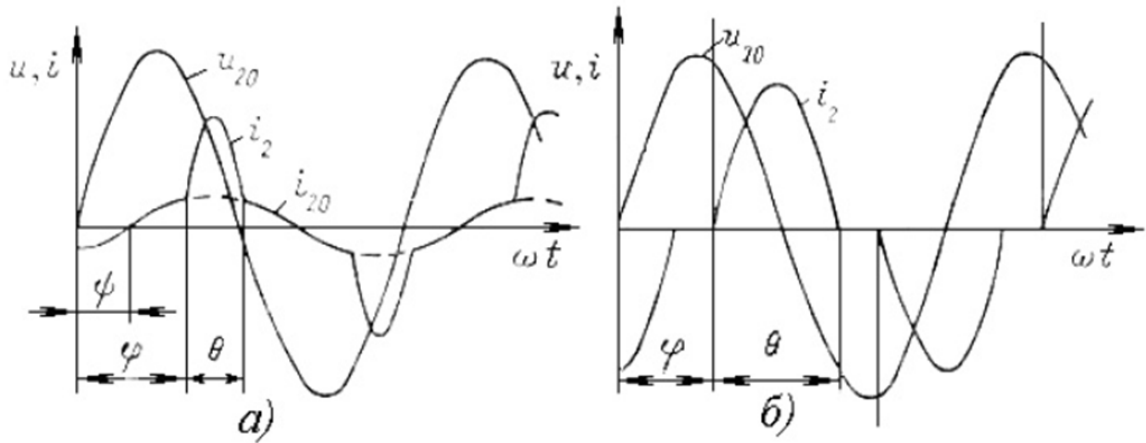


Рис. 3.30. - Діаграми напруг та струмів трансформаторів: а) з колом підживлення; б) з імпульсною стабілізацією

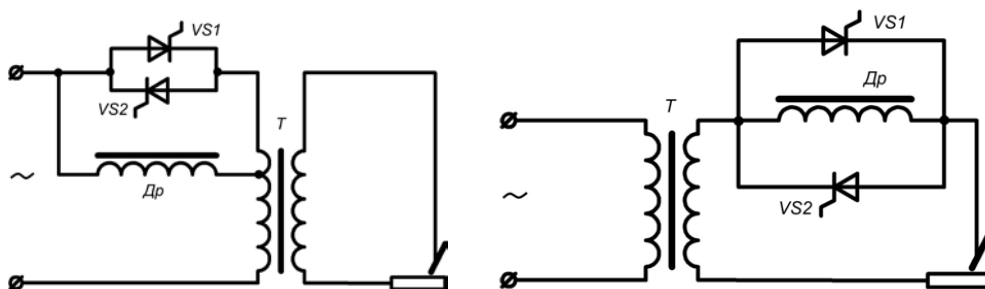
Значення струму підживлення, достатнє для стабільного горіння дуги, складає:

10...15 А для аргонодугового зварювання неплавким електродом алюмінієвих сплавів при наявності імпульсного стабілізатора дуги і напруги холостого ходу джерела живлення біля 70 В;

10...15 А для ручного дугового зварювання покритим електродом;

20...30 А для автоматичного зварювання під флюсом.

Існують різні способи для додаткового неперервного живлення дуги незначним (10 – 30 А) струмом. Найбільш простий шлях – шунтування тиристорів регулятора дроселем (рис. 3.31,а). При цьому реактивний опір дроселя повинен бути орієнтовно на порядок вище індуктивного опору силового трансформатора. Конструктивно дросель із повітряним зазором у осерді та силовий трансформатор можуть бути змонтовані на спільному магнітопроводі (рис. 3.31,б). Така конструкція застосовується у тиристорних зварювальних трансформаторах із підживленням та тиристорним фазорегулятором в колі первинної обмотки силового трансформатора серії ТДЭ (ТДЭ-16/252, ТДЭ-402).



а)

б)

Рис. 3.31. - Схеми тиристорних трансформаторів з дроселем, що шунтує тиристорний регулятор

Шунтування силової частини тиристорного регулятора частково сприяє поліпшенню горіння дуги, але водночас дещо обмежує діапазон регулювання зварювального струму, оскільки знижує напругу обмотці зварювального трансформатора в інтервали непровідності тиристорів, що також негативно впливає на стабільність горіння дуги. Тому більш ефективним є джерело живлення, до складу якого входять два трансформатори – основний Т1, розрахований на номінальне навантаження, та допоміжний Т2, що має розвинене магнітне розсіювання і працює практично в режимі короткого замикання (рис. 3.32).

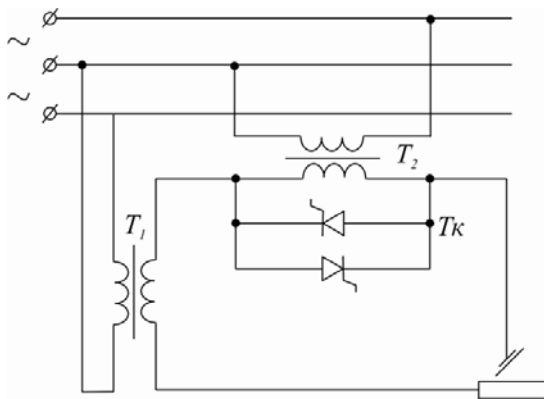


Рис. 3.32. - Схема тиристорного трансформатора із підключенням додаткового трансформатора

Тиристорний регулятор ТР зачиняється в момент переходу струму через нульове значення. На розрядному проміжку виникає стрибок напруги, що дорівнює сумі напруг трансформаторів Т1 та Т2 і сприяє надійному повторному запалюванню дуги. В певний момент часу на протязі кожного напівперіоду, що визначається режимом зварювання, тиристири регулятора по чергово відкриваються і зварювальний струм зростає до необхідного значення. Живлення дуги здійснюється при цьому від трансформатора Т1, що має невисоку, порядку 45 В, напругу холостого ходу і повільно падаючу зовнішню характеристику. Плавна зміна режиму в достатньо широких межах досягається за рахунок регулювання кута відкривання тиристорів.

Подібну конструкцію має джерело змінного струму УДС – 251 із плавним регулюванням струму в діапазоні 50...275 А при відносно незначній масі (45 кг). УДС – 251 забезпечує зварювання плавким і неплавким електродами, модуляцію зварювального струму та стабілізацію горіння дуги.

В промислових зварювальних джерелах найбільше поширення отримали тиристорні трансформатори із переривчастим регулюванням струму та імпульсною стабілізацією, оскільки застосування кола підживлення

призводить до додаткових витрат активних матеріалів, а відносно низька швидкість наростання струму підживлення при зміні полярності обумовлює недостатні зварювальні якості джерел.

У цих способах для надійного повторного запалювання в тиристорних джерелах застосовується імпульсна стабілізація горіння дуги. В момент φ закінчення безструмової паузи (рис. 3.30,б) на дугу накладається стабілізуючий імпульс струму. Тиристорний фазорегулятор суміщує функції управління значенням струму та комутуючого елемента імпульсного стабілізатора горіння дуги. Коло підживлення в таких джерелах виключено, а струм дуги стає переривчастим.

На рис. 3.33 наведено схему імпульсної стабілізації, що застосовується в зварювальних трансформаторах серії ТДФЖ. В цих тиристорних трансформаторах паралельно первинній обмотці ввімкнене коло, що складається з конденсатора C та додаткової імпульсної обмотки W_3 , яка розташовується в зоні вторинної обмотки трансформатора W_2 і має з нею добрий магнітний зв'язок .

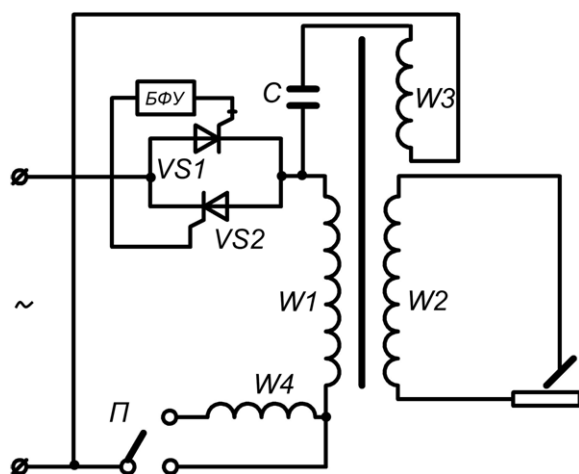


Рис. 3.33. - Спрощена електрична схема тиристорного трансформатора ТДФЖ

При вмиканні будь – якого з тиристорів регулятора, що знаходиться в первинному колі, конденсатор заряджається до поточного значення напруги мережі. Імпульс зарядного струму конденсатора проходить по обмотці W_3 , трансформується у вторинне коло і створює на дуговому проміжку стрибок напруги, достатній для повторного збудження дуги (рис. 3.30,б). По закінченню періоду провідності тиристора дуга згасає і конденсатор розряджається через первинну обмотку силового трансформатора. В наступний напівперіод напруги мережі вмикається інший тиристор і процес імпульсної стабілізації дуги повторюється.

Реакторна обмотка W_4 розташовується у вікні магнітопровода між стержнями і призначена для ступінчатого регулювання зварювального струму. В діапазоні малих струмів реакторна обмотка вмикається послідовно із

первинною обмоткою трансформатора. При зварюванні в діапазоні значних струмів реакторна обмотка не вмикається. Плавне регулювання в межах кожної ступені здійснюється зміною кута відкриття тиристорів за допомогою системи фазового управління БФУ.

Параметри стабілізуючого імпульсу визначаються підбором співвідношення витків імпульсної та вторинної обмоток і ємністю конденсатора. Амплітуда імпульсу залежить від кута включення тиристорів, але незначно, не більш ніж на 14% від максимального значення.

У випадках, коли застосування додаткової імпульсної обмотки за будь-якої причини є небажаним, може бути застосований окремий імпульсний трансформатор, вторинна обмотка якого ввімкнена через розподільчий конденсатор паралельно вторинній обмотці зварювального трансформатора (рис. 3.34,а)

Принцип імпульсної стабілізації дуги переривчастого змінного струму може бути реалізованим і при установці тиристорного фазорегулятора у вторинне коло зварювального трансформатора. На рис. 3.34,б наведено схему тиристорного трансформатора із пристроєм генерації високовольтних імпульсів, що забезпечують початкове запалювання та повторне збудження дуги. В момент вмикання тиристора зарядний струм конденсатора C_2 наводить у вторинній обмотці високовольтного трансформатора імпульс високої напруги, достатній для пробоя міжелектродного проміжку. Конденсатор фільтра C_1 захищає джерело живлення від перенапруг.

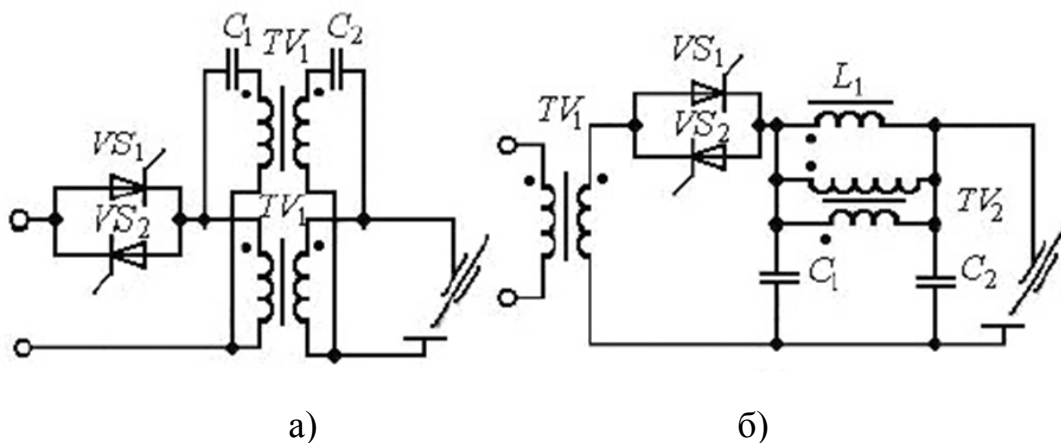


Рис. 3.34. - Трансформатори з переривчастим живленням дуги

На рис 3.35 наведені зовнішні характеристики тиристорних трансформаторів із колом підживлення та колом імпульсної стабілізації для кутів вмикання тиристорів від 0 до 120° ел. Крива 1 є зовнішньою характеристикою кола підживлення.

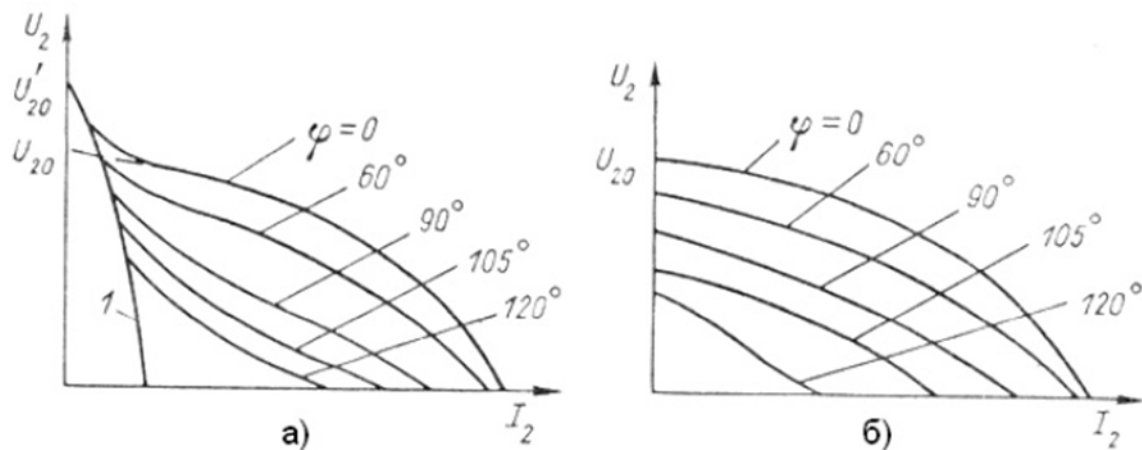


Рис. 3.35. - Зовнішні характеристики трансформаторів: а) з колом підживлення; б) з імпульсною стабілізацією дуги

Як впливає з рис. 3.35,а, напруга холостого ходу трансформатора із колом підживлення залежить від напруги підживлення і не залежить від кута відкриття тиристорів, а при імпульсній стабілізації горіння дуги (рис. 3.35,б) зміна кута відкриття впливає на напругу холостого ходу джерела живлення.

Тиристорні регулятори дозволяють найбільш просто та економно вирішувати задачі формування необхідних зовнішніх характеристик, регулювання та стабілізації режиму зварювання і тому на даний час знайшли найбільше поширення в зварювальних джерелах змінного струму.

3.7 Вдосконалення трансформаторів для ручного дугового зварювання

Основний недолік зварювальних трансформаторів – невисока стабільність горіння дуги, викликана періодичними переходами зварювального струму через нульові значення при зміні полярності на електроді та виробі. На стабільність горіння дуги змінного струму при зварюванні плавким електродом оказує негативний вплив не тільки проходження зварювального струму через нульове значення, а й відрив крупних крапель наприкінці напівперіода струму, коли стовп дуги скорочується. При цьому дуговий проміжок настільки де іонізується, що повторне запалювання дуги стає неможливим. Підвищення стабільності горіння дуги може бути досягнене наступними шляхами:

- зниженням ефективного потенціалу іонізації плазми в стовпі дуги за рахунок введення у дуговий проміжок легкоіонізованих речовин через електродний дріт або покриття;
- збільшенням емісії електронів в результаті легування дроту елементами з малою роботою виходу електронів;
- підвищенням напруги холостого ходу зварювальних трансформаторів;
- підвищенням частоти зварювального струму або накладенням на струм основної частоти коливань підвищеної частоти;
- застосуванням різних приставок до стандартних зварювальних трансформаторів, наприклад, пристроїв імпульсної стабілізації горіння дуги (ПСГД).

Саму ідею імпульсного повторного запалювання дуги ще у 1954 р. запропонував акад. Б.Є. Патон. В основу робіт по створенню ПСГД покладені результати досліджень факторів, що впливають на стійкість горіння дуги, у тому числі переносу електродного металу та електромагнітних процесів при повторному запалюванні дуги в системі "зварювальний трансформатор – ПСГД". До ПСГД пред'являють наступні вимоги: надійність, простота виготовлення, універсальність (можливість підключення до будь-якого стандартного трансформатора для ручного дугового зварювання), малі габаритні розміри і вага, довговічність у різних умовах роботи, невисока вартість.

Переліченим вимогам у найбільшій мірі задовольняє ПСГД, зібраний за схемою, що складається з послідовно з'єднаних джерела живлення змінного струму, конденсатора та комутатора. Принцип дії такого пристрою, як і будь-якого генератора імпульсів, заснований на тому, що конденсатор за обмежений проміжок часу заряджається до певної напруги, а далі розряджається на дуговий проміжок. Момент введення імпульсу енергії необхідно обирати із високою точністю. Експериментально встановлено, що найбільш ефективно подавання стабілізуючого імпульсу після переходу зварювального струму через нульове значення та досягнення на дуговому проміжку напруги 5...10 В. Стабілізатор дуги фактично повторно запалює дугу у плазмі, яка розпадається, і підтримує горіння, поки напруга на виході трансформатора є недостатньою.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблена серія генераторів імпульсів для стабілізації дугового розряду, що мають спільні конструктивні особливості. Звичайно стабілізатор (рис. 3.36) складається з зарядного пристрою ЗУ, конденсатора С, комутатора К та блоку управління БУ. Конденсатор можна підключати через комутатор паралельно (рис. 3.36,а), або послідовно (рис. 3.36,б) зі зварювальною дугою та зарядним пристроєм. Блок управління

комутатором може працювати із зворотнім зв'язком за падінням напруги на дузі (або між електродом та виробом при відсутності дуги). Він забезпечує запуск комутатора як в процесі зварювання, так і під час холостого ходу зварювального трансформатора Т. Блок управління повинен відрізнити перехід зварювальної напруги через нульове значення від коротких замикань, коли напруга дуги також практично знижується до нуля. В цьому випадку більш доцільна схема стабілізатора, управління комутатором якого здійснюється за допомогою зворотного зв'язку за струмом зварювання (рис. 3.36,б). Такий спосіб управління забезпечує не тільки синхронність подавання стабілізуючого імпульсу при зміні полярності на електроді, а й нечутливість схеми управління до коротких замикань.

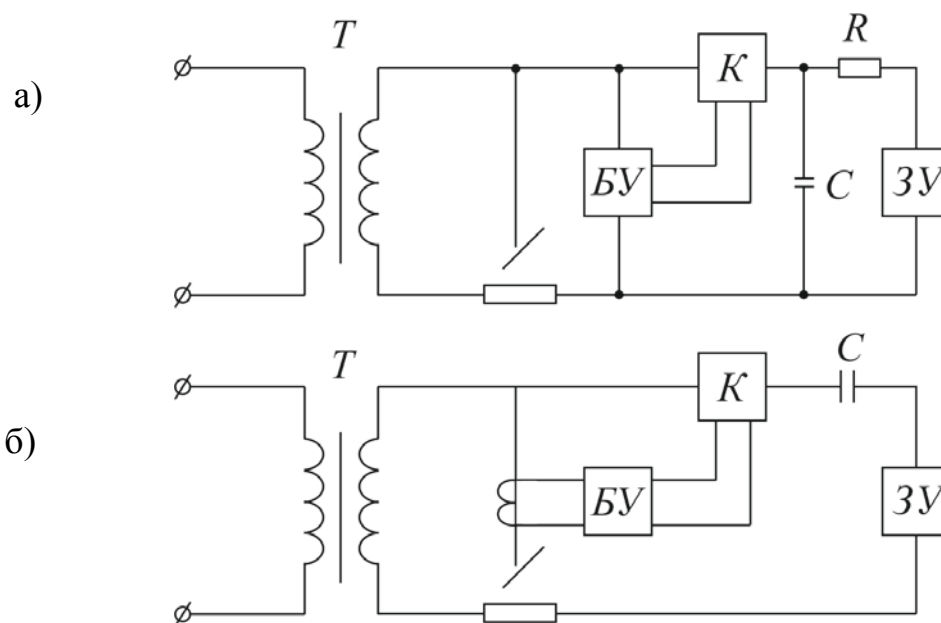


Рис. 3.36. -

Структурна схема ПСГД і варіанти підключення його до зварювального кола

ПСГД можуть бути як автономними (із незалежним живленням), так і вбудовані безпосередньо у зварювальний трансформатор. У другому варіанті для заряджання конденсатора і живлення схеми управління зварювальний трансформатор Т крім силових обмоток W1 W2 оснащений додатковою малопотужною обмоткою W3 (рис. 3.37). Комутатор зібраний на тиристорах VS1 та VS2.

Схема управління БУ забезпечує подавання стабілізуючого імпульсу кожний раз, коли зникає зварювальний струм, а при випадкових обривах дуги – при максимальній напрузі на вторинній обмотці зварювального трансформатора.

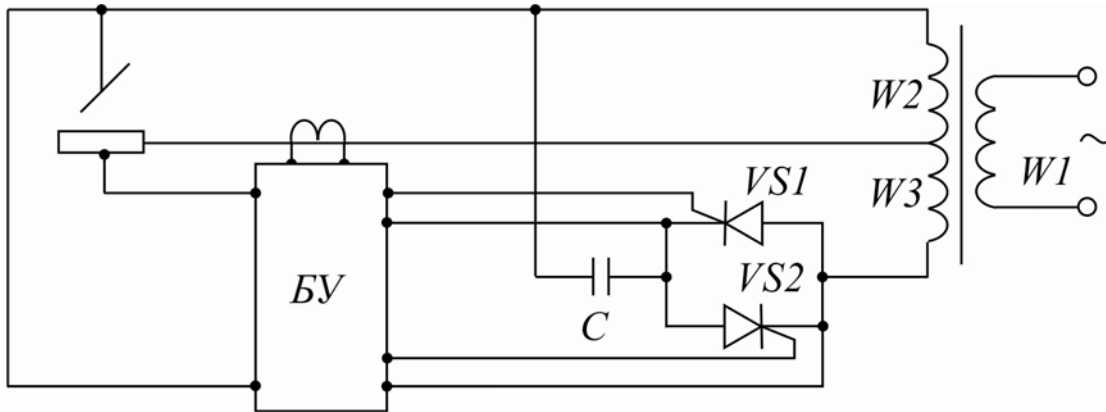


Рис. 3.37. - Схема вмикання ПСГД, вбудованого у зварювальний трансформатор

ПСГД налагоджують таким чином, щоб напрямок стабілізуючих імпульсів, що спрямовуються у дуговий проміжок, був зворотнім напрямку зварювального струму $I_{св}$ (рис. 3.38). Тоді напруга, що наводиться від цього імпульсу у вторинній обмотці трансформатора, буде додаватись до напруги повторного запалювання дуги, завдяки чому ефективність стабілізації підвищується. Після припинення зварювання ПСГД працює протягом біля однієї секунди, а далі автоматично вимикається.

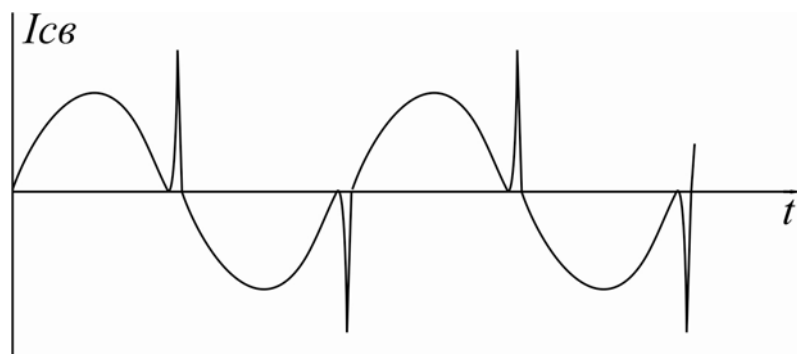


Рис. 3.38. - Криві зварювального струму та стабілізуючих імпульсів

Промисловість випускає декілька типів ПСГД: СД-2, СД-3, СД-4, СД-100М, як у автономному, так і вбудованому виконанні. Автономні виконують у вигляді окремих блоків, які можна підключити до будь-якого трансформатора для ручного дугового зварювання.

ПСГД типу СД-2 забезпечує передачу в дуговий проміжок одного імпульсу енергії протягом того на півперіоду змінного струму, коли на електрод поступає напруга позитивної полярності, тобто частота імпульсів

складає 50 Гц. ПСГД типів СД-3 та СД-100М генерують імпульси з частотою 100 Гц на початку кожного напівперіоду зварювальної напруги.

Оснащення зварювальних трансформаторів пристроями стабілізації дуги розширює технологічні можливості зварювання змінним струмом, забезпечує підвищення якості та продуктивності робіт, зниження витрат електроенергії

3.8 Паралельна робота зварювальних трансформаторів

Паралельною зветься робота трансформаторів, ввімкнених первинними обмотками на спільну первинну мережу, а вторинними під'єднаних до спільного навантаження. В умовах зварювання паралельна робота джерел живлення застосовується у випадках, коли номінальна потужність одного джерела недостатня для забезпечення необхідної потужності дуги. Для одержання заданого режиму зварювання із дотриманням паспортних характеристик джерел при їх з'єднанні необхідно враховувати певні вимоги, що зветься умовами паралельної роботи. Основні з цих вимог наводяться нижче:

1) Усі клеми з'єднаних джерел, що мають однакову полярність або фазу, з'єднуються між собою, утворюючи дві клеми, від яких живиться дуга.

2) Напруги холостого ходу з'єднаних джерел повинні бути однаковими. При невиконанні цієї умови в замкнених контурах, що утворюються вторинними обмотками з'єднувальних джерел із незначним активним та індуктивним опором, наводяться значні вирівнювальні струми. Ці струми обмежуються лише сумарним опором короткого замикання обмоток $Z_{к1}$ та $Z_{к2}$

$$I_{вир} = \frac{\Delta E_2}{Z_{к1} + Z_{к2}}$$

де $\Delta E_2 = E_{21} - E_{22}$ – різниця напруг холостого ходу джерел.

3) Зовнішні характеристики з'єднаних джерел повинні бути подібними. При з'єднанні джерел із різними характеристиками коливання довжини дуги в процесі зварювання будуть супроводжуватись неоднаковою зміною напруги на виході джерел живлення, що буде призводити (згідно попереднього пункту) до появи значних вирівнювальних струмів у вторинних колах джерел.

4) Спільний струм навантаження дорівнює сумі струмів окремих джерел і розподіляється між ними зворотно пропорційно їх повним опорам. Відповідно, джерела різної потужності можливо з'єднувати на паралельну роботу при умові, що спільний струм їх навантаження не буде перевищувати суми номінальних струмів усіх джерел, ввімкнених між собою.

При паралельному з'єднанні зварювальних трансформаторів перелічені вище загальні вимоги можуть бути сформульовані у більш конкретизованому вигляді:

- щоб отримати однакові напруги холостого ходу джерел, повинні бути рівними коефіцієнти трансформації з'єднуваних трансформаторів. при незначних опорах короткого замикання вирівнювальні струми можуть досягати небезпечних для нормальної експлуатації значень навіть при незначній різниці коефіцієнтів трансформації, тому вона обмежується величиною 0.5%, що відповідає вирівнювальним струмам у (5...10)% $I_{ном}$. Ця вимога дещо пом'якшується у трансформаторах із круто падаючими зовнішніми характеристиками, що мають великі значення Z_k ;
- для одержання однакової полярності та запобігання зсуву фаз первинні обмотки трансформаторів необхідно підключати до одних і тих же лінійних дротів мережі;
- вторинні обмотки трансформаторів з'єднуються у однаковій полярності. Для цього початок однієї вторинної обмотки з'єднується із початком другої, аналогічно з'єднуються кінці обмоток (рис. 3.39).

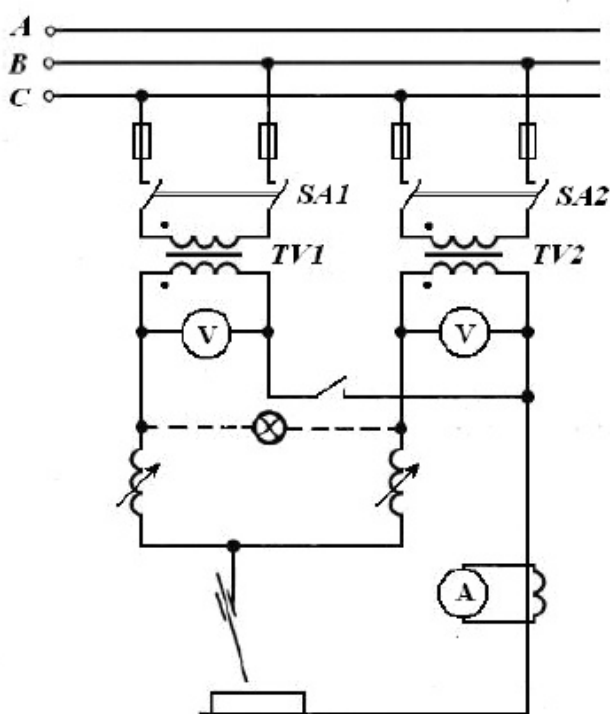


Рис. 3.39. - Паралельне з'єднання зварювальних трансформаторів

Одна пара клем вмикається тільки за допомогою рубильника або контактів силового контактора. Якщо рубильник вимкнений, можливо окремо ввімкнути первинні обмотки трансформаторів у мережу і здійснювати налагодження кожного з трансформаторів на необхідний робочий режим.

Правильність з'єднання обмоток здійснюється наступним чином. Спочатку з'єднують кінці первинних обмоток, далі з'єднують два кінці вторинних обмоток, а між двома іншими кінцями вмикають вольтметр або лампу на 120 В. Якщо кінці з'єднані правильно, то стрілка вольтметра буде на нулі, а лампа не загориться. Якщо вольтметр покаже напругу 120...160 В або загориться лампа, значить кінці вторинних обмоток з'єднані неправильно. В цьому випадку слід поміняти місцями кінці вторинних або первинних обмоток одного з трансформаторів.

3.9 Приклади розрахунку зварювальних трансформаторів для ручного дугового зварювання

Вихідними даними при розрахунку являються розрахункова потужність трансформатора, протяжність навантаження, номінальний струм й межі його регулювання, номінальна робоча напруга та напруга холостого ходу. Розрахунок ведеться методом послідовних наближень. Попередньо визначаються основні геометричні розміри трансформатора, а потім проводиться перевірочний розрахунок усіх заданих величин. В першу чергу індуктивного опору, потім уточнюють геометричні розміри та ін.

3.9.1 Порядок розрахунку зварювального трансформатора з рухомими обмотками

3.9.1.1 Мінімальні та максимальні індуктивні опори, що забезпечують задані межі регулювання:

$$X_{\min} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{22}^2}}{I_{22}}, \quad X_{\max} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{21}^2}}{I_{21}} \quad (3.22)$$

де U_{20} – напруга холостого ходу;

I_{22} і I_{21} – максимальний та мінімальний струм навантаження;

U_{22} і U_{21} - робочі напруги (у вольтах), що відповідають струмам навантаження I_{22} і I_{21} та визначаються за формулою:

$$U_2 = 20 + 0,04I_2, \quad (3.23)$$

3.9.1.2 Кількість витків обмоток.

В зварювальному трансформаторі вибір числа витків обмоток має принципове значення, так як витки визначають межі регулювання зварювального струму.

Для вибору числа витків обмоток W_1 і W_2 рекомендовано користуватись емпіричною залежністю параметра E_w (у вольтах на один виток) від розрахункової потужності трансформатора - P_P (в кіловольт-амперах):

$$E_w = 0,55 + 0,095 P_P \quad (3.24)$$

Потужність трансформатора в кіловольт - амперах:

$$P_P = U_{20} I_{2ном} \sqrt{\frac{ПН}{100} \cdot 10^{-3}} \quad (3.25)$$

де $I_{2ном}$ - номінальний вторинний струм, А;

$ПН$ - протяжність навантаження, %.

Кількість витків обмоток:

$$W = \frac{U_1}{E_w}, \quad W = \frac{U_{20}}{E_w} \quad (3.26)$$

3.9.1.3 Кількість витків котушок.

При паралельному з'єднанні котушок $W_{1к} = W_1$; $W_{2к} = W_2$.

При послідовному з'єднанні котушок $W_{1к} = 2W_1$; $W_{2к} = 2W_2$.

3.9.1.4 Номінальний струм первинної обмотки в амперах:

$$I_{1ном} = \frac{I_{2ном} \cdot k_\mu}{n}, \quad (3.27)$$

де - $k_\mu = 1,05 \dots 1,1$ - коефіцієнт, що враховує намагнічуючий струм трансформатора;

n - коефіцієнт трансформації.

3.9.1.5. Переріз сталі осердя трансформатора у квадратних сантиметрах:

$$S_c = \frac{U_{20} \cdot 10^4}{4,44 \cdot F \cdot W_2 \cdot B_m} \quad (3.28)$$

де B_m - індукція в сердечнику, Тл

Для холодної сталі індукція складає $B_m = 1.6 \dots 1.7$ Тл.

3.9.1.6 Конструктивні розміри трансформатора. Розрахунок конструктивних розмірів проводиться для стержневого магнітопроводу, ескіз якого наведено на рис. 3.40. Далі всі лінійні розміри дано в міліметрах, перерізи - в квадратних міліметрах.

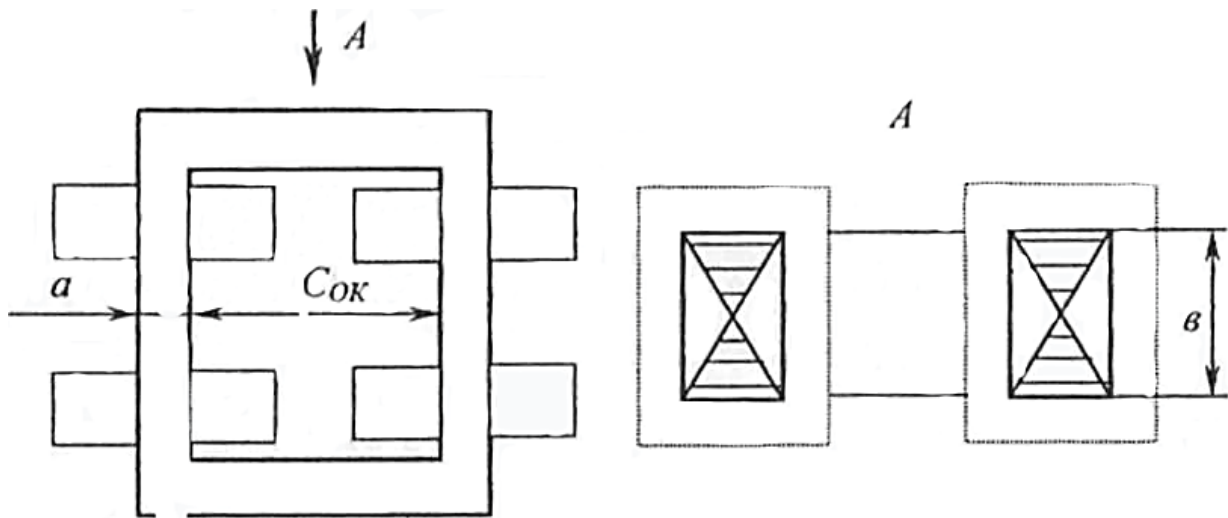


Рис. 3.40. - До розрахунку геометричних розмірів трансформатора

Ширина пластини стержня a і ширини вікна $C_{ок}$ магнітопроводу:

$$a = \sqrt{\frac{S_c \cdot 10^2}{p_1 \cdot K_c}}, \quad C_{ок} = \frac{b}{p_2} \quad (3.29)$$

де $p_1 = b/a = 1,8 \dots 2,2$; $p_2 = 1,0 \dots 1,2$;

$K_c = 0,95 \dots 0,97$ – коефіцієнт заповнення сталі;

b – висота набору магнітопроводу.

Перерізи намотувальних дротів:

$$q_1 = \frac{I_{1ном}}{j_1}, \quad q_2 = \frac{I_{2ном}}{j_2}, \quad (3.30)$$

Для трансформаторів на струм до 500 А для ручного дугового зварювання використовуються алюмінієві намотувальні дроти. Для первинної обмотки використовують дріт марки АПСД, для вторинної - голу шину марки АД0.

Щільність струму в обмотках складає $j_1 = 2,4 \dots 2,8$ А/мм², $j_2 = 2,1 \dots 2,3$ А/мм². Розміри намотувальних дротів знаходять згідно визначеного перерізу по таблицях стандартів або технічних умов.

3.9.2. Розрахунок зварювального трансформатора з рухомим магнітним шунтом

Розрахунок трансформатора з повністю виведеним за межі магнітопроводу магнітним шунтом подібний розрахунку трансформатора з рухомими обмотками, порядок розрахунку якого наведений у п. 3.9.1. Однак, слід вважати, що наявність виведеного шунта дещо впливає на характер поля розсіювання, в результаті чого мінімальний індуктивний опір такого трансформатора на 20... 30% вище, ніж у подібного трансформатора з рухомими обмотками. Максимальний індуктивний опір, що відповідає повністю введеному в межі магнітопроводу трансформатора магнітному шунту, буде перевищувати аналогічний опір трансформатора з рухомими обмотками X_{max} на складову $X_{ш}$, що створюється завдяки магнітним потокам розсіювання через шунт:

$$X_{ш} = \frac{K_{\epsilon} \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot W_2^2 \cdot S_{ш}}{2\delta}, \quad (3.31)$$

де $K_{\epsilon} = 1,1$ - коефіцієнт, що враховує "випучування" магнітного потоку шунта;

$S_{ш}$ - площа перерізу магнітного шунта, м²;

$\omega = 2\pi f$ - частота струму, Гц;

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ - магнітна стала, Гн/м;

δ - величина зазору між шунтом та магнітопроводом трансформатора, м (звичайно, $\delta = 0,008 \dots 0,015$ м).

Питання для самоперевірки

1. Чим відрізняються реальний та ідеальний трансформатори.
2. Як визначають трансформатори з нормальним та збільшеним магнітним розсіюванням.

3. Способи регулювання режиму в трансформаторах з нормальним магнітним розсіюванням.
4. Способи регулювання режиму в трансформаторах із збільшеним магнітним розсіюванням.
5. Варіанти будови трансформаторів з електричним регулюванням.
6. Забезпечення стабільного запалювання дуги в трансформаторах з електричним регулюванням.
7. Вимоги до паралельного з'єднання зварювальних трансформаторів.

4. ЗВАРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТА ГЕНЕРАТОРИ

4.1. Загальні відомості

Генератори для дугового зварювання представляють собою особливий тип електричних машин постійного струму із технологічними властивостями, що забезпечують легке збудження та стійке горіння зварювальної дуги та отримання зварного шва із необхідними якісними показниками.,

Установка, що складається із зварювального генератора та привідного електродвигуна, називається зварювальним перетворювачем. Якщо в якості привідного застосовується двигун внутрішнього згоряння, то така установка називається зварювальним агрегатом.

Зварювальні перетворювачі можливо розділити на наступні групи:

- 1) за кількістю постів – на одно- та багатопостові;
- 2) за способом встановлення – на стаціонарні, нерухомо встановлені на фундаментах у зварювальних цехах, та пересувні, що встановлюються на рамах або колесах;
- 3) за родом двигунів, що забезпечують обертання якоря генератора, - з електричними двигунами змінного струму та із двигунами внутрішнього згоряння (бензиновими, дизельними);
- 4) за способом виконання – на однокорпусні та розділені (зварювальний генератор та двигун встановлені на спільній рамі, а їхні вали з'єднані муфтою);
- 5) за формою зовнішньої статичної характеристики – із падаючими, жорсткими та комбінованими характеристиками.

Зварювальний генератор повинен мати зовнішню характеристику, яка відповідає способу зварювання. Напруга холостого ходу генератора повинна бути достатньою для надійного збудження та стійкого горіння дуги. Генератор повинен забезпечувати регулювання величини зварювального струму в достатньо широких межах.

Принцип перетворення в генераторі механічної енергії привідного двигуна у електричну заснований на законі електромагнітної індукції. У рамці провідника (витку якоря генератора), що обертається у постійному магнітному полі, виникає е.р.с.

$$E_{\Gamma} = C\Phi_{\text{м}}$$

де $\Phi_{\text{м}}$ – магнітний потік у повітряному зазорі між полюсами якоря та статора (на один виток);

C – постійна генератора.

Напруга на вихідних клеммах генератора із врахуванням падіння напруги на ділянці кола якоря визначається як:

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} - I_{\text{я}}R_{\text{я}}$$

або

$$U_{\Gamma} = C\Phi_{\text{м}} - I_{\text{я}}R_{\text{я}},$$

де $I_{\text{я}}$ – струм в якорі генератора;

$R_{\text{я}}$ – сумарний опір ділянки кола якоря генератора.

Якщо результуючий магнітний потік $\Phi_{\text{м}}$ у повітряному зазорі під полюсом не змінюється при навантаженні, а опір кола якоря є незначним, то зовнішня характеристика генератора буде жорсткою. Відповідно, падаючу зовнішню характеристику можна отримати зменшенням цього потоку при збільшенні зварювального струму.

Для стабільного протікання процесу зварювання важливе значення мають не тільки статичні, але й динамічні властивості джерела, при яких незважаючи на короточасні та різкі зміни провідності дугового проміжку, створювалися б умови для стійкого існування енергетичної системи джерело живлення-дуга-зварювальна ванна. До динамічних властивостей генератора пред'являють жорсткі вимоги, які достатньо важко виконати, оскільки колекторним генераторам властива значна електромагнітна інерція. Не завжди генератор, що задовольняє вимогам до його статичних властивостей, може забезпечити стійкий процес зварювання.

Досвідом застосування зварювальних джерел виявлений основний тип зварювального генератора із падаючими зовнішніми характеристиками, властивості якого відповідають вимогам технології дугового зварювання. Таким генератором є генератор із розмагнічуючою послідовною обмоткою, що випускається у двох модифікаціях: незалежного збудження та із самозбудженням. Останні, як правило, застосовуються у складі зварювальних агрегатів у польових умовах при відсутності силової електричної мережі.

Крім цього генератора в менших об'ємах застосовуються генератори із жорсткими зовнішніми характеристиками, універсальні генератори, вентильні генератори. Всі перелічені типи генераторів відносяться до загальнопромислових джерел живлення і призначені для ручного дугового та механізованого зварювання під флюсом або в середовищі вуглекислого газу маловуглецевих та низьколегованих сталей.

4.2 Зварювальні генератори із незалежним збудженням

Генератори із незалежним збудженням та послідовною обмоткою розмагнічення отримали широке розповсюдження лише в поєднанні з електродвигунами змінного струму. Це пояснюється тим, що незалежна обмотка збудження може живитись від тієї ж мережі, що і електродвигун. За цією схемою побудовані генератори типу ГСО-300, ГСО-500, ГСО-800, що входять до складу відповідних перетворювачів ПСО для ручного та механізованого зварювання під флюсом.

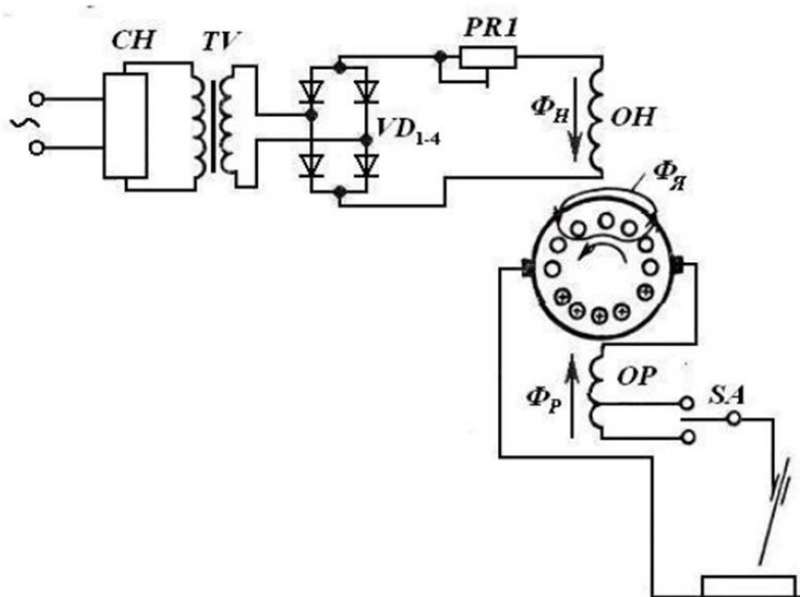


Рис. 4.1. - Схема генератора незалежного збудження із послідовною обмоткою розмагнічення

Генератори (рис.4.1) мають дві обмотки збудження, розташовані на різних полюсах. Незалежна обмотка збудження *OH* отримує живлення від окремого джерела змінного струму через стабілізатор напруги *CH* та селеновий випрямляч *VD*. Оскільки по цій обмотці протікає незначний струм (до 10...15 А) збудження, то для створення достатньо потужного магнітного потоку вона має значну кількість витків добре ізольованого дроту незначного перерізу. Сила струму в колі незалежного збудження регулюється реостатом *PR1*.

Послідовна (серієсна) обмотка *OP* ввімкнена послідовно із обмоткою якоря генератора і виготовляється із товстих мідних або алюмінієвих шин, оскільки через неї протікає зварювальний струм. Кількість витків послідовної обмотки незначна – по два витки на полюс, від половини витків зроблений відвід, винесений на перемикач *SA*.

Послідовна обмотка ввімкнена таким чином, що її магнітний потік Φ_p спрямований назустріч головному намагнічуючому потоку Φ_n . Зменшуючи магнітне поле, створене магнітним потоком Φ_n , магнітний потік Φ_p розмагнічує генератор. В результаті дії цих потоків з'являється результуючий потік $\Phi_{рез}$.

$$\Phi_{рез} = \Phi_n - \Phi_p \quad (4.1)$$

Режим холостого ходу генератора.

При холостому ході зварювальний струм, а отже і магнітний потік послідовної обмотки Φ_p дорівнює нулю.

$$\Phi_p = 0; \quad \Phi_{рез} = \Phi_n$$

Напруга холостого ходу залежить тільки від діючого магнітного потоку намагнічуючої обмотки Φ_n .

$$U_{xx} = C\Phi_n \quad (4.2)$$

Магнітний потік Φ_n в свою чергу залежить від струму, який протікає в ланцюзі обмотки OH . Це дає можливість змінювати величину напруги холостого ходу

$$\Phi_n = I_n W_n / R_\mu \quad (4.3)$$

де R_μ – магнітний опір повітряних зазорів між полюсами (опір магнітопроводу внаслідок його незначної величини не враховують).

З цієї формули видно, що магнітний потік Φ_n , а отже і напругу холостого ходу можна регулювати реостатом RP , змінюючи величину струму в ланцюзі намагнічуючої обмотки. Граничні положення реостата дають максимальне і мінімальне значення напруги холостого ходу.

Режим навантаження генератора.

При навантаженні з'являється зварювальний струм, який створює магнітні потоки послідовної обмотки Φ_p і якоря Φ_α . Дію магнітного потоку якоря не враховують, бо його намагнічуюча дія в одній половині генератора компенсується розмагнічуючою дією в другій половині, а напруга знімається з усіх витків якоря одночасно.

Як відомо, е.р.с., яка індукується в якорі генератора, залежить від результуючого магнітного потоку $\Phi_{рез}$, що діє в повітряному зазорі між

полюсами статора та якоря:

$$E = C\Phi_{рез} \quad (4.4)$$

Магнітний потік $\Phi_{рез}$ є результатом для двох магнітних потоків: потоку Φ_H , що з'являється під дією магніторушійної сили намагнічуючої обмотки OH і потоку Φ_P , який створюється магніторушійною силою послідовної розмагнічуючої обмотки OP . Звідси, е.р.с. на виході генератора:

$$E = C(\Phi_H - \Phi_P) \quad (4.5)$$

Робоча напруга генератора менша за е.р.с. в якорі на величину падіння напруги всередині нього, тобто

$$U_p = E - I_a R_r \quad (4.6)$$

де I_a – зварювальний струм, що протікає по обмотках якоря генератора; R_r – внутрішній опір генератора (якоря, послідовної обмотки збудження, перехідних опорів щіток та ін.), величина якого не перевищує 0,01...0,015 Ом.

Отже

$$U_p = C(\Phi_H - \Phi_P) - I_a R_r \quad (4.7)$$

Магнітний потік Φ_P залежить від кількості витків послідовної обмотки W_p , величини зварювального струму I_a та опору магнітного кола R_μ :

$$\Phi_P = I_a W_p / R_\mu \quad (4.8)$$

тому із збільшенням зварювального струму протидіючий магнітний потік Φ_P збільшується, а результуючий магнітний потік $\Phi_{рез}$ та робоча напруга на виході генератора зменшуються.

Таким чином, завдяки розмагнічуючій дії послідовної обмотки збудження створюється падаюча зовнішня характеристика генератора.

Режим короткого замикання.

При короткому замиканні потік Φ_P різко зростає і результуючий потік стає зовсім малим. Цей магнітний потік індукує в обмотці якоря дуже невелику е.р.с., котра майже повністю йде на створення падіння напруги всередині генератора ΔU , отже, робоча напруга падає майже до нуля, тим самим обмежуючи струм короткого замикання.

Величина струму короткого замикання може бути визначена за законом Ома для повного кола:

$$I_{кз} = E / (R_{Г} + R_{зк})$$

де $R_{зк}$ – опір зовнішнього кола. Звідси

$$I_{кз} = U_p + \Delta U_p / (R_{Г} + R_{зк}) \quad (4.9)$$

Так як $U_p = 0$, то можна зробити висновок, що невелика частина е.р.с., яка залишилася усередині генератора, викликає великий струм короткого замикання, оскільки опір зовнішнього кола й опір якоря генератора $R_{я}$ дуже малі.

Регулювання зварювального струму.

Зварювальний струм знаходиться в прямій залежності від величини магнітного потоку Φ_n і в зворотній залежності від величини магнітного потоку Φ_p . Величину намагнічуючого потоку можна змінювати за рахунок зміни струму в колі незалежної обмотки реостатом RP . Цей реостат має невеликі розміри, бо струм збудження, як правило, не перевищує декількох ампер.

Недолік цього способу полягає в зміні напруги холостого ходу. Із збільшенням зварювального струму зростає і необхідна напруга холостого ходу генератора. При зменшенні ж зварювального струму напруга холостого ходу знижується і може стати недостатньою для збудження дуги. Тому в генераторах, побудованих за цією схемою, використовується комбінований спосіб: регулювання в великих межах виконується секціонуванням послідовної обмотки OP (при цьому напруга холостого ходу генератора не змінюється), а більш точне регулювання - реостатом в колі незалежної обмотки збудження (рис. 4.2).

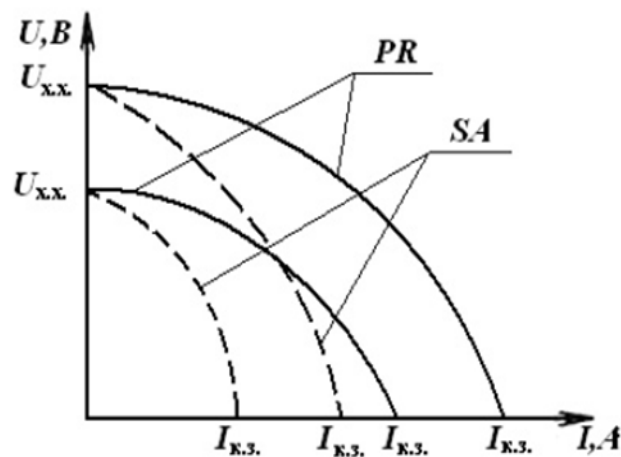


Рис. 4.2. - Зовнішні характеристики генератора ГСО при регулюванні зварювального струму реостатом та послідовною обмоткою

Розглянуті генератори можуть мати також жорстку зовнішню характеристику. З цією метою послідовну обмотку в колі якоря генератора перемикають таким чином, щоб її магнітний потік діяв не назустріч, а в одному напрямку із потоком незалежної обмотки збудження (рис. 4.3а).

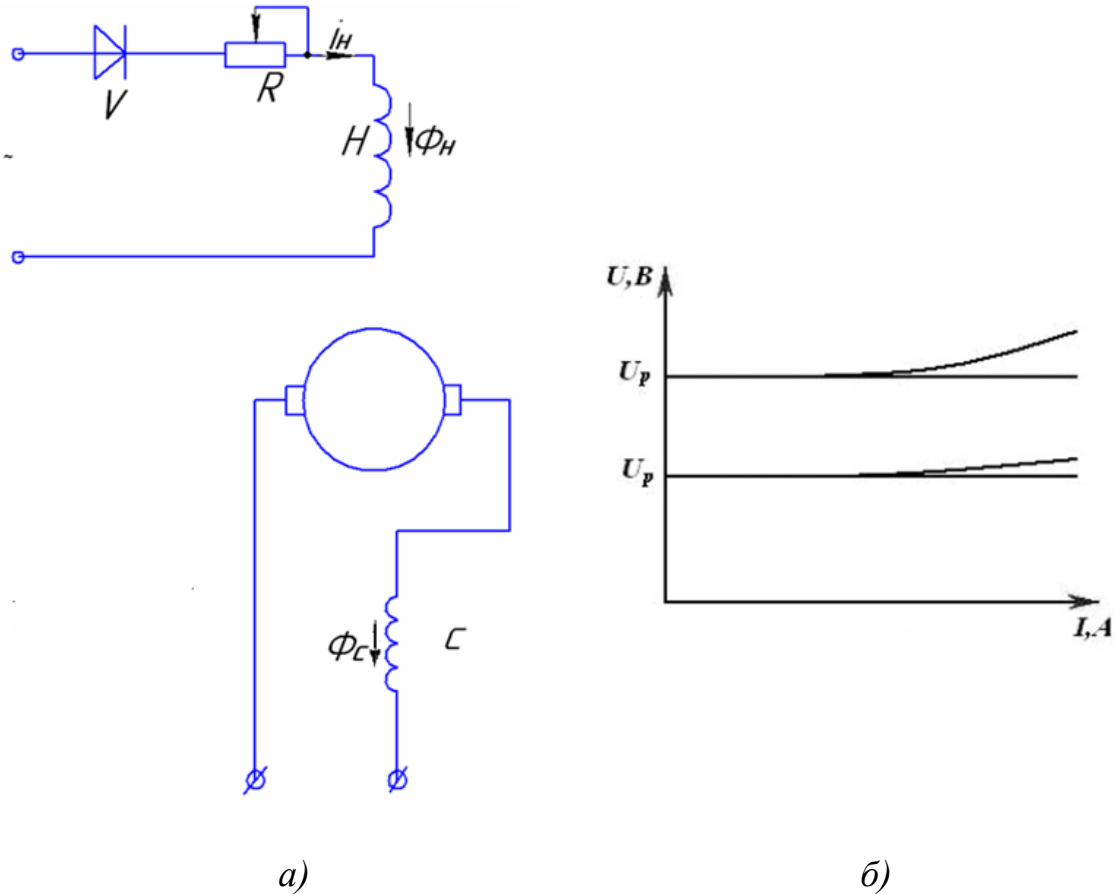


Рис. 4.3. - Схема генератора з незалежним збудженням і намагнічуючою послідовною обмоткою (а) та його зовнішні характеристики (б)

В цьому випадку робоча напруга на виході генератора:

$$U_p = C(\Phi_n + \Phi_c) - I_a R_a$$

Оскільки кількість витків послідовної обмотки мала (усього по одному витку на полюс), то потік Φ_c при струмах орієнтовно до 100А не впливає на величину робочої напруги. При більших струмах, коли в генераторі з'являються витрати напруги за рахунок активного опору витків якоря, потік Φ_c підсилює потік Φ_n , відновлюючи робочу напругу (рис. 4.3,б).

За такою схемою працюють генератори типу ГСГ, якими оснащуються зварювальні перетворювачі серії ПСГ для зварювання плавким електродом в середовищі вуглекислого газу.

4.3. Зварювальні генератори із самозбудженням

Генератори цієї системи за принципом дії багато в чому подібні до генераторів із незалежним збудженням. Основною їх відмінністю є самозбудження генератора.

Обмотка намагнічування $ОН$ (рис. 4.4), на відміну від попередніх генераторів, підімкнена паралельно половині витків обмотки якоря генератора – до однієї з основних щіток a та додаткової щітки b , розташованій на колекторі посередині між двома основними щітками a та c . Е.р.с. у тій половині обмотки якоря, до якої паралельно відімкнена обмотка намагнічування, майже не змінюється при навантаженні. Пояснюється це наступним.

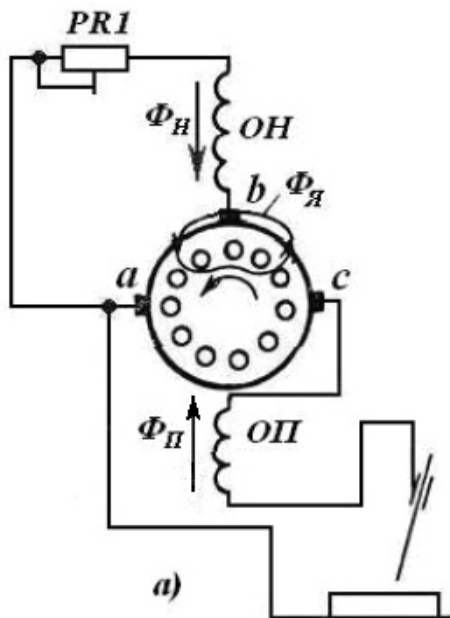


Рис.4.4. Схема генератора із паралельною намагнічуючою та послідовною розмагнічуючою обмотками збудження.

При навантаженні у повітряному зазорі генератора взаємодіють три потоки: потік Φ_H обмотки намагнічування $ОН$, потік Φ_{Π} послідовної (серієсної) обмотки розмагнічування $ОП$ та потік поперечної реакції якоря $\Phi_{\text{я}}$. Потік поперечної реакції якоря, який замикається через якір та полюси, підмагнічує одну половину (ліву на рис. 4.4) головного полюсу, будучи спрямованим узгоджено із потоком Φ_H . Другу половину цього полюсу (праву на рис.4.4) він розмагнічує, оскільки в цій частині повітряного зазору він спрямований назустріч потоку Φ_H та узгоджено із потоком Φ_{Π} . Потоки Φ_{Π} та $\Phi_{\text{я}}$ пропорційні зварювальному струму.

Параметри послідовної обмотки підбираються таким чином, щоб кількість її витків орієнтовно дорівнювала кількості витків якоря $W_{\Pi} \approx W_{\text{я}}$. В

цьому випадку потік поперечної реакції якоря компенсує розмагнічуючу дію послідовності обмотки на ділянці між щітками a та b таким чином, що результуючий магнітний потік в цій частині зазору під головним полюсом змінюється незначно. Цей сумарний потік визначає величину напруги U_{ab} на щітках $a-b$, до яких підключена обмотка намагнічування, тому напруга U_{ab} на цій обмотці при навантаженні буде практично незмінною,

$$U_{ab} = c (\Phi_n + \Phi_{\text{я}} - \Phi_{\text{п}}) \approx c \Phi_n$$

і залежатиме лише від потоку обмотки намагнічування Φ_n .

У другій половині повітряного зазору під головним полюсом потік поперечної реакції якоря навпаки, підсилює розмагнічування, діючи узгоджено із потоком $\Phi_{\text{п}}$ послідовної обмотки. Тому сумарний потік в цій частині повітряного зазору не тільки зменшується при навантаженні до нуля, але й змінює свій напрямок, зростаючи при подальшому збільшенні навантаження. У відповідності з цим е.р.с. у другій половині обмотки якоря та напруга U_{cb} на щітках $c-b$

$$U_{cb} = c (\Phi_n - \Phi_{\text{п}} - \Phi_{\text{я}})$$

будуть із зростанням навантаження зменшуватися до нуля, а далі змінювати свій знак, зростаючи при збільшенні навантаження. Таким чином, в результаті взаємодії незалежного потоку обмотки намагнічування та протилежного потоку послідовної обмотки напруга на основних щітках U_{ac} , що дорівнює алгебраїчній сумі напруг U_{ab} та U_{cb} , буде із зростанням навантаження зменшуватися, тобто зовнішня характеристика генератора буде падаючою.

Регулювання режиму в генераторах цієї системи здійснюється таким же чином, як і у зварювальних генераторах із незалежним збудженням. Плавне регулювання в межах кожної ступені здійснюється реостатом в колі обмотки намагнічення, а ступінчасте – секціонуванням послідовної обмотки (рис. 4.4).

За подібною схемою побудовані генератори, які є основою зварювальних агрегатів різних типів.

4.4 Вентильні генератори

Вентильний зварювальний генератор представляє собою електричну машину змінного струму із випрямлячем. У вентильних генераторах, на

відміну від колекторних, випрямляч є не механічним, а напівпровідниковим, який випрямляє змінний струм підвищеної частоти, що наводиться у статорних обмотка, у постійний зварювальний струм. Вентильні генератори забезпечують високу стабільність горіння та еластичність дуги. Коефіцієнт корисної дії вентильних генераторів в середньому на 10% вище к.к.д. генераторів самозбудження типу ГСО, а їх маса значно менше. Застосування вентильних генераторів дозволяє у 2-3 рази зменшити розбризкування металу, поліпшити якість зварних швів. У промисловості використовуються вентильні генератори ГД-311, ГД-312 та ін.

Вентильний генератор складається з індукторного синхронного генератора підвищеної частоти та статичного безконтактного пристрою випрямлення. Електрична схема генератора наведена на рис. 4.5.

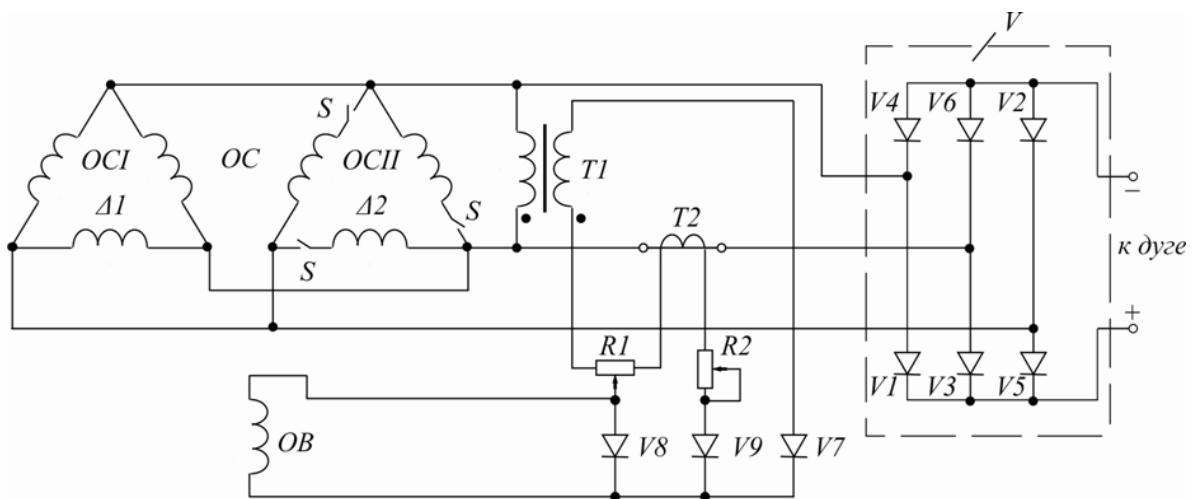


Рис. 4.5. - Принципова електрична схема вентильного генератора типу ГД-312 із самозбудженням

На статорі генератора розташована трьохфазна силова обмотка. На роторі генератора обмотка відсутня.

Ротор генератора складається з двох пакетів, набраних з листів електротехнічної сталі, розташованих на валу на деякій відстані по осі вала один від одного. Полюси одного пакета зсунуті просторово на π електричних градусів відносно полюсів другого. Нерухома циліндрична обмотка збудження *OB*, що живиться постійним струмом, закріплюється на корпусі генератора у проміжку між пакетами ротору. Магнітний потік, що створюється обмоткою збудження і замикається через пакети ротору, обумовлює їх полярність. Один пакет має полярність *N*, а другий *S*. Обмотка *OC* статора генератора розділена на дві обмотки *OCI* та *OCII*. Фази статорної обмотки зсунуті по периметру статора на $2\pi/3$ електричних градусів.

При обертанні ротора його магнітне поле, замикаючись через пакети, перетинає витки фаз обмотки статора. При періодичних змінах поля у витках фаз обмотки статора індукуються синусоподібні е.р.с., зсунуті між собою на $2\pi/3$ електричних градусів. Фази обмоток *ОСІ* та *ОСІІ* з'єднуються у трикутники. При вмиканні однієї обмотки *ОСІ* (при розімкнених контактах *S* обмотки *ОСІІ*) генератор працює на ступені малих струмів від 40 до 180 А. При замиканні контактів *S* у фазах обмотки *ОСІІ* вона підключається паралельно до обмотки *ОСІ* і генератор працює на ступені великих струмів від 160 до 350 А. При цих перемиканнях величина напруги холостого ходу залишається незмінною. Змінні фазні е.р.с. в обмотці статора генератора мають підвищену частоту, яка визначається кількістю пар полюсів та частотою обертання індукторного ротору. У генератора типу ГД-312, що має кількість пар полюсів $2p=8$, при частоті обертання приводного двигуна внутрішнього згоряння 2000 хв^{-1} , частота фазних е.р.с. дорівнює 133 Гц, а при приводному асинхронному двигуні, що має частоту обертання 2820 хв^{-1} , частота фазних е.р.с. дорівнює 188 Гц.

Трьохфазні змінні е.р.с. статорної обмотки перетворюються у постійну е.р.с. блоком випрямлення *V*, зібраним за трьохфазною мостовою схемою на селенових або кремнієвих вентилях. Від відводів блоку *V* отримує живлення зварювальна дуга. Падаючі зовнішні характеристики генератора отримуються за рахунок значних індуктивних опорів фаз обмотки статора, що властиво синхронним машинам. Величина індуктивних опорів фаз вентильного генератора залежить від конструктивних параметрів генератора та від ступеня насичення магнітного кола індукторного ротора.

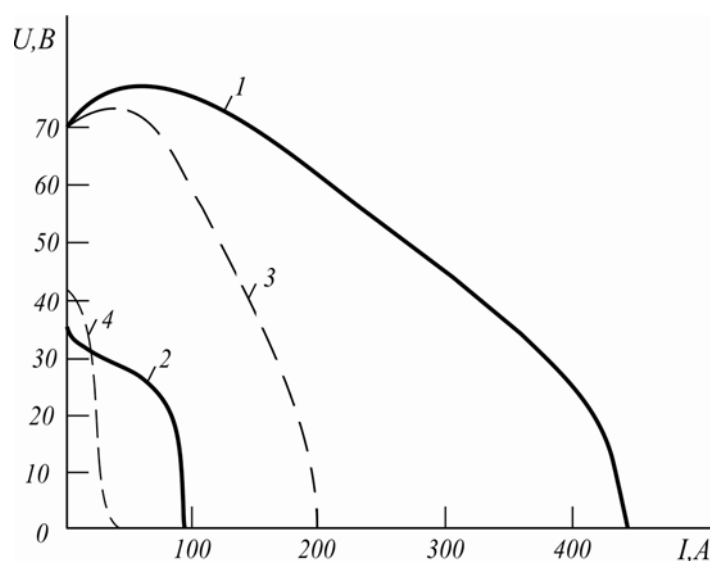


Рис. 4.6. - Зовнішні характеристики вентильного генератора типу ГД-312 при $R_2=0$ (криві 1, 3) та $R_2=\text{max}$ (криві 2,4)

В момент запуску, коли генератор не навантажений, а вал ротора почав обертатися, поле залишкового магнетизму полюсів ротору індукує у фазах обмотки статора е.р.с. порядку 7 В. На відводах трансформатора *T1* з'являється напруга, яка дорівнює значенню е.р.с. від поля залишкового магнетизму полюсів ротору. Трансформатор підвищує цю напругу, яка випрямляється вентилем *V7* і подається на обмотку збудження *OB* вентильного генератора. Генератор самозбуджується до напруги холостого ходу, величина якої встановлюється змінним резистором *R1*.

В напівперіод, коли вентильний генератор збуджується, вентиль *V8* зачинений, оскільки на його аноді від'ємний потенціал. В наступний на півперіод вентиль *V8* відкривається і через нього проходить струм за рахунок енергії, накопиченої в магнітному полі обмотки збудження, коли по ній проходив струм у наступний на півперіод. Із збільшенням навантаження напруга на фазах статорної обмотки знижується; водночас знижується середнє значення вторинної напруги трансформатора *T1*, випрямленої вентилем *V7*. При навантаженні водночас із *T1* починає живити обмотку *OB* напругою, випрямленою вентилем *V9*, вторинна обмотка трансформатора *T2*.

Трансформатор *T2* в схемі вентильного генератора працює в режимі трансформатора струму. У вентилях *V7*, *V8*, *V9* протікають імпульси струмів, зсунуті у часі. Обмотка збудження *OB* живиться випрямленою напругою, яка протягом всього періода є постійною.

Плавне регулювання в межах кожної ступені здійснюється резистором *R2*, за допомогою якого можливо регулювати нахил зовнішніх характеристик. Це можливо завдяки тому, що величини індуктивних опорів фаз обмотки статора залежать від ступеня насичення магнітного кола індукторів ротора. Керування резистором *R2* дистанційне.

Питання для самоперевірки

1. Класифікація зварювальних генераторів.
2. Способи створення зовнішніх характеристик в генераторах із незалежним збудженням.
3. Способи регулювання режиму в генераторах з незалежним збудженням.
4. Яким чином створюється падаюча зовнішня характеристика в генераторах із самозбудженням.
5. Як створюється зовнішня характеристика у вентильних генераторах.

5 ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

5.1 Загальні відомості

Зварювальні випрямлячі представляють собою статичні перетворювачі енергії мережі змінного струму в енергію випрямленого струму, яка застосовується для дугового зварювання.

Зварювальні випрямлячі мають значні переваги у порівнянні з перетворювачами – високу стабільність горіння дуги, незначне розбризкування металу, високий к.к.д., менші втрати холостого ходу, більшу надійність внаслідок відсутності частин, що обертаються, безшумність в процесі роботи.

На даний час промисловістю випускаються однопостові та багатопостові зварювальні випрямлячі.

Однопостові випрямлячі можуть бути:

- з крутопадаючими зовнішніми характеристиками для ручного дугового зварювання покритими електродами та для механізованого зварювання під шаром флюсу;

- з жорсткими (повільнопадаючими) зовнішніми характеристиками для механізованого зварювання плавким електродом у захисних газах та без захисту дуги при зварюванні порошковим дротом;

- з універсальними зовнішніми характеристиками – крутопадаючими та жорсткими (повільнопадаючими) для усіх видів дугового зварювання.

Багатопостові випрямлячі також призначені для ручного дугового, механізованого та автоматизованого зварювання, або мають універсальне призначення.

5.2 Елементи конструкції зварювальних випрямлячів

Зварювальні випрямлячі складаються з наступних основних вузлів: силового понижуючого трансформатора, блоку випрямлення із напівпровідникових вентилів, складених у відповідну схему випрямлення, пристрою регулювання режиму зварювання, пускової та захисної апаратури.

Трансформатор призначений для перетворення енергії, що отримується від силової мережі, в енергію, необхідну для процесу зварювання. Крім того, за допомогою трансформатора здійснюється узгодження напруги мережі із необхідною вихідною напругою трансформатора – напругою холостого ходу.

В основному, в випрямлячах застосовують трифазні силові трансформатори із нормальним або збільшеним магнітним розсіюванням. Трифазні трансформатори забезпечують рівномірне завантаження усіх фаз мережі.

Для ручного дугового зварювання найбільше розповсюдження отримали випрямлячі із механічним регулюванням, силовий трансформатор яких виконаний за схемою із рухомими обмотками (зварювальні випрямлячі типу ВД). Для механізованого зварювання у вуглецевому газі випускаються випрямлячі, що регулюються зміною коефіцієнта трансформації силового трансформатору (типу ВС), методом магнітної комутації (типу ВСЖ), дроселем насичення (типу ВДГ). Універсальні випрямлячі мають електронне тиристорне регулювання.

Випрямлячі на відносно малі струми (до 300...500А) виконуються за трифазною мостовою схемою, на середні струми (до 500...1000А) – за шестифазною схемою із вирівнювальним реактором, на значні струми (1000А та більше) – за шестифазною кільцевою схемою випрямлення. В якості напівпровідникових вентилів застосовують кремнієві діоди та тиристори.

До складу випрямлячів із жорсткими та повільнопадаючими зовнішніми характеристиками входить стабілізуючий дросель, що вмикається в коло випрямленого струму. Дросель знижує швидкість нарощування зварювального струму та його максимальне значення при збудженні дуги (рис. 5.1), зменшує розбризкування металу при зварюванні плавким електродом, сприяє плавному переносу металу у ванну, а також, виконує роль індуктивного фільтра, згладжуючи пульсації випрямленого зварювального струму.

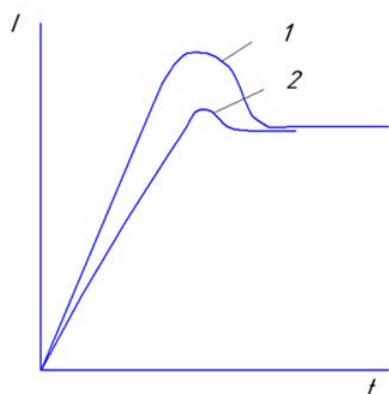


Рис.5.1. - Криві зміни струму у часі при збудженні дуги у відсутності (1) та наявності (2) стабілізуючого дроселя

Вентилі у зварювальних випрямлячах працюють у досить важких умовах, пов'язаних як із перевантаженням їх прямими струмами, так і з виникаючими у електричних колах стрибках напруги. Якщо при збудженні дуги контактним способом у випрямлячах із падаючими зовнішніми характеристиками при зварюванні плавким електродом зварювальний струм

перевищує номінальне значення струму стаціонарного горіння дуги у 1,5...2 рази, то для випрямлячів із жорсткою зовнішньою характеристикою це перевищення досягає 4...8 разів. Тому у випрямлячах із жорсткими та повільнопадаючими зовнішніми характеристиками для запобігання перегріванню та виходу з ладу напівпровідникових діодів повинно бути передбачено обмеження струму короткого замикання.

Крім того, при роботі вентилів у зварювальних випрямлячах у їх колах виникають стрибки напруги, що можуть призвести до пробою $p-n$ переходів у непровідну частину періоду. Ці стрибки з'являються завдяки е.р.с. самоіндукції, що виникає при переході вентилів від провідного до непровідного стану і може досягати проміжних значень. Для запобігання пробою $p-n$ переходу застосовують шунтування вентиля $R-C$ ланкою, яка сприймає частину напруги на заряд та розряд ємності.

Нормальна робота вентилів можлива лише в умовах примусового повітряного охолодження, оскільки тривале протікання значних прямих струмів може призвести до перегрівання та теплового руйнування $p-n$ переходів.

Пуско-регулююча та захисна апаратура призначена для вмикання та вимикання випрямляча, захисту його від аварійних ситуацій, налагодження на заданий режим та контролю за його підтриманням.

5.3 Схеми випрямлення

У зварювальних випрямлячах застосовується, як правило, багатофазне випрямлення, яке забезпечує рівномірне завантаження мережі живлення та краще, у порівнянні з однофазним, використання вентилів, активних матеріалів трансформатора та дроселів, а також меншу пульсацію вихідної напруги і струму.

Найбільше поширення у зварювальних випрямлячах отримали трифазна мостова, двійна трифазна схема із вирівнювальним реактором та шестифазна кільцева схема. Застосування шестифазних схем випрямлення викликано намаганням значно кращого використання вентилів за струмом (практично у два рази), незважаючи на ускладнення конструкції трансформатора, введення в окремі схеми додаткового елемента (вирівнювального реактора) та застосування вентилів і тиристорів більш високого класу.

До основних параметрів, що характеризують схему випрямлення і є необхідними при виборі вентилів для зварювальних випрямлячів відносять:

1) амплітудне значення зворотної напруги на вентилі $U_{zv.в.}$, необхідне при виборі класу вентилів;

2) діюче значення фазного струму вторинних обмоток трансформатора I_l в залежності від номінального випрямленого струму I_v з урахуванням роботи вентилів та кута комутації тиристорів;

3) середнє та максимальне значення випрямленого струму через вентиль $I_{в.сер.}$, $I_{в.м.}$, необхідні для вибору вентилів за струмом;

4) розрахункові потужності первинних $P1$ та вторинних $P2$ обмоток трансформатора, що визначаються напругою холостого ходу випрямляча та струмом навантаження.

Середнє, діюче та максимальне значення струму через вентиль визначають втрати у вентилях, коефіцієнт форми, а також, характеризують роботу вентиляного блоку в режимі короткого замикання. Розрахункова потужність обмоток і всього трансформатора визначає максимальну пропускну здатність трансформатора при синусоподібних струмах у його обмотках і характеризує витрати його активних матеріалів.

5.3.1. Трифазна мостова схема випрямлення

Це найбільш поширена схема у випрямлячах із жорсткими та падаючими зовнішніми характеристиками, особливо коли регулювання струму і напруги здійснюється системами регулювання без застосування тиристорів. Схема забезпечує просту конструкцію трансформатора, що складається з трьох первинних та трьох вторинних обмоток, та найбільш ефективно його використання.

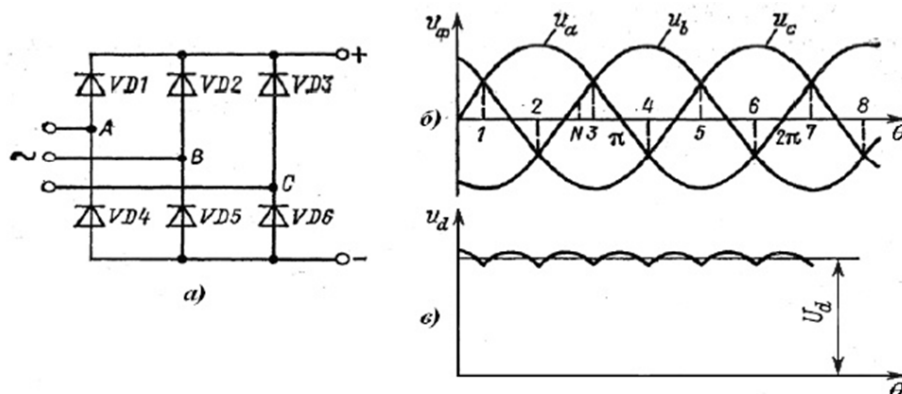


Рис. 5.2. - Трифазна мостова схема випрямлення: а) принципова електрична схема; б) діаграма напруг на вторинній обмотці ; в) напруга на виході випрямляча

Обмотки трансформатора можуть вмикатись трикутником або зіркою. Розглянемо схему у варіанті випрямляча з жорсткими зовнішніми характеристиками (трансформатор має незначний індуктивний опір) при

роботі на активно-індуктивне навантаження. Слід відзначити, що режими роботи на активне та активно-індуктивне навантаження розрізняються незначно.

Як впливає з рис. 5.2б, у точці 1 вмикається вентиль VD1, як такий, що має найбільший додатній потенціал з усіх вентилів катодної групи по відношенню до нульової точки напруги трансформатора. З ним у парі працює вентиль VD5 фази B, який має найбільший від'ємний потенціал з усіх вентилів анодної групи. У точці 2 здійснюється комутація струму у вентилях анодної групи – вмикається вентиль VD6 фази C. В точці 3 здійснюється комутація струму у вентилях катодної групи – вмикається вентиль VD2 фази B і т.д. Комутація з одного вентиля на інший здійснюється в моменти перетинання синусоїд фазних напруг вторинної обмотки трансформатора. Таким чином, при відсутності індуктивного опору в анодних колах вентилів вони працюють попарно з кутом провідності $2\pi/3$. В дійсності внаслідок наявності деякої індуктивності в контурі комутації кут провідності більше, ніж $2\pi/3$, на кут комутації і робота вентилів здійснюється попарно і по три. Випрямлена напруга (миттєве значення) визначається лінійною напругою, яка через вентиля, що працюють в даний момент, подається на вихідні клема випрямляча.

Пульсація випрямленої напруги – шестифазна із частотою 300 Гц. Тривалість анодних струмів без врахування комутаційних ділянок 120° .

Зворотна напруга на вентилях визначається амплітудою лінійного та холостого ходу напруги вторинної обмотки

$$U_{зв.в.} = 2,45 U_{2\phi} = 1,45 U_{x.x.} \quad (5.1)$$

Діючі значення вторинного струму, в залежності від виду зовнішньої характеристики, можуть бути прийняті

$$\begin{aligned} I_2 &= 0,815 I_d \quad \text{для жорскої характеристики;} \\ I_2 &= 0,745 I_d \quad \text{для падаючої характеристики;} \end{aligned}$$

де I_d – випрямлений струм випрямляча.

Середнє значення струму через вентиль, враховуючи, що схема випрямлення трьохфазна:

$$I_{в.сер.} = Id/3. \quad (5.2)$$

Максимальне значення струму

$$I_{в.м.} = 3,14 I_{в.сер.} \quad (5.3)$$

5.3.2 Двійна трифазна схема випрямлення з вирівнювальним реактором

Найбільше розповсюдження ця схема знайшла в тиристорних випрямлячах на струми до 500...1000 А. У порівнянні із шестифазними схемами випрямлення вона забезпечує найбільш ефективне використання вентилів (найменші втрати, найбільша навантажувальна здатність, мінімальні струми через вентиля). Ця схема представлена на рис. 5.3.

Трансформатор у такому випрямлячі має шість вторинних обмоток, що утворюють дві трифазні групи, кожна з яких з'єднана у зірку, е.р.с. відповідних фаз зсунуті на 180° . Обидві групи з'єднані між собою вирівнювальним реактором, який забезпечує їх паралельну роботу в результаті вирівнювання напруги між ними. Вирівнювальний реактор представляє собою дросель із замкненим феромагнітним магнітопроводом, що має дві однакові обмотки.

Дію реактора видно з рис. 5.3,б. Суцільними лініями показані фазні напруги однієї зірки, а штриховими – іншої. Різницю миттєвих значень фазних напруг в процесі їх чергування характеризують ординати заштрихованих ділянок. Ця різниця напруг наводиться в секціях вирівнювального реактора $L_{ур}$, якщо хоча б по одній з них проходить незначний намагнічуючий струм. В секціях реактора наводяться напруги $U_{y1} = U_{y2} = 1/2 U_y$, що мають різні знаки по відношенню до спільного виводу; в зв'язку з цим анодні напруги однієї зірки зменшуються на U_{y1} , а другої – зростають на U_{y2} . Фазні напруги вирівнюються, що й призводить до паралельної роботи трифазних груп.

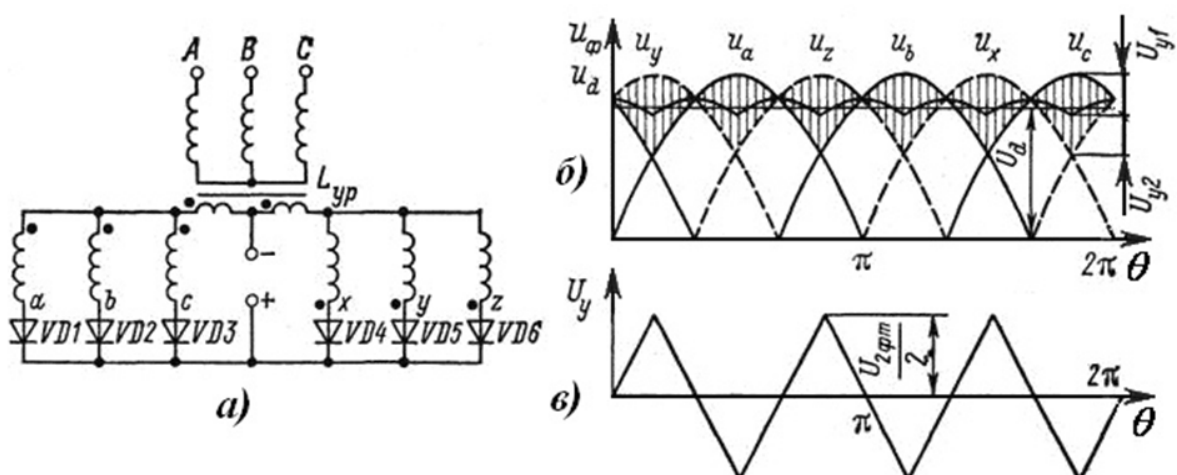


Рис. 5.3. - Двійна трифазна схема з вирівнювальним реактором: а) принципова електрична схема; б) напруга на виході блока; в) напруга на вирівнювальному реакторі

Тривалість анодних струмів (без врахування комутаційних ділянок) дорівнює 120° , а амплітуда струмів у вентилях – половині амплітудного значення випрямленого струму. Випрямляч має дві комутуючі групи вентилів. Комутація здійснюється тільки між вентилями однієї трьохфазної групи. У випрямлячах з жорсткими зовнішніми характеристиками вентиля працюють попарно.

Первинна обмотка трансформатора може бути ввімкнена зіркою або трикутником. Пульсація випрямленої напруги має частоту 300 Гц.

Зворотна напруга на вентилях

$$U_{зв.м.} = 2,09 U_{х.х.} \quad (5.4)$$

Діючі значення вторинного струму, в залежності від виду зовнішньої характеристики, можуть бути прийняті

$$I_2 = 0,29 I_d \quad \text{для жорсткої характеристики;}$$

$$I_2 = 0,26 I_d \quad \text{для падаючої характеристики.}$$

Середнє значення струму через вентиль, враховуючи, що схема випрямлення трьохфазна, а працює як шестифазна

$$I_{в.сер.} = I_d/6 = 0,48 I_d \quad (5.5)$$

5.3.3. Шестифазна кільцева схема випрямлення

Це одна з найбільш поширених схем випрямлення в однопостових і особливо багатопостових зварювальних випрямлячах на значні струми. Не маючи вирівнювального реактора схема забезпечує більш високе застосування трансформатора за потужністю при дещо гіршому застосуванні вентилів за струмом. Трансформатор випрямляча має шість вторинних обмоток, а блок вентилів замкнений у кільце (рис. 5.4, а). Тривалість роботи вентилів без врахування тривалості комутації складає 60° . В той же час кожна із вторинних обмоток працює на протязі 120° (рис.5.4, б).

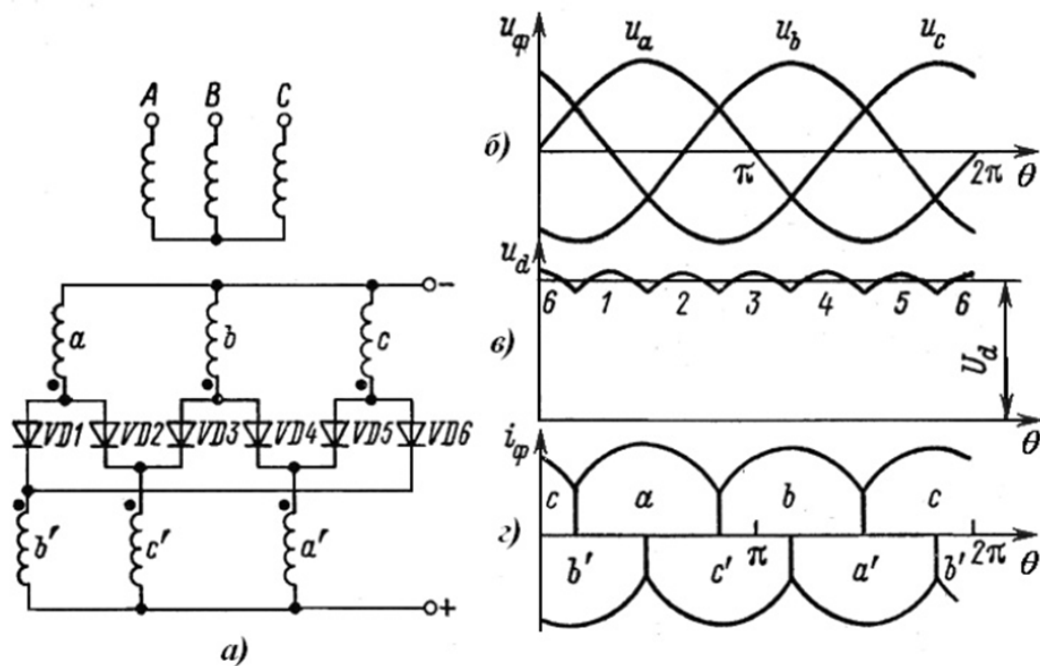


Рис. 5. 4. - Кільцева схема випрямлення: а) принципова електрична схема; б) діаграма напруг на вторинній обмотці; в) напруга на виході випрямляча; г) фазні струми.

Первинна обмотка трансформатора може бути з'єднана трикутником або зіркою. Зворотна напруга на вентилях

$$U_{зв.м.} = 4,9U_2\phi = 11,4U_{х.х.} \quad (5.6)$$

Діючі значення вторинного струму, в залежності від виду зовнішньої характеристики, можуть бути прийнятими

$$I_2 = 0,578I_d \quad \text{для жорсткої характеристики;}$$

$$I_2 = 0,52I_d \quad \text{для падаючої характеристики}$$

Середнє значення струму через вентиль, із врахуванням, що схема випрямлення шестифазна

$$I_{в.сер.} = I_d/6 = 0,54I_d . \quad (5.7)$$

5.4. Стабілізуючий дросель у зварювальному колі

В однопостових зварювальних випрямлячах для зварювання в середовищі захисних газів значне розповсюдження отримав спосіб обмеження

струму короткого замикання шляхом вмикання в зварювальне коло дроселя із повітряним зазором, що має, як правило, дві ступені індуктивності (рис.5.5).

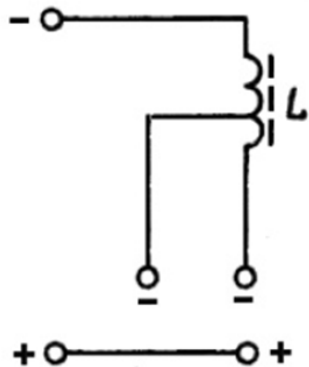


Рис.5.5. - Зварювальний дросель із двома ступенями регулювання

Необхідна індуктивність у зварювальному колі і, відповідно, швидкість наростання струму короткого замикання залежать від діаметру застосованого дроту та режиму зварювання. При зварюванні дротом малих діаметрів для стійкого протікання процесу необхідна значно більша швидкість наростання струму і, відповідно, менша індуктивність у зварювальному колі, ніж при зварюванні товстими електродними дротами. Для випрямлячів можуть бути рекомендовані наступні значення індуктивності: 150...200 мкГн при зварюванні дротом діаметром 0,8...1,2 мм на струмах до 200 А у всіх просторових положеннях та 400...500 мкГн при зварюванні дротом діаметром 1,6 та 2,0 мм на струмах до 700 А, а також діаметром 1,2 мм у нижньому положенні на струмах 200 А і вище.

Можливе обмеження струму короткого замикання в результаті збільшення нахилу зовнішніх характеристик за допомогою баластного реостата, яке хоч і забезпечує деяке зниження розбризкування, може призвести до нестійкості процесу зварювання короткою дугою із застосуванням тонких дротів на малих струмах при напругах дуги, характерних для режимів з мінімальним розбризкуванням та незначною шириною шва.

При зварюванні в середовищі вуглекислого газу доцільний нахил зовнішніх характеристик складає 0,01...0,02 В/А.

Значно підвищити стабільність горіння дуги при зварюванні з короткими замикання дугового проміжку дротами діаметром 1,0...1,6 мм, а також знизити мінімальний зварювальний струм при заданому діаметрі електродного дроту можливе введенням у зварювальне коло дросельного пристрою, що забезпечує безступінчасте регулювання індуктивності у зварювальному колі та отримання короточасних обмежених піків струму при коротких замиканнях дугового проміжку краплею розплавленого металу.

В цьому випадку збільшується (до 30%) частота коротких замикань, полегшується зварювання вертикальних та стельових швів. Процес горіння дуги здійснюється при загальноприйнятих нахилах зовнішніх характеристик. При зварюванні дротом діаметром 1,2мм нижня межа зварювального струму, що забезпечує стабільний зварювальний процес, знижується до 50 А. При зварюванні без коротких замикань дугового проміжку пристрій не впливає на процес зварювання. У випрямлячах із ступінчатою зміною індуктивності на струмах 315, 500 та 630А перша ступінь (мала індуктивність) призначена для зварювання тонким електродним дротом у всіх просторових положеннях, друга ступінь (велика індуктивність) – для зварювання товстим електродним дротом, а також для роботи на падаючих зовнішніх характеристиках в універсальних випрямлячах.

В тиристорних зварювальних випрямлячах дросель у колі випрямленого струму необхідний не тільки для обмеження пиків струму короткого замикання при зварюванні в середовищі вуглекислого газу, але й при ручному дуговому зварюванні або зварюванні під флюсом для згладжування пульсацій випрямленого струму, величина яких залежить від меж регулювання. В окремих випадках в тиристорних зварювальних випрямлячах перемикання ступенів індуктивності може здійснюватись дистанційно в залежності від режиму зварювання (рис.5.6).

Окрім дроселів із ступінчатим регулюванням індуктивності існує дросель, що забезпечує підвищення стабільності зварювального процесу та безступінчасте регулювання індуктивності в залежності від режиму зварювання (рис.5.7)

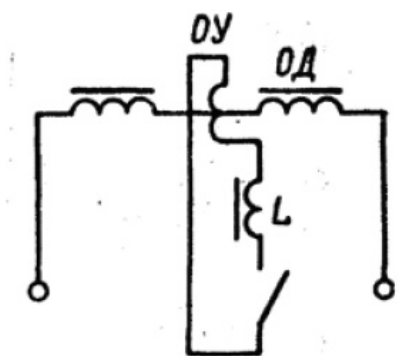


Рис.5.6. - Двохступінчатий дросель з дистанційним регулюванням

Застосовуються дроселі із двома обмотками управління та діодами, що забезпечують автоматичну зміну індуктивності при зварюванні. Дросель броньового типу з повітряним зазором має основну робочу обмотку I, ввімкнену послідовно у зварювальне коло, та дві допоміжні обмотки управління II та III, підключені через діоди VD1 та VD2 до мінусового

виводу випрямляча. Спільна точка обмоток II та III підключена до плюсового виводу.

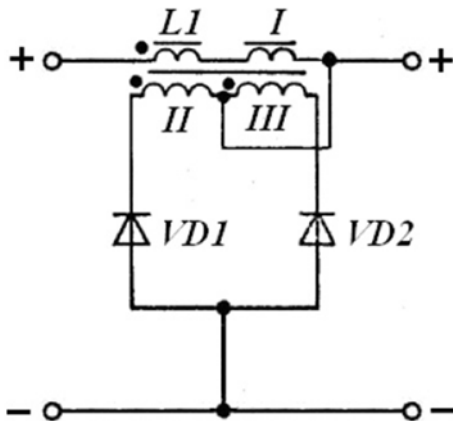


Рис.5.7. - Зварювальний дросель із індуктивністю, що плавно регулюється

При роботі випрямляча (під час горіння дуги) на робочій обмотці дроселя виділяється змінна складова випрямленої напруги із частотою $f = 50m$, де m – кількість фаз випрямляча. В даному випадку $f = 300$ Гц. Вказана напруга індуктується в обох обмотках управління і випрямляється однофазною двохнапівперіодною схемою, утвореною обмотками та діодами. Випрямлений струм протікає по обмотках управління, замикається через дугу і змінює при цьому індуктивність дроселя при зварюванні. Значення індуктивності залежить від режиму роботи випрямляча. При зварюванні в режимах малих струмів зустрічна напруга дуги незначна, струм, що безперервно протікає в обмотках II та III, при горінні дуги стає більше, дросель LI має малу індуктивність. На більших режимах зростає запираюча робоча напруга дуги, струм у допоміжних обмотках зменшується, індуктивність дроселя зростає. Таким чином здійснюється автоматична зміна індуктивності при зміні режиму зварювання. Повна індуктивність дроселя складає 500 мкГн.

5.5 Промислові зварювальні випрямлячі

5.5.1 Зварювальні випрямлячі з падаючими зовнішніми характеристиками

Випрямлячі з падаючими зовнішніми характеристиками отримали найбільше поширення, оскільки застосовуються як для ручного зварювання, різання та наплавлення, так і для механізованого зварювання під флюсом.

Для отримання падаючої характеристики застосовують трансформатори із збільшеним магнітним розсіюванням або з окремими дроселями. Налагодження або регулювання режиму здійснюється або шляхом зміни індуктивності розсіювання за допомогою розсування або зсування обмоток трансформатора, або за допомогою зміни індуктивного опору окремого дроселя.

В якості окремого дроселя в більшості випадків застосовують дроселі насичення. Дросель насичення (рис.5.8) має дві обмотки змінного струму, розташовані на крайніх стержнях броньового осердя, на середньому стержні розташовується обмотка керування (підмагнічування), що живиться від джерела постійного струму. Дросель насичення може також виконуватись на осердях стержньового типу. Котушки обмоток змінного струму вмикаються між собою послідовно і зустрічно з таким розрахунком, щоб магнітні потоки, створені цими обмотками в середньому стержні, взаємно компенсували один одного. В цьому випадку результуюча е.р.с., що індукується потоками обмоток змінного струму в обмотці керування, дорівнює нулю. У трифазному дроселі насичення маються три осердя і шість котушок змінного струму (по дві котушки на фазу). Обмотка керування звичайно охоплює усі середні стержні осердь.

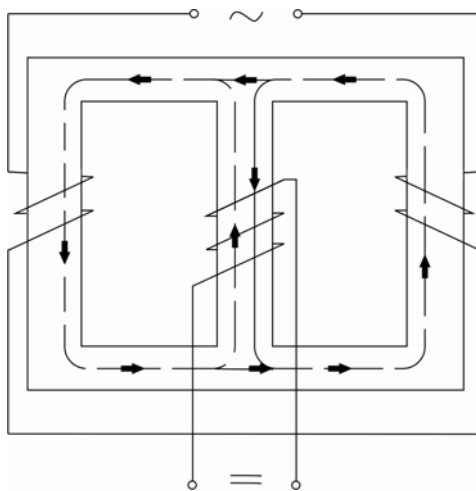


Рис. 5.8. - Схема дроселя насичення.

Обмотка керування, що живиться постійним струмом, створює в осердях дроселя додаткове магнітне поле одного і того ж напрямку, що збільшує індукцію і насичення осердь дроселя. Змінюючи струм підмагнічування, можливо змінювати насиченість і відповідно індуктивний опір дроселя насичення, регулюючи тим самим зварювальний струм.

За схемою із окремим дроселем розроблені зварювальні випрямлячі типу ВСС – ВСС-120 , ВСС-300, а також випрямлячі серії ВД-502. Випрямлячі (рис. 5.9) складаються з понижуючого трифазного трансформатора Т, дроселя

насичення ДН із допоміжним випрямлячем В1 для живлення обмотки керування ОК, блока випрямлячів зварювального струму ВС та пуско-регулюючої апаратури.

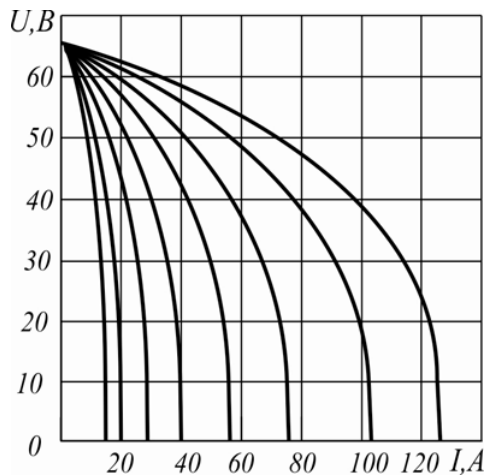


Рис. 5.9. - Електрична схема зварювального випрямляча типу ВСС (ВД-502).

В кожен фазу вторинної обмотки силового трансформатора Т послідовно ввімкнена обмотка змінного струму дроселя насичення, що складається з двох котушок, ввімкнених назустріч одна одній. Регулювання режиму здійснюється реостатом Р, ввімкненим в коло обмотки керування. Дросель насичення має також обмотку позитивного зворотного зв'язку, ввімкнену послідовно в коло випрямленого зварювального струму. Обмотка зворотного зв'язку змінює підмагнічування дроселя в залежності від величини зварювального струму, що дозволяє в деяких межах змінювати нахил та форму зовнішньої характеристики випрямляча (рис.5.10). Обмотка зворотного зв'язку охоплює усі крайні стержні осердь дроселя.

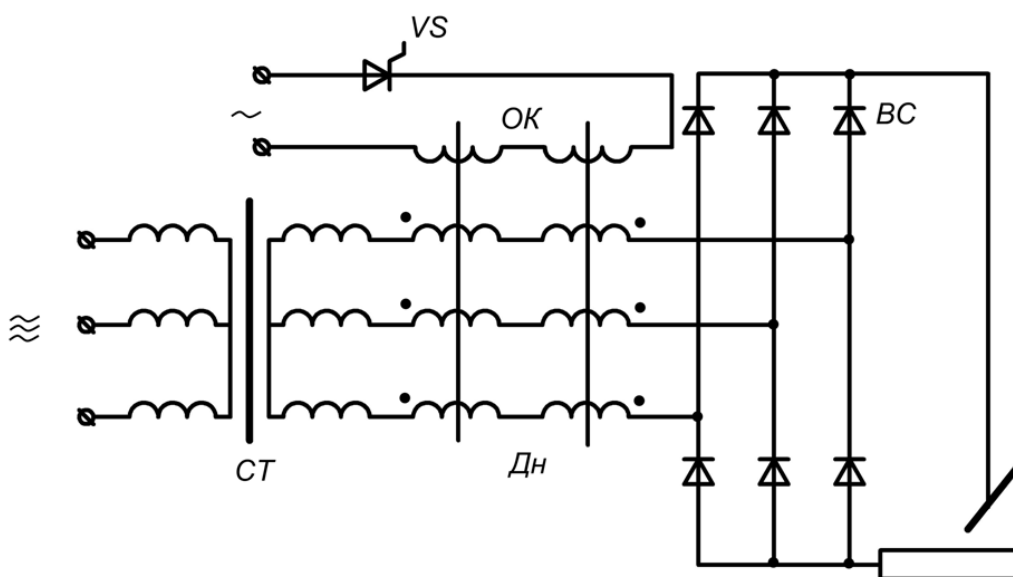


Рис. 5.10. - Зовнішні характеристики зварювального випрямляча ВСС

За аналогічною схемою зібраний також зварювальний випрямляч більшої потужності типу ВД-502. Основною відмінністю його від попередніх випрямлячів є застосування тиристорного регулятора струму в обмотці керування замість реостата.

Застосування дроселів насичення для регулювання режиму зварювальних випрямлячів доцільно, коли необхідно мати значну кратність та плавність регулювання, а також, у випадку необхідності дистанційного керування налагодженням режиму. Основним недоліком дроселів насичення є відносно значні витрати активних матеріалів, що призводить до збільшення ваги та габаритів зварювального випрямляча. Тому для ручного зварювання доцільно застосування зварювальних випрямлячів із трансформаторами, що мають розвинене магнітне розсіювання. Регулювання режиму таких трансформаторів (а відповідно, і випрямлячів) здійснюється шляхом розсування і зближення обмоток. Така конструкція застосована у випрямлячах ВД-201, ВД-306, ВД-401 з механічним регулюванням, та у випрямлячах ВКС-120, ВКС-300, ВКС -500 із електромеханічним регулюванням режиму.

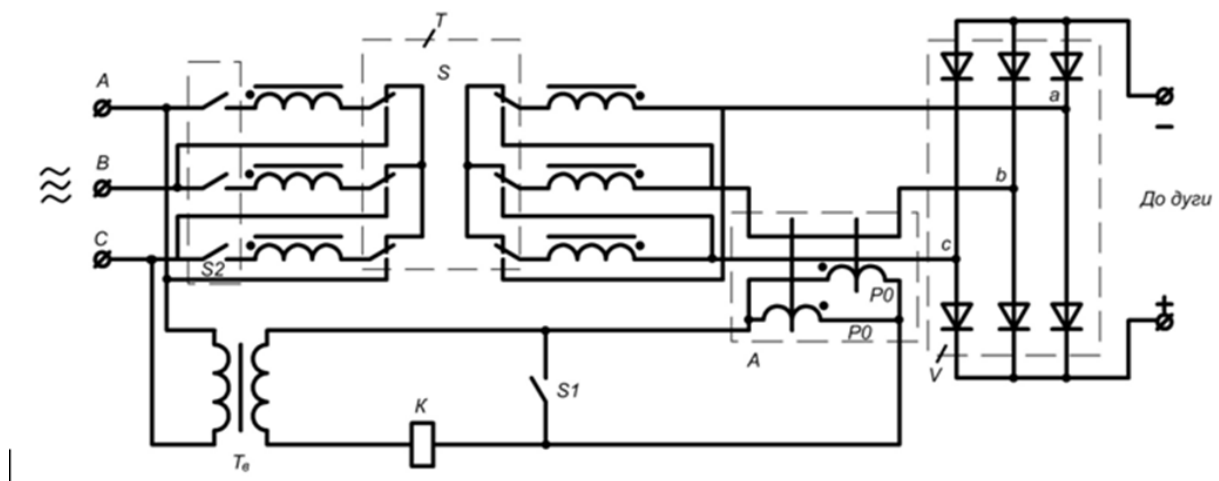


Рис. 5.11. - Спрощена електрична схема випрямляча типу ВД-306

Базовим вузлом цих випрямлячів, що забезпечує надаючи зовнішню характеристику та регулювання сили зварювального струму є трифазний силовий трансформатор із підвищеним магнітним розсіюванням та рухомими котушками. Окрім силового трансформатора T (рис.5.11), до складу випрямляча входять блок випрямлення V , зібраний за трифазною мостовою схемою на кремнієвих вентилях, а також, пускова та захисна апаратура. Конструкція осердя трансформатора та розташування на ньому обмоток наведено на рис. 5.12.

Обмотки трансформатора володіють значною індуктивністю розсіювання внаслідок підсиленних магнітних полів розсіювання, отриманих

зменшенням магнітного зв'язку між первинною I та вторинною II обмотками, що досягається встановленням їх на деякій відстані B одна від одної на стержнях осердя. Значні індуктивності розсіювання спричиняють значний індуктивний опір і крутопадаючу зовнішню характеристику трансформатора.

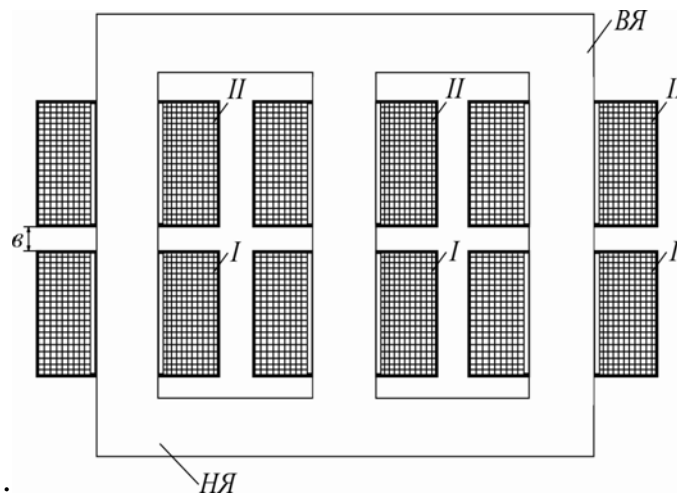


Рис. 5.12. - Конструкція осердя та схема розташування обмоток на стержнях трансформатора випрямляча типу ВД.

Випрямлячі серії ВД та ВКС мають плавно-ступінчасте регулювання зварювального струму. Дві ступені регулювання забезпечуються одночасним перемиканням фаз первинних та вторинних обмоток силового трансформатора із зірки на трикутник за допомогою перемикача S (рис. 5.11). Межі регулювання струму збільшуються при перемиканні із зірки (ступінь малих струмів) на трикутник (ступінь великих струмів) приблизно у три рази.

Ступінчасте регулювання можливо здійснювати лише при відключенні випрямляча від силової мережі. Граничні зовнішні характеристики наведені на рис.5.13.

Плавне регулювання в межах кожного діапазону здійснюється зміною відстані між обмотками. При зближенні обмоток індуктивність розсіювання та індуктивний опір зменшуються, зварювальний струм зростає, а при збільшенні відстані між обмотками – навпаки. Первинні обмотки рухомі і мають надійну ізоляцію від осердя. Котушки вторинної обмотки нерухомі і закріплені біля верхньої частини магнітопровода трансформатора.

В процесі роботи здійснюється примусове повітряне охолодження вентилів блоку випрямлення за допомогою вентилятора. Крім того, випрямлячі оснащуються системою захисту, що відключає їх від силової мережі при виході з ладу одного з діодів блоку випрямлення або при пробі на корпус вторинної обмотки силового трансформатора.

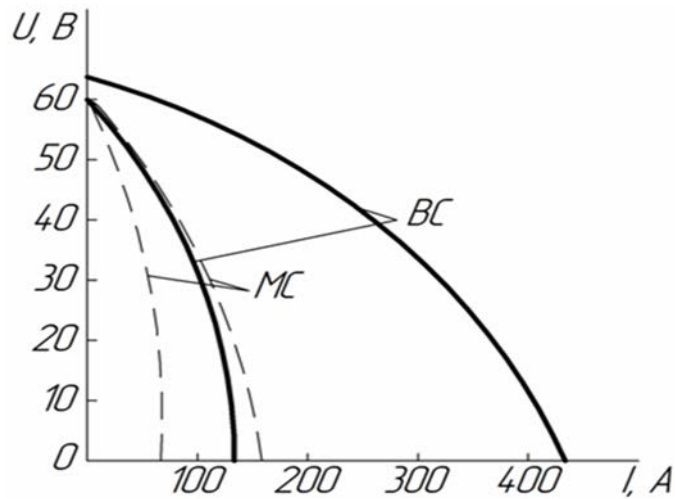


Рис. 5.13. - Граничні зовнішні характеристики випрямляча типу ВД:
 МС – ступінь малих струмів при $\delta = \delta_{\max}$
 ВС – ступінь великих струмів при $\delta = 0$

5.5.2 Зварювальні випрямлячі з жорсткими та повільнопадаючими зовнішніми характеристиками

Зварювання у захисних газах плавким електродом виконується тільки на постійному струмі. При дуговому зварюванні в середовищі вуглекислого газу зварювальна дуга має зростаючу вольт-амперну характеристику. Для забезпечення стабільності процесу та стійкості енергетичної системи "джерело живлення – дуга – зварювальна ванна" необхідне джерело живлення із жорсткою, повільнопадаючою або повільнозростаючою зовнішньою характеристикою. Вказані джерела в найбільшій мірі інтенсифікують процес саморегулювання дуги і полегшують її повторне запалювання.

За динамічними властивостями джерела живлення поділяють на джерела із низькими швидкостями нарощування сили струму короткого замикання $\Delta I_{\text{к.з.}} / \Delta t = 10 \dots 30$ кА/с, із середніми – $40 \dots 60$ кА/с та високими – $70 \dots 200$ кА/с.

Для зварювання із крупнокрапельними переносом та рідкими короткими замиканнями у вуглецевому газі дротами діаметром більше 1,6 мм доцільно застосовувати джерела із повільно падаючою зовнішньою характеристикою та низькими швидкостями нарощування струму короткого замикання $20 \dots 50$ кА/с. При зварюванні дротами малих діаметрів (0,5...1,4 мм) із частими короткими замиканнями розрядного проміжку, коли процес фактично є імпульсним, рекомендують застосовувати джерела живлення із повільно

падаючою або жорсткою зовнішньою характеристикою та високими швидкостями нарощування струму короткого замикання $I_{к.з.} - 80 \dots 160$ кА/с.

Досвідом встановлено, що при зварюванні порошковими дротами, а також, при зварюванні під флюсом джерела живлення із повільно падаючими зовнішніми характеристиками та високими швидкостями нарощування $I_{к.з.}$ також забезпечують високу стабільність процесу та високу якість зварних швів.

На даний час в якості джерел живлення дуги при зварюванні плавким електродом в середовищі вуглецевого газу застосовують випрямлячі із жорсткими та повільно падаючими зовнішніми характеристиками типів ВС, ВДГ, ВСЖ, що відрізняються способами регулювання напруги на дузі, конструктивним виконанням деяких вузлів, способами обмеження сили струму при короткому замиканні. Випрямлячі випускаються у комплекті із напівавтоматами для зварювання у захисних газах.

Найбільш простими за будовою є випрямлячі для механізованого зварювання у вуглецевому газі серії ВС, зокрема ВС-300 та ВС-600 із ступінчастим регулюванням вихідної напруги.

Випрямлячі серії ВС (рис. 5.14) складаються із трифазного понижуючого трансформатора T із нормальним магнітним розсіюванням та секціонованою первинною обмоткою, блоку випрямлення V , зібраного на кремнієвих вентилях за трифазною мостовою схемою, перемикачів $S1, S2, S3$ для регулювання вихідної напруги, стабілізуючого дроселя L в колі випрямленого струму, електродвигуна M вентилятора.

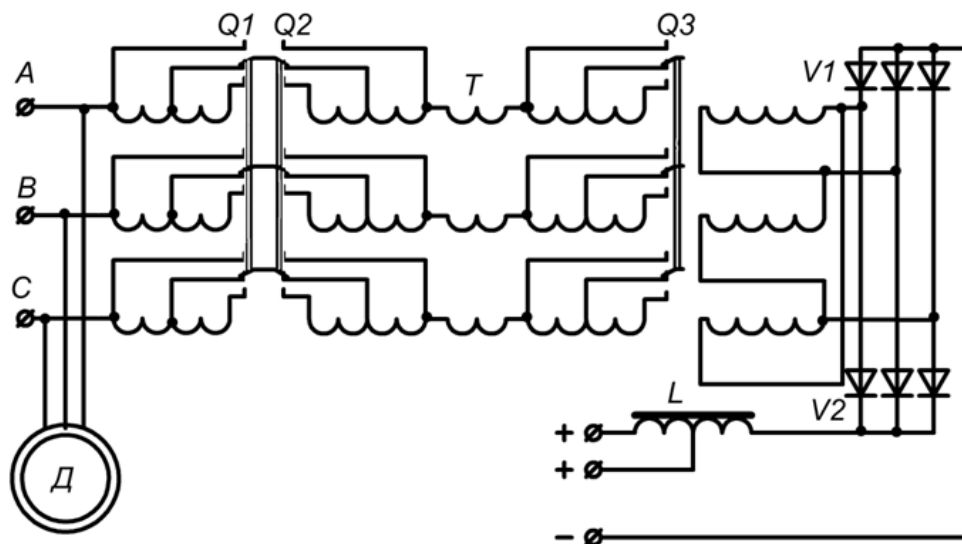


Рис. 5.14. - Електрична схема випрямляча ВС-600

Випрямлячі мають повільнопадаючі зовнішні характеристики. Напруга, що подається на дугу, регулюється перемикачами $S1, S2, S3$ зміною кількості витків первинних обмоток у кожній фазі трансформатора (при відключеному

навантаженні). Дросель призначений для встановлення необхідної швидкості нарощування струму короткого замикання та зменшення розбрикування розплавленого металу. Для розширення діапазону припустимих режимів зварювання дросель секціонований. При зварюванні тонким електронним дротом діаметром 0,8...1,2 мм у зварюване коло вмикається частина витків дроселя, при зварюванні дротом більшого діаметра – уся дросельна обмотка.

Для регулювання вихідної напруги ручки пакетних перемикачів $S1$, $S2$, $S3$ винесенні на лицьову панель випрямляча, де розташовуються також вольтметр для контролю цієї напруги, та амперметр для контролю режиму зварювання.

Суттєвим недоліком випрямлячів серії ВС є значна кількість ступенів регулювання (у ВС-300 – 24 ступені, ВС-600 – 27 ступенів), незадовільне використання силового трансформатора за потужністю, відсутність дистанційного та плавного регулювання вихідної напруги і, відповідно, зварювального струму, неможливість регулювання режиму при навантаженні.

Ряд зварювальних випрямлячів дозволяють регулювати вихідну напругу під навантаженням. Одним з таких конструктивних варіантів є випрямлячі за схемою із вольтододатковими трансформаторами. Вольтододатковий трансформатор (ВДТ) складається з двох обмоток. Вторинна обмотка ВДТ вмикається послідовно із вторинною обмоткою силового трансформатора (рис. 5.15). В залежності від полярності напруги, прикладеної до його первинної обмотки, вольтододатковий трансформатор Т2 може бути ввімкнений узгоджено із основним трансформатором Т1, зустрічно йому або відключений від мережі. Відповідно, е.р.с., що індуктується у вторинній обмотці ВДТ, може додаватись або відніматись від е.р.с. у вторинній обмотці силового трансформатора. Е.р.с. на виході ВДТ можна змінювати регулюванням напруги на його первинній обмотці. Таким чином, за допомогою одного трансформатора можуть бути отримані напруги:

$$U_2 = U_{20} + U_{2д}; \quad U_2 = U_{20}; \quad U_2 = U_{20} - U_{2д}.$$

Якщо первинні обмотки трифазного вольтододаткового трансформатора вмикати у зірку та в трикутник, то кількість ступенів напруги може бути збільшена ще у два рази. При застосуванні двох трифазних вольтододаткових трансформаторів кількість ступенів регулювання може досягати 25. При застосуванні одного трифазного та трьох однофазних вольтододаткових трансформаторів кількість ступенів регулювання може бути ще збільшена. Незначна несиметрія фазних напруг, що виникає при несиметричному регулюванні напруг однофазними вольтододатковими трансформаторами, не відбивається негативно на роботі випрямляча і на стабільності процесу зварювання.

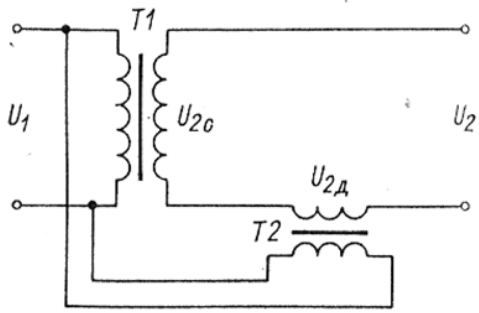


Рис. 5.15. - Трансформатор із вольтододатковим трансформатором у вторинному колі

За схемою з вольтододатковим трансформатором виконані зварювальні випрямлячі типу ВСК (ВСК-150, ВСК-300, ВСК-500) із ступінчастим регулюванням вихідної напруги і типу ИПП із плавним регулюванням.

Випрямляч ВСК (рис.5.16) складається з силового трифазного трансформатора $T1$, що має повільнопадаючу зовнішню характеристику і відносно низьку напругу холостого ходу (приблизно 40 В); одного трифазного $T2$ та трьох однофазних вольтододаткових трансформаторів $T3$ (одного трифазного та одного однофазного у випрямлячах ВСК-150); силового блока випрямлення $V1$, зібраного за трифазною мостовою схемою на селенових вентилях; підпалюючого пристрою, який складається з малопотужних трансформатора $T4$ та вентильного блоку $V2$; стабілізуючого дроселя L .

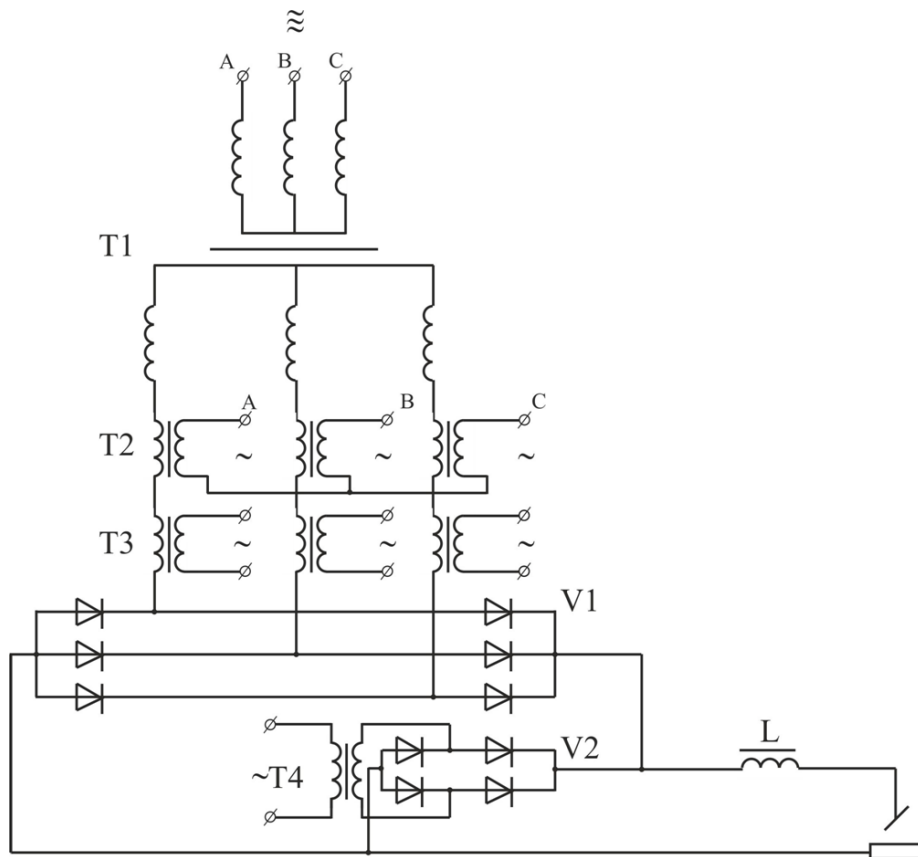


Рис. 5.16. - Спрощена електрична схема випрямлячів серії ВСК

Малопотужний підпалюючий пристрій має високу напругу холостого ходу (до 70 В) і крутопадаючу характеристику, оскільки трансформатор $T4$ виконаний із підвищеним магнітним розсіюванням. Цей пристрій забезпечує підвищення напруги холостого ходу випрямляча в діапазоні малих струмів і покращення умов запалювання та горіння малоамперної дуги (рис. 5.17).

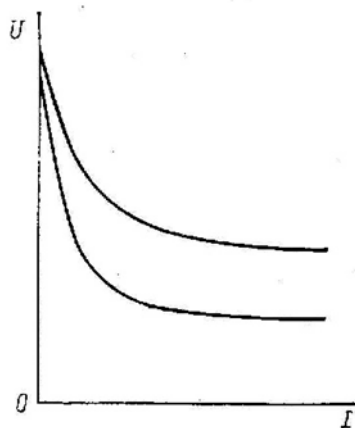


Рис. 5.17. - Зовнішні характеристики зварювальних випрямлячів серії ВСК

Регулювання вихідної напруги випрямляча здійснюється вмиканням первинних обмоток силового трансформатора $T1$ "зіркою" або "трикутником" та різним вмиканням вольтододаткових трансформаторів. Вторинні обмотки ВДТ можуть бути ввімкнені узгоджено із вторинними обмотками силового трансформатора, зустрічно або закорочені. Ступінчасте регулювання вихідної напруги за допомогою ВДТ можна здійснювати під навантаженням.

Випрямляч має 42 ступені регулювання. Перемикання ступенів здійснюється трьома перемикачами на лицьовій панелі. Стабілізуючий дросель забезпечує необхідну швидкість наростання струму короткого замикання та згладжування пульсацій струму.

До недоліків випрямлячів цього типу можна віднести підвищену вагу, значну кількість комутаційної апаратури та відсутність стабілізації вихідної напруги.

Частково наведені недоліки усунені у конструкції зварювальних випрямлячів типу ИПП. Випрямлячі ИПП-120 та ИПП-300 мають повільно падаючу зовнішню характеристику із нахилом 0,0125...0,04 В/А. Вони складаються (рис.5.18) із наступних основних вузлів: понижуючого трифазного силового трансформатора $СТ$, трифазного вольтододачкового трансформатора $ВДТ$, трифазного автотрансформатора $АТ$, основного селенового блоку випрямлення $ВС$, стабілізуючого дроселя L , ввімкненого в коло випрямленої напруги, вентилятора повітряного охолодження та електромеханічного приводу для плавного регулювання напруги.

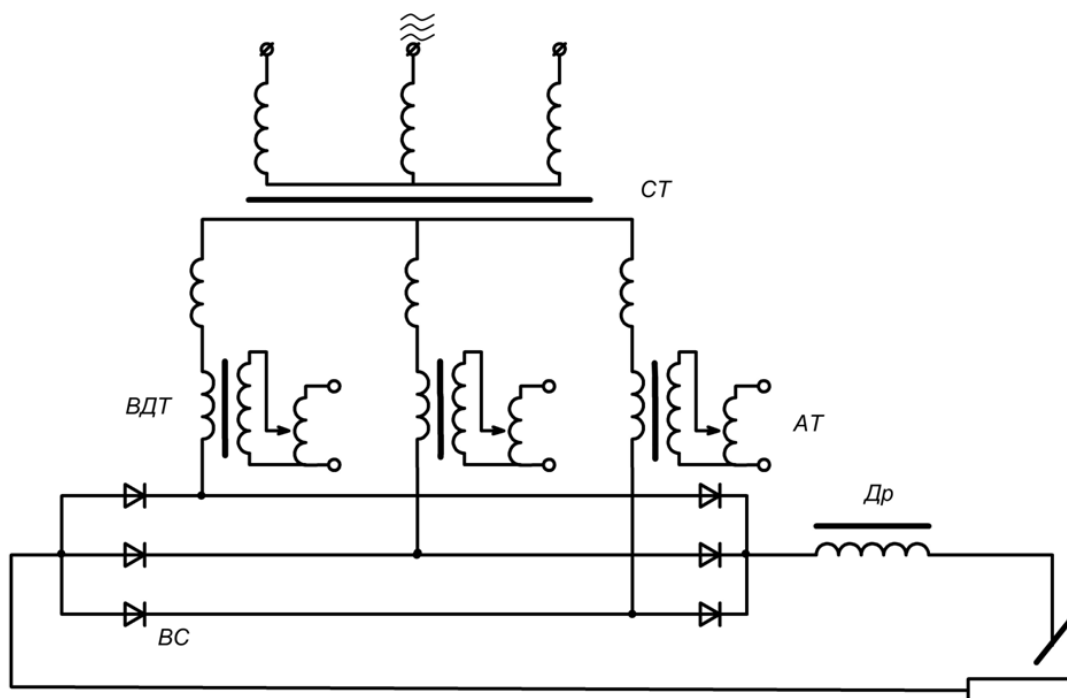


Рис. 5.18. - Електрична схема випрямлячів типу ИПП.

Вторинні обмотки вольтододавкових трансформаторів вмикаються послідовно у коло вторинних обмоток силового трансформатора. В залежності від фази напруги на первинних обмотках вольтододавкових трансформаторів е.р.с., що наводиться у їх вторинних обмотка, може співпадати за фазою із напругою на вторинних обмотках силового трансформатора і додаватись до неї, збільшуючи напругу холостого ходу випрямляча, або може бути спрямована їй назустріч.

Випрямлячі оснащуються пультом плавного дистанційного регулювання напруги. Зміна напруги здійснюється грубо вольтододавковим трансформатором, шляхом його зустрічного (I ступінь), або узгодженого (II ступінь) вмикання із вторинними обмотками силового трансформатора СТ, та плавно за допомогою автотрансформатора. Плавну зміну напруги можливо здійснювати під навантаженням, а ступінчасту – тільки при відключеному навантаженні.

Трифазний автотрансформатор АТ складається з трьох жорстко скріплених між собою однофазних автотрансформаторів, рухомі контакти (струмознімальні щітки) яких закріплені на одній вісі, що приводиться до руху електродвигуном.

Іншою схемою випрямляча із жорсткою або повільно падаючою зовнішньою характеристикою та плавним регулюванням режиму є випрямляч із дроселем насичення. За такою схемою розроблені джерела живлення для зварювання у захисних газах типу ВДГ-301 (302, 303). Спрощена електрична схема випрямлячів наведена на рис. 5.19.

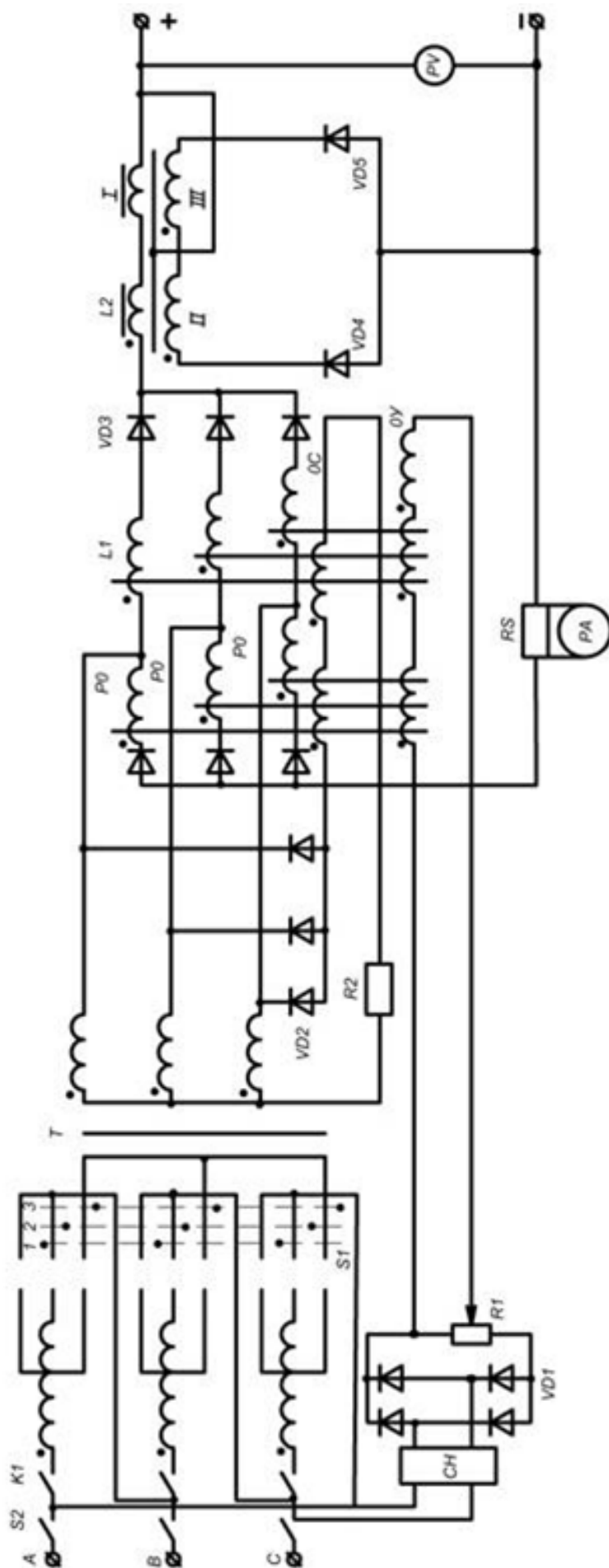


Рис. 5.19 - Спрощена електрична схема випрямляча ВДГ-303

Випрямляч складається із трифазного силового трансформатора T із нормальним магнітним розсіюванням, блоку випрямлення зварювального струму $V1$, дроселя насичення $L1$. Регулювання (три ступені) здійснюється зміною коефіцієнта трансформації силового трансформатора T перемиканням з'єднання первинних обмоток трифазним пакетно-кулачковим перемикачем $S1$. З'єднанням фаз первинної обмотки трикутником із використанням відводів відповідає перша ступінь регулювання робочої напруги (максимальна величина напруги), з'єднанням первинних фаз трикутником без відводів – друга ступінь, з'єднанням первинних обмоток у зірку із використанням відводів – третя ступінь регулювання. Перемикання фаз пакетно-кулачковим перемикачем $S1$ здійснюється на холостому ході. Плавне регулювання робочої напруги в межах кожної ступені здійснюється трифазним дроселем насичення $L1$. Одночасно дроселі насичення в даній схемі забезпечують жорсткі зовнішні характеристики.

Дросель виконаний на шістьох окремих осердях, на кожному з яких розташовані робочі обмотки PO , через які протікає зварювальний струм. Осердя дроселя об'єднані попарно і охоплені обмотками керування OK та зміщення OZ , магніторушійні сили яких спрямовані назустріч одна одній, що перешкоджає швидкому насиченню магнітопровода дроселя при збільшенні струму в обмотці керування.

Робоча напруга на виході випрямляча плавно регулюється потенціометром $R1$, який змінює силу струму намагнічування в обмотці керування OK дроселя насичення $L1$. Обмотка керування живиться від ферорезонансного стабілізатора напруги CH через блок випрямлення малої потужності $V2$. При зниженні напруги мережі на виході стабілізатора збільшується (і навпаки), що дозволяє частково компенсувати зміну робочої напруги при коливаннях напруги мережі.

Обмотка зміщення OZ живиться від допоміжного випрямляча $V3$ і призначена для розширення меж плавного регулювання вихідної напруги. Для встановлення необхідної швидкості нарощування струму короткого замикання на виході випрямляча ввімкнений стабілізуючий дросель $L2$. У випрямлячі ВДГ-303 застосований стабілізуючий дросель спеціальної конструкції, що забезпечує підвищення стабільності зварювального процесу та безступінчасте регулювання індуктивності в залежності від режиму зварювання.

Силовий блок випрямлення $V1$ виконаний за трифазною мостовою схемою на шістьох кремнієвих вентилях. Випрямляч оснащений захистом від перевантажень: вітровим реле, що контролює роботу вентилятора, тепловим реле, реле максимального струму, автоматичним вимикачем $S2$, що спрацьовує при перевантаженні.

Випрямлячі серії ВДГ мають повільно падаючі зовнішні характеристики із підвищеною напругою холостого ходу (рис. 5.20).

Напругу на виході випрямляча можна вмикати, вимикати та плавно регулювати з місця або дистанційно з виносного пульта. У випрямлячі мається ниша для розміщення блоку приводу зварювального напівавтомата.

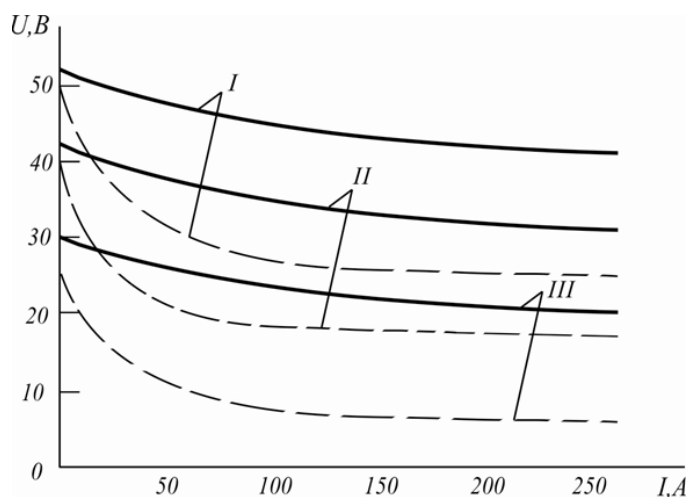


Рис. 5.20. - Зовнішні характеристики випрямлячів серії ВДГ

5.5.3 Універсальні зварювальні випрямлячі

Універсальні зварювальні випрямлячі забезпечують стійке горіння дуги та стабільний режим при ручному та механізованому (у захисних газах та під флюсом) зварюванні. Зовнішні характеристики таких випрямлячів при ручному зварюванні та зварюванні під флюсом мають падаючу форму, а при зварюванні в захисних газах – жорстку або повільно падаючу. Універсальні випрямлячі забезпечують плавне дистанційне регулювання вихідних струму та напруги, стабілізацію встановленого режиму зварювання при змінах напруги мережі як при падаючих, так і при жорстких зовнішніх характеристиках.

Блок випрямлення універсальних випрямлячів складається з тиристорів. Електричні схеми випрямлячів передбачають їх швидке перемикання з одного виду зовнішніх характеристик на інший.

Промисловістю випускається велика серія універсальних випрямлячів: ВДУ-305 для ручного зварювання та механізованого зварювання у вуглецевому газі, ВДУ-504, ВДУ-505, ВДУ-506 для ручного зварювання, зварювання під флюсом та в середовищі захисних газів, ВДУ-601, ВДУ-1201 для зварювання під флюсом та в середовищі захисних газів.

Принципова електрична схема силової частини випрямляча ВДУ-504 (505, 506) наведена на рис. 5.21. Зовнішні характеристики випрямляча можуть бути круто падаючими або жорсткими (повільно падаючими).

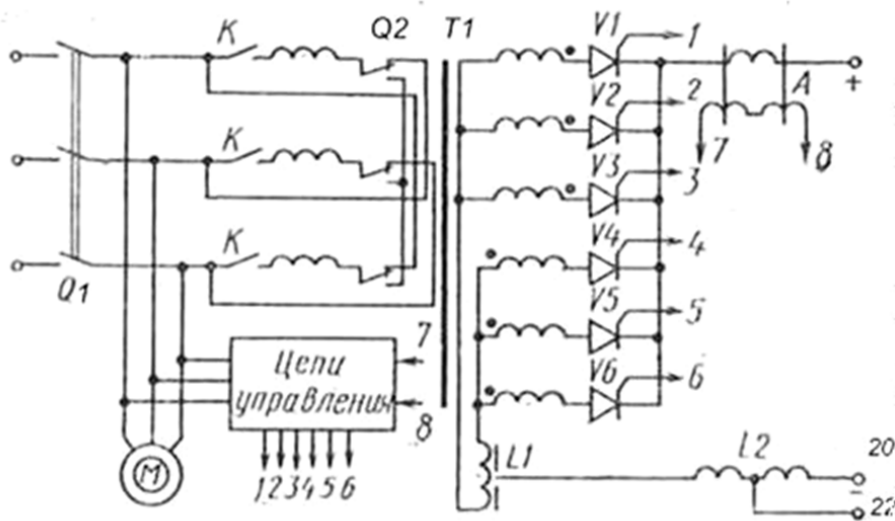


Рис. 5.21. - Спрощена принципова електрична схема зварювальних випрямлячів серії ВДУ.

Випрямляч складається з трифазного силового понижуючого трансформатора Т1 із нормальним магнітним розсіюванням, який має дві групи вторинних обмоток a, b, c та a', b', c' , з'єднані між собою протифазно у дві зворотні зірки через вирівнювальний реактор $L1$. Напруга від мережі подається на трансформатор за допомогою автоматичного вимикача $Q1$ та контактора $K1$. В залежності від режиму зварювання первинна обмотка трансформатора може вмикатися зіркою або трикутником. З'єднання первинних обмоток трикутником відповідає падаючим зовнішнім характеристикам та першому діапазону жорстких зовнішніх характеристик. З'єднання первинних обмоток зіркою відповідає другому діапазону регулювання жорстких характеристик. Перемикання обмоток трансформатора здійснюють пакетно-кулачковим перемикачем $Q2$, розташованим на задній панелі випрямляча.

Силовий блок випрямлення складається з шістьох тиристорів $V1-V6$, катоди яких з'єднані разом і утворюють позитивну клему. Негативним відводом є середня точка вирівнювального реактора. Лінійний дросель $L2$ згладжує пульсації випрямленого струму та зменшує розбризкування металу при зварюванні. Дросель має два відводи. Верхній (за схемою) відвід відповідає більшій індуктивності і застосовується при роботі з падаючими зовнішніми характеристиками та на першій ступені регулювання при роботі з

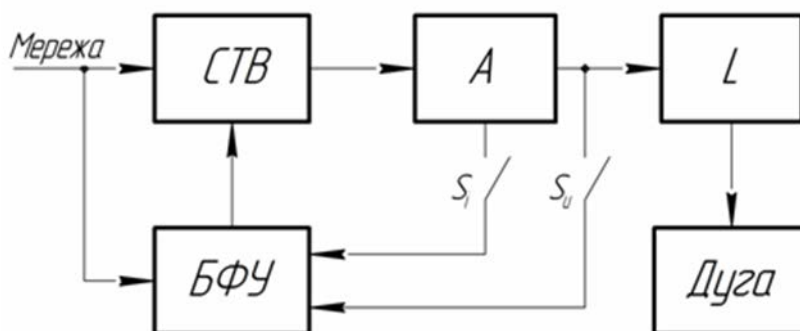
жорсткими характеристиками, нижній відвід 2 відповідає меншій індуктивності і застосовується на другій ступені регулювання при роботі з жорсткими характеристиками.

При зварюванні у вуглецевому газі перемикач зовнішніх характеристик на пульті керування встановлюють у положення «жорсткі». Для підвищення зварювальної напруги первинні обмотки трансформатора з'єднують за схемою трикутника, для пониження – за схемою зірки. Одночасно пакетно-кулачковим перемикачем Q2 зменшують індуктивність стабілізуючого дроселя. Напругу плавно регулюють потенціометром та схемою керування, змінюючи кут відкриття тиристорів.

При ручному зварюванні перемикач зовнішніх характеристик встановлюють у положення «Круто падаючі». При цьому первинні обмотки трансформатора з'єднують за схемою трикутника, а дросель в колі випрямленого струму має максимальну індуктивність. Силу струму регулюють плавно тим же потенціометром, що і при зварюванні на жорстких характеристиках.

Регулювати силу зварювального струму та напругу випрямляча можливо з лицьової панелі та дистанційно виносним пультом. Принцип регулювання режиму та формування зовнішніх характеристик пояснює блок-схема випрямляча ВДУ (рис. 5.22).

При механізованому зварюванні напруга регулюється блоком завдання напруги. Сигнал завдання через блок порівняння поступає на блок фазового керування, який формує керуючі імпульси і подає їх у необхідній послідовності на тиристори. При збільшенні напруги завдання зменшується кут керування тиристорів, а зварювальна напруга зростає.



СТВ – силовий тиристорний випрямляч; БФУ – блок фазового управління; А – магнітний підсилювач (датчик струму); L – лінійний дросель; S_1, S_2 – вимикачі, що визначають наявність зворотного зв'язку за струмом та напругою

Рис. 5.22. - Блок-схема випрямляча ВДУ-504

Завдяки силовому трансформатору з нормальним розсіюванням випрямляч володіє природними повільно падаючими зовнішніми характеристиками. Для отримання більш жорстких, незалежних від коливань напруги мережі, зовнішніх характеристик застосовують зворотній зв'язок за випрямленою напругою. Зварювальна напруга з датчика та напруга з блоку завдання порівнюються у блоку порівняння. Різниця цих напруг поступає в блок фазового керування тиристорами. При зниженні зварювальної напруги кут відкривання тиристорів зменшується і випрямлена напруга зростає.

Для отримання круто падаючих зовнішніх характеристик у схему керування тиристорами вводять зворотній зв'язок за струмом зварювальної дуги. В якості датчика зварювального струму застосовують магнітний підсилювач *A*. Сигнал зворотного зв'язку з виходу робочих обмоток підсилювача поступає в схему керування тиристорами (клеми 7 та 8 на рис. 5.21).

Напруга з датчика, пропорційна зварювальному струму, порівнюється із напругою завдання і їх різниця подається в блок фазового керування. При негативному зворотному зв'язку кут керування тиристорами із ростом сили струму збільшується, в результаті чого випрямлена напруга, що подається на дугу, знижується. Таким чином, за допомогою тиристорів та схеми керування ними із природних повільно падаючих характеристик силового трансформатору отримують штучні круто падаючі зовнішні характеристики випрямляча (рис. 5.20).

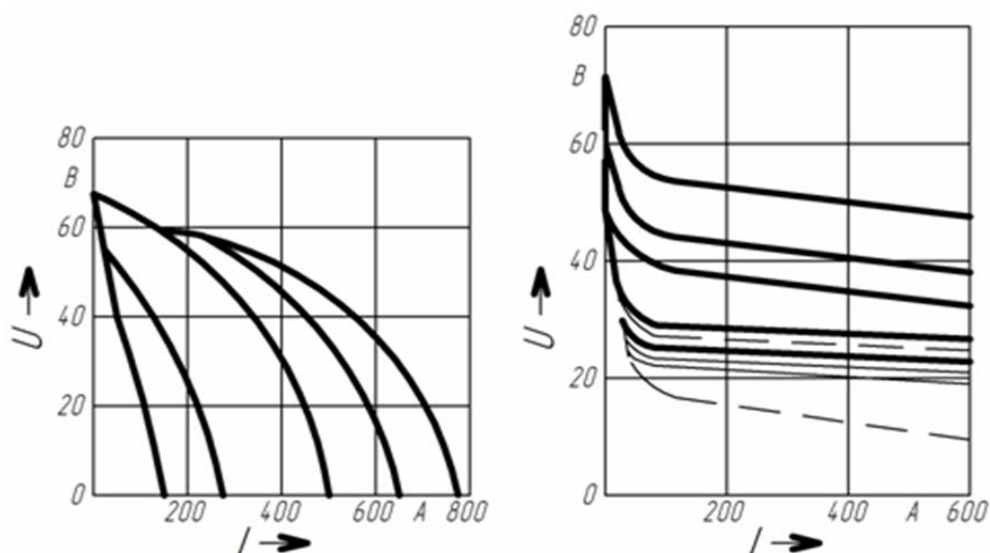


Рис. 5.23. - Зовнішні характеристики випрямляча ВДУ-504

Випрямляч охолоджується вентилятором та захищений від перевантажень тепловими реле, а від аварійних режимів – автоматичним вимикачем *Q1*.

Всі тиристорні випрямлячі мають однокорпусне виконання і мають нішу для розташування блоку керування зварювальним автоматом або напівавтоматом.

5.5.4 Багатопостові зварювальні випрямлячі

Багатопостові випрямлячі призначені для живлення електричною енергією декількох зварювальних постів одночасно. Їх доцільно застосовувати там, де на відносно незначних виробничих площах необхідно зосереджувати значну кількість однопостових джерел живлення. Застосування багато постових систем створює умови для підвищення продуктивності праці, більш раціонального використання виробничих площ, економії електроенергії. Подібні багато постові системи мають ряд переваг перед однопостовими випрямлячами:

- меншу вартість обслуговування та ремонту;
- можливість при необхідності проводити зварювання значними струмами;
- меншу, ніж у еквівалентної кількості однопостових випрямлячів робочу площу.

На даний час промисловістю серійно випускаються багато постові системи для живлення зварювальних постів для ручного дугового та механізованого зварювання в захисних газах постійним струмом від випрямлячів через спільні шинопроводи та баластні реостати на кожному зварювальному пості.

Багатопостові системи застосовуються, в основному, для ручного дугового зварювання. Основна вимога, що пред'являється до багатопостових джерел живлення – це незалежність роботи кожного поста від роботи інших. Зміна режиму на одних постах (наприклад короткі замикання, обрив дуги) не повинні впливати на стійкість процесу зварювання на інших постах. Умова незалежності роботи постів виконується, якщо відхилення напруги на вході поста в процесі зварювання не перевищує $\pm 5\%$. Для цього необхідно щоб напруга на виході джерела живлення була постійною і не залежала від навантаження, тобто, зовнішня характеристика джерела живлення повинна бути жорсткою.

Одним із суттєвих недоліків багато постових систем є значні втрати потужності у баластному реостаті, які знижують к.к.д. поста, що визначаються як

$$\eta n = P\partial/Pn$$

де $P\partial$ – потужність дуги; Pn – потужність, що підводиться до поста.

Джерела живлення багатопостової системи розраховуються на номінальний струм, що відповідає тривалості режиму роботи ПН = 100%. При визначенні кількості постів багатопостової системи, що відповідають номінальному струму джерела необхідно враховувати, що не всі пости працюють одночасно у однакових режимах (холостий хід, навантаження, коротке замикання). Кількість постів, які здатне забезпечити енергією джерело, визначають з урахуванням коефіцієнту одночасності роботи постів, який для ручного дугового та механізованого зварювання під флюсом складає $\varepsilon = 0,5 \dots 0,7$, а для механізованого зварювання в середовищі захисного газу $\varepsilon = 0,7 \dots 0,9$. Звідси кількість постів

$$n = \frac{I_{дж}}{\varepsilon \cdot I_n}$$

де $I_{дж}$ – номінальний струм джерела;

I_n – номінальний струм поста.

Багатопостові зварювальні випрямлячі випускаються промисловістю на струми 1000...5000 А.

Багатопостові випрямлячі типу ВДМ (ВДМ – 1001; ВДМ – 1601) використовуються для живлення випрямленим струмом через баластні реостати (регулятори струму) відповідно 6 - ти та 9 - ти зварювальних постів ручного дугового зварювання. Спрощена принципова електрична схема випрямляча наведена на рис. 5.24.

Випрямляч виконаний на базі трифазного понижуючого силового трансформатора $T1$ із нормальним магнітним розсіюванням, завдяки чому його зовнішня характеристика має жорстку форму, необхідну для багатопостового живлення. Фази первинної обмотки мають відводи, що дозволяють підвищувати вторинну напругу трансформатора приблизно на 5% при зниженні напруги мережі.

Блок випрямлення $VD1-6$ зібраний за шестифазною кільцевою схемою. В кожній фазі паралельно ввімкнені два кремнієвих вентиля. У шестифазній схемі кожний вентиль проводить струм лише незначну частину періоду, що полегшує умови його роботи.

Зварювальні пости отримують енергію від випрямляча через шинопроводи. Регулювання струму і створення падаючої характеристики на кожному пості здійснюється за допомогою баластного реостату. У випрямлячі передбачений захист від перевантажень та перегрівань, але як і в інших багато постових випрямлячах, призначених для живлення постів ручного дугового зварювання, відсутнє регулювання напруги холостого ходу.

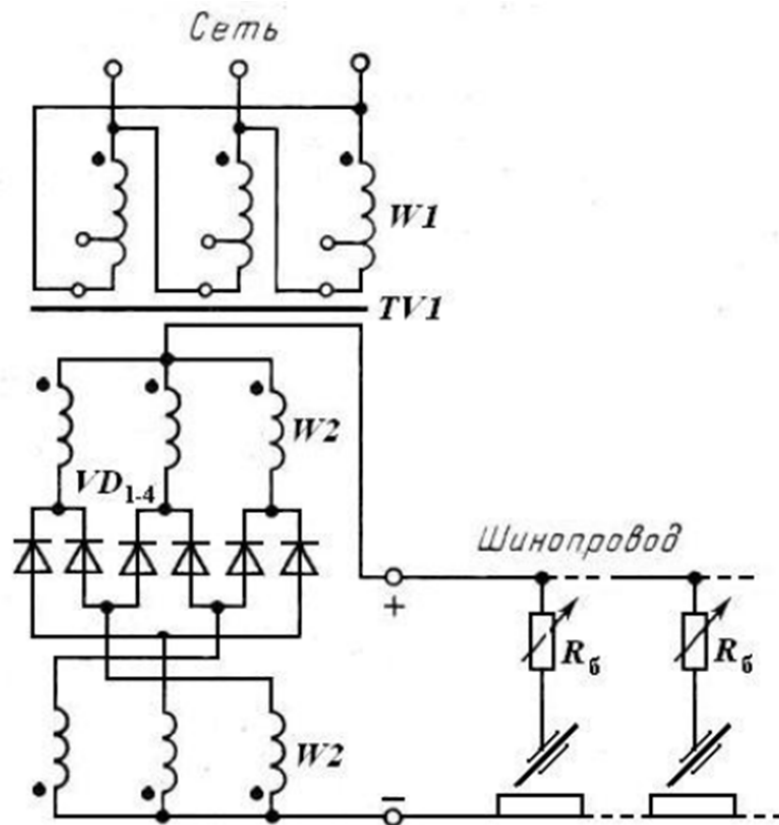


Рис. 5.24. - Електрична схема випрямлячів серії ВДМ.

Для централізованого живлення при зварюванні в середовищі вуглекислого газу розроблений випрямляч ВМГ – 5000, що забезпечує номінальний струм до 5000А, достатній для одночасного живлення до 30 – ти зварювальних постів. Випрямляч має також жорстку зовнішню характеристику, що забезпечується відповідною конструкцією силового трансформатора.

Трифазний понижуючий трансформатор T випрямляча (рис. 5.25) має одну первинну обмотку, з'єднану у зірку, та дві однакові групи вторинних обмоток, ввімкнених протифазно. Первинна обмотка секціонована, що дозволяє отримати п'ять значень е.р.с. вторинних обмоток.

Схема випрямлення представляє собою два трифазних випрямляча із виведеними нейтралями, які ввімкнені паралельно на навантаження через

вирівнювальний реактор $L_{\text{вир}}$. Вирівнювальний реактор забезпечує чітку паралельну роботу двох груп випрямлячів. При наявності вирівнювального реактора характерна відсутність у магнітопроводі трансформатора постійної складової магнітного потоку, що дозволяє зменшити габарити силового трансформатора.

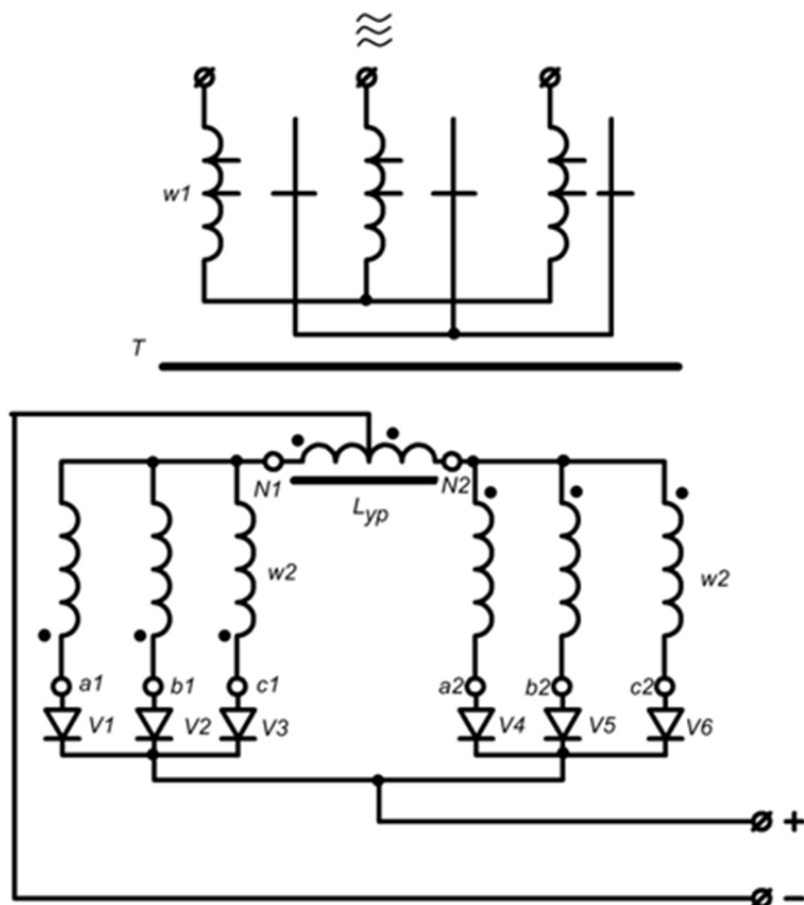


Рис. 5.25. - Принципова електрична схема багатопостового випрямляча ВМГ – 5000.

Випрямляч забезпечує ступінчасте регулювання вихідної напруги в межах 30, 35, 40, 50 та 60В перемиканням кількості витків фаз первинної обмотки. Струм дуги зварювального поста при багато постовому зварюванні у вуглецевому газі регулюють баластними реостатами РБГ – 201, РБГ – 302, РБГ – 401, ввімкненими послідовно з дугою. Реостати дозволяють отримувати до 20 - ти ступенів струму при збереженні повільно падаючої зовнішньої характеристики, необхідної для саморегулювання та стійкого горіння дуги при напівавтоматичному зварюванні із постійною швидкістю подавання дроту. Крім того, для зменшення розбризкування розплавленого металу в коло кожного поста послідовно з баластним реостатом необхідно ввімкнути дросель.

Випрямляч ВМГ – 5000 може бути застосований також і для ручного дугового зварювання та зварювання під флюсом. В цьому випадку зварювальні пости підключають до випрямляча через баластні реостати РБ – 201, РБ – 302 або РБ – 502.

Поряд із багатопостовими системами живлення, які мають спільний шинопровід та постові баластні реостати, існують багатопостові зварювальні випрямлячі з тиристорним регулюванням струму та напруги на кожному з постів. В цьому випадку випрямлячі можуть розташовуватись на різних зварювальних ділянках, утворюючи при необхідності місцеві системи багато постового живлення. При зберіганні всіх переваг однопостових випрямлячів знижуються маса та габарити установок, підвищується к.к.д. поста, поліпшуються експлуатаційні можливості.

Багато постові джерела живлення з тиристорним регулюванням мають єдиний трансформатор живлення та незалежні тиристорні блоки випрямлення із самостійними пристроями фазового управління. За такою схемою випускають універсальні багатопостові тиристорні випрямлячі із безреостатним регулюванням режиму поста серії ВДУМ-2х301 та ВДУМ-4х401 на два та чотири зварювальні пости відповідно (рис. 5.26).

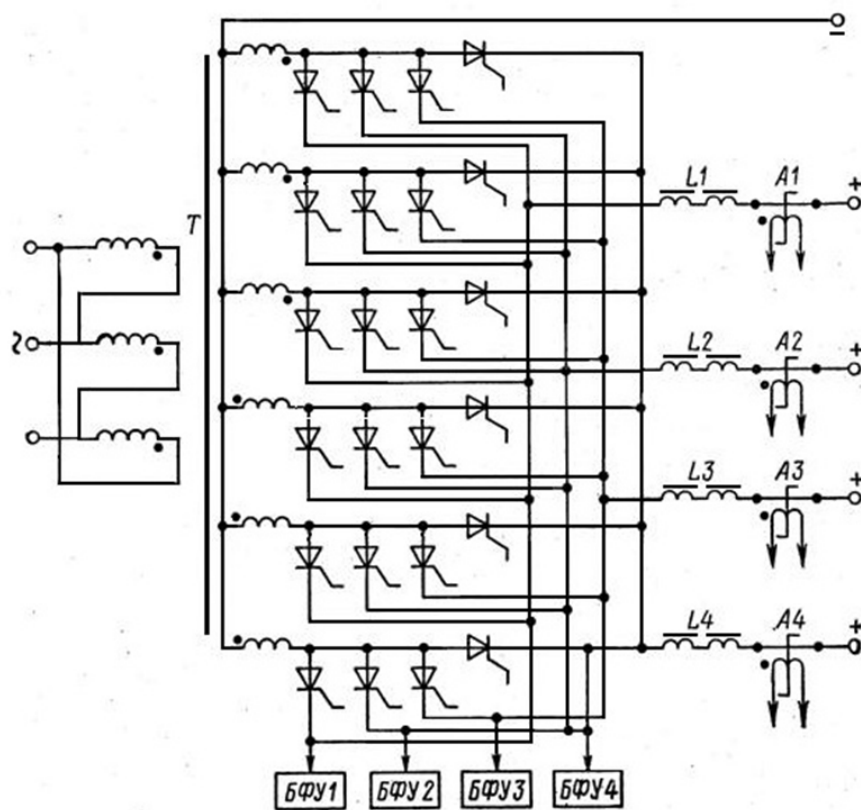


Рис. 5.26. - Схема багатопостового тиристорного джерела живлення з універсальними зовнішніми характеристиками

Система із паралельно працюючими тиристорними блоками накладає додаткові вимоги до схеми випрямлення зварювального поста. В цьому випадку працюючий тиристор одного блоку випрямлення не повинен шунтувати тиристор іншого. В зв'язку з цим стає неможливим застосування широко розповсюдженої трифазної мостової схеми випрямлення із шістьма керованими вентилями. Випрямлячі можуть бути виконані за трьома відомими схемами: двійною трифазною схемою із самостійними вирівнювальними реакторами в катодних колах тиристорів кожного зварювального поста, трифазною несиметричною мостовою схемою з трьома керованими вентилями катодної групи та простою шестифазною схемою випрямлення.

Випрямляч має падаючі та жорсткі зовнішні характеристики. Падаючі характеристики утворюються в результаті введення зворотного зв'язку за струмом, жорсткі – при сумісній дії зворотного зв'язку за напругою та струмом. Таким чином, одне і теж джерело живлення може бути застосовано одночасно для зварювання в середовищі вуглекислого газу та ручного дугового зварювання покритими електродами.

Випрямлячі забезпечують стабілізацію параметрів при коливаннях напруги мережі, дистанційне регулювання струму і напруги та вмикання зварювального режиму.

Питання для самоперевірки

1. Що входить до складу зварювальних випрямлячів.
2. Способи регулювання режиму у зварювальних випрямлячах із повільно падаючими характеристиками.
3. Способи створення падаючих зовнішніх характеристик у зварювальних випрямлячах.
4. Вимоги до багатьох постових джерел живлення.
5. Основні схеми випрямлення та області їх застосування.
6. Призначення лінійного дроселя в зварювальному колі випрямлячів із жорсткими та повільно падаючими характеристиками.

6 ІНВЕРТОРНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

6.1 Структура інверторних джерел живлення

Джерела живлення для дугового зварювання потребують оптимізації за такими критеріями, як маса, габарити, коефіцієнт корисної дії, надійність, вартість. В найбільшій мірі це стосується масогабаритних характеристик джерел, що визначають їх металоємність та мобільність. Оскільки основна маса і розміри зварювальних джерел визначаються габаритами та масою силового трансформатора, то для зниження масогабаритних характеристик джерела необхідно, в першу чергу, зменшувати саме його розміри.

Необхідна площа перерізу магнітопроводу силового трансформатора визначається із виразу

$$S_i = \frac{U_{20} \cdot 10^4}{4,44 f W_2 B_m}$$

де U_{20} – вторинна напруга трансформатора, В;

f – частота мережі живлення;

B_m – індуктивність магнітопроводу;

W_2 – число витків вторинної обмотки.

Звідси випливає, що маса трансформатора залежить від частоти напруги живлення. Тому найбільш доцільно для живлення трансформатора застосовувати напругу високої частоти, оскільки підвищення частоти у 100 разів знижує масогабаритні параметри джерела у 4 рази, а підвищення частоти у 400 разів знижує їх у 20 разів.

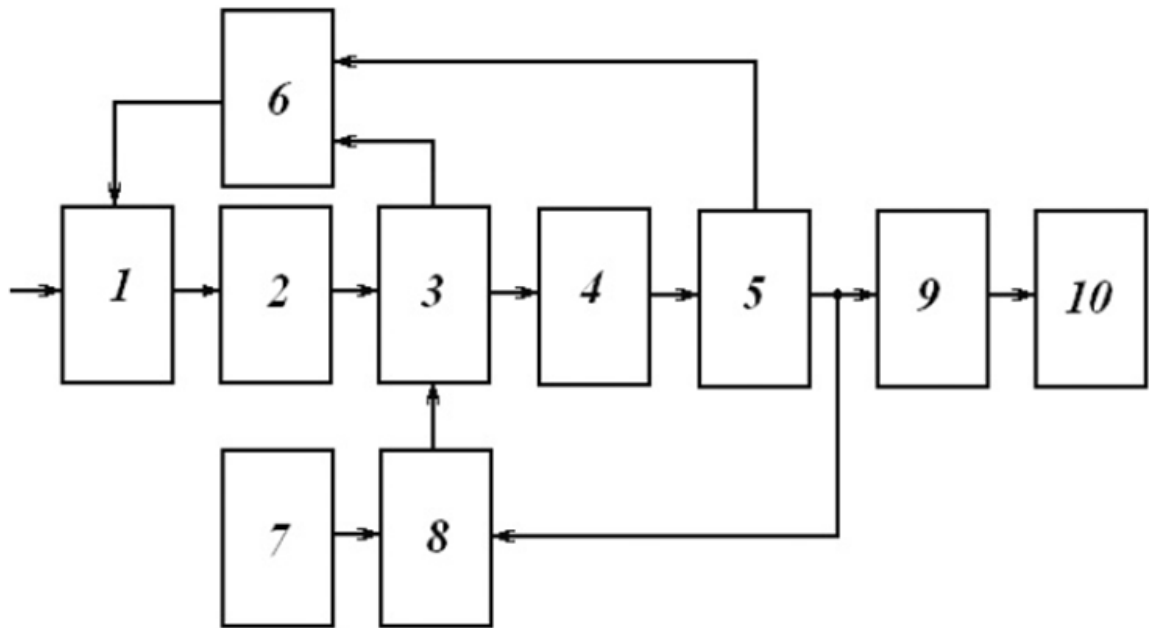
Відповідно, для зниження масогабаритних характеристик джерела живлення необхідно підвищувати частоту живлення силового трансформатора. З цією метою на даний час ефективно застосування знайшли джерела живлення на основі високочастотних інверторних перетворювачів. Інвертор – це пристрій із подвійним перетворенням :

- 1) перетворення змінної напруги промислової частоти у постійну;
- 2) перетворення постійної напруги у високочастотну змінну.

Зовнішні характеристики інверторного випрямляча залежать, головним чином. Від конструктивних особливостей інвертора і трансформатора. Природня зовнішня характеристика власне інвертора майже жорстка. Але оскільки індуктивний опір трансформатора, пропорційний частоті інвертування, є значним навіть при нормальному магнітному розсіюванні, то зовнішня характеристика випрямляча в цілому буде падаючою. Тому зовнішні характеристики формують штучно за допомогою зворотніх зв'язків. В інверторному випрямлячі порівняно легко отримати ломану зовнішню характеристику, сформовану з декількох ділянок. Ктутопадаюча ділянка необхідна для завдання відносно високої напруги холостого ходу, що покращує початкове запалювання дуги. Повільно падаюча робоча ділянка забезпечує ефективне саморегулювання при механізованому зварюванні у вуглекислому газі. Вертикальна ділянка обмежує зварювальний струм, що попереджає пропали при зварюванні тонкого металу. Він же задає величину струму короткого замикання. Положення кожної ділянки налагоджується за допомогою окремих регуляторів. Так, при зварюванні у вуглекислому газі переміщенням по вертикалі ділянки регулюється зварювальна напруга, а при зварюванні покритими електродами переміщенням самої вертикальної ділянки встановлюється сила струму.

Інвертор ний випрямляч дорожче за інші джерела, тому його доцільно застосовувати у тих випадках, коли мають значення малі габарити і маса – при зварюванні на монтажі, у побуті, на ремонтних роботах. В експлуатації таке джерело є надзвичайно економним. Його коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ наближається до 1, оскільки він не споживає реактивної потужності. Його к.к.д. досягає 0,7...0,9. Крім того, схемне рішення інверторного випрямляча дозволяє простими засобами знижувати напругу холостого ходу під час пауз в горінні дуги, що робить ці джерела більш безпечними у застосуванні.

Робота інверторного випрямляча здійснюється наступним чином: змінна напруга мережі випрямляється та фільтрується, далі вона перетворюється у високочастотну напругу, яка понижується через високочастотний трансформатор до необхідного для проведення зварювальних робіт рівня. Після цього високочастотна напруга знов випрямляється, фільтрується і подається на зварювальну дугу. В залежності від типу силових напівпровідникових приладів інверторні випрямлячі поділяють на тиристорні та транзисторні. Блок-схема такого перетворювача наведена на рис. 6.1.



1 – мережевий випрямляч із вбудованою системою захисту;
 2 – фільтр мережевої напруги; 3 – проміжна ланка високої частоти;
 4 – високочастотний трансформатор; 5 – високочастотний випрямляч;
 6 – блок захисту; 7 – блок завдання режиму; 8 – блок управління; 9 – дросель;
 10 – зварювальна дуга

Рис. 6.1 - Блок-схема інверторного джерела живлення

Кожний блок має певне функціональне навантаження. Для більш детального розгляду роботи інверторного випрямляча на рис. 6.2 представлена спрощена схема транзисторного інвертора і діаграми напруги у його вузлах.

Діаграма напруг дозволяє зрозуміти роботу кожного з блоків даного джерела живлення:

- 1) напруга на вході джерела живлення;
- 2) напруга на виході блока випрямлення (VD1-VD6);
- 3) напруга після згладжуючого фільтра (L1, C1);
- 4) високочастотна напруга на базах транзисторів (VT1, VT2);
- 5) напруга, знижена до необхідного для зварювання рівня понижуючим трансформатором і випрямлена за допомогою VD7-VD10;
- б) вихідна напруга.

Розглянемо функціональне та конструктивне виконання блоків, представлених на рис. 6.1 та 6.2.

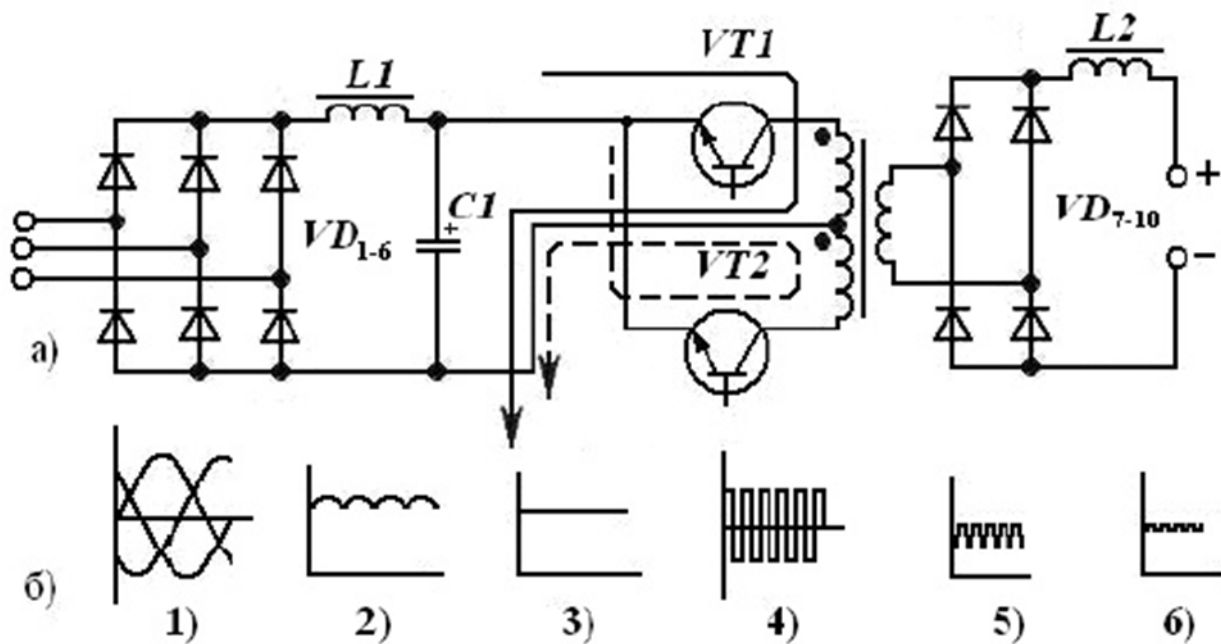


Рис. 6.2. - Інверторне джерело живлення: а) електрична схема; б) діаграми напруг на кожному з представлених вузлів

1. Мережевий випрямляч призначений для перетворення змінної напруги промислової частоти у постійну. Схема випрямлення при роботі від трьохфазної мережі – трьохфазна мостова, однофазної мережі – проста двохнапівперіодна. До складу мережевого випрямляча обов'язково входить вузол захисту, який при перевищенні струму на проміжному блоку високої частоти або при пробі одного з силових напівпровідникових вентилів відключає його від мережі.

2. Фільтр мережевої напруги здійснює згладжування пульсацій постійного струму на виході мережевого випрямляча. Для якісної роботи перетворювача високої частоти необхідне зменшення пульсацій промислової частоти до 1%, що вимагає застосування значної конденсаторної батареї, розміри якої впливають на масогабаритні характеристики джерела живлення.

3. Проміжна ланка високої частоти призначена для перетворення постійного струму у змінний струм високої частоти і регулювання зварювального струму і напруги. В залежності від типу напівпровідникових приладів проміжні ланки можуть бути тиристорними та транзисторними. Частота роботи перших обмежена часом запирання тиристоріві, як правило, не перевищує 5 кГц, а частота перетворення других може досягати сотень кілогерц. Тому масогабаритні показники транзисторних інверторів вище, ніж тиристорних.

4. Високочастотний зварювальний трансформатор понижує високочастотну напругу до більш низького значення, необхідного для процесу зварювання. Магнітопровід таких трансформаторів для зменшення втрат виготовляють на основі феритів. В основному застосовують однофазні трансформатори.

5. Високочастотний зварювальний випрямляч знов перетворює змінну напругу у постійну. Схема випрямлення проста двохнапівперіодна або двохнапівперіодна із середньою точкою. У схемі застосовують високочастотні некеровані вентилі.

6. Блок захисту призначений для відключення випрямляча від мережі при перегріванні, перевантаженні та різкій зміні напруги мережі. При зміні даних параметрів він подає сигнал на вузол захисту, що входить до складу мережевого випрямляча.

7. Блок завдання режиму задає технологічні параметри, необхідні для процесу зварювання.

8. Блок управління не тільки задає частоту проміжної ланки високої частоти, але й забезпечує порівняння заданих режимів зварювання із вихідними параметрами інверторного джерела і таким чином здійснює зворотній зв'язок за напругою та струмом.

9. Дросель призначений для обмеження швидкості наростання струму короткого замикання при механізованому зварюванні в середовищі захисних газів та згладжування пульсацій вихідної напруги. В зв'язку з тим, що пульсації на виході випрямляча мають високу частоту він виготовляється на основі феритів.

6.2 Тиристорні інвертори

При конструюванні тиристорних інверторів головна проблема складається у необхідності вимикання тиристора для припинення кожного імпульсу, оскільки тиристор, ввімкнений в коло постійного струму, неможливо вимкнути зняттям сигналу управління. Принципово для його вимкнення необхідно знизити до нуля анодний струм, а після припинення його протікання деякий час підтримувати зворотну напругу для відновлення запираючих властивостей. Це можливо, якщо паралельно або послідовно з тиристором ввімкнути конденсатор, із розрядженням або зарядженням якого припиняється струм в анодному колі тиристора. Тому розрізняють паралельний та послідовний тиристорні інвертори.

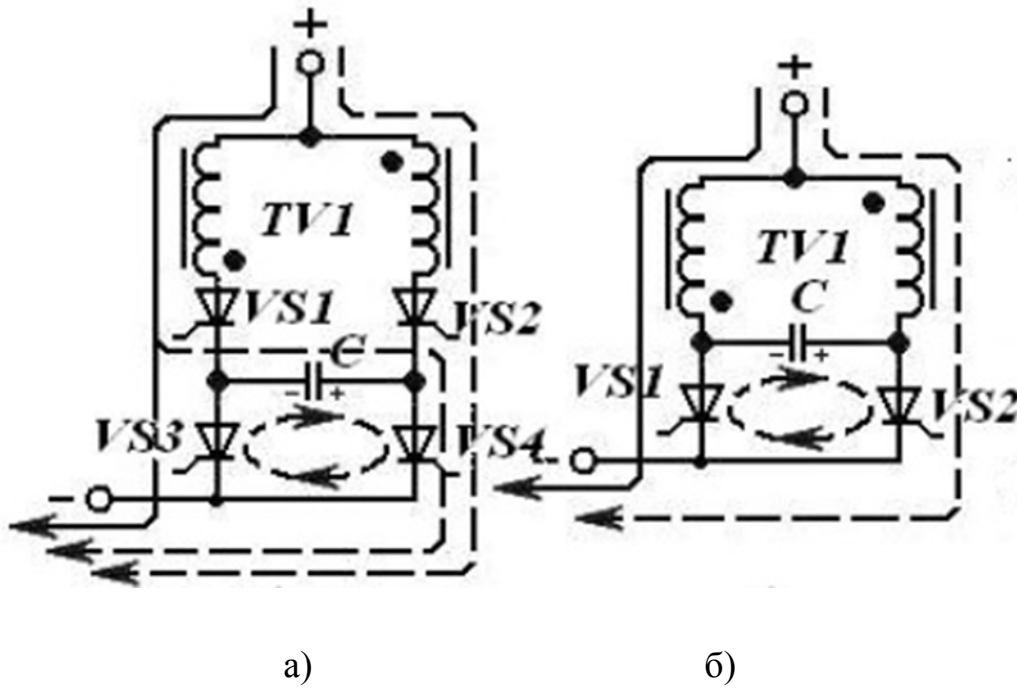


Рис. 6.3. - Схеми паралельних інверторів на тиристорах

У паралельному тиристорному інверторі (рис. 6.3,а) в початковий момент струм навантаження протікає через послідовно ввімкнені тиристири $VS1$, $VS3$, при цьому комутуючий конденсатор C заряджається, як показано на рис. 6.3,а. При відкриванні тиристора $VS4$ конденсатор починає розряджатись і запирає тиристор $VS3$, по закінченні перезаряджання конденсатора C настає пауза. Наступний імпульс починається при відкриванні тиристорів $VS2$, $VS4$. Дана схема дозволяє регулювати як тривалість імпульсу, так і тривалість імпульсу і паузи окремо один від одного. Суцільною стрілкою показано протікання струму під час відкривання одного тиристора, а штриховою – відкривання другого тиристора і запирання першого.

На рис. 6.3,б струм імпульсу протікає через ліве плече трансформатора при відкриванні тиристора $VS1$, при цьому комутуючий конденсатор заряджається, як показано на рис. 6.3,б. При відкриванні тиристора $VS2$ конденсатор C починає розряджатись і запирає тиристор $VS1$. Струм протікає через праве плече трансформатора.

Схеми послідовних тиристорних інверторів представлено на рис. 6.4. У першому інверторі (рис. 6.4,а) струм навантаження у початковий момент протікає через послідовно ввімкнені конденсатор C , тиристор $VS1$ та первинну обмотку трансформатора $TV1$. Таким чином, час протікання струму обмежений часом заряджання комутуючого конденсатора. Далі відкривається

тиристор $VS2$ і енергія, накопичена у конденсаторі, протікає через первинну обмотку трансформатора, наводячи у ній е.р.с. У другому інверторі (рис. 6.4,б) струм навантаження протікає зустрічно спочатку через відкриті тиристори $VS1, VS4$ та первинну обмотку трансформатора $TV1$, а в наступний момент часу (після закривання попередньої пари тиристорів) через тиристори $VS2, VS3$ і ту саму обмотку трансформатора. На рисунку суцільною стрілкою показане протікання струму через першу пару тиристорів, а штриховою – через другу.

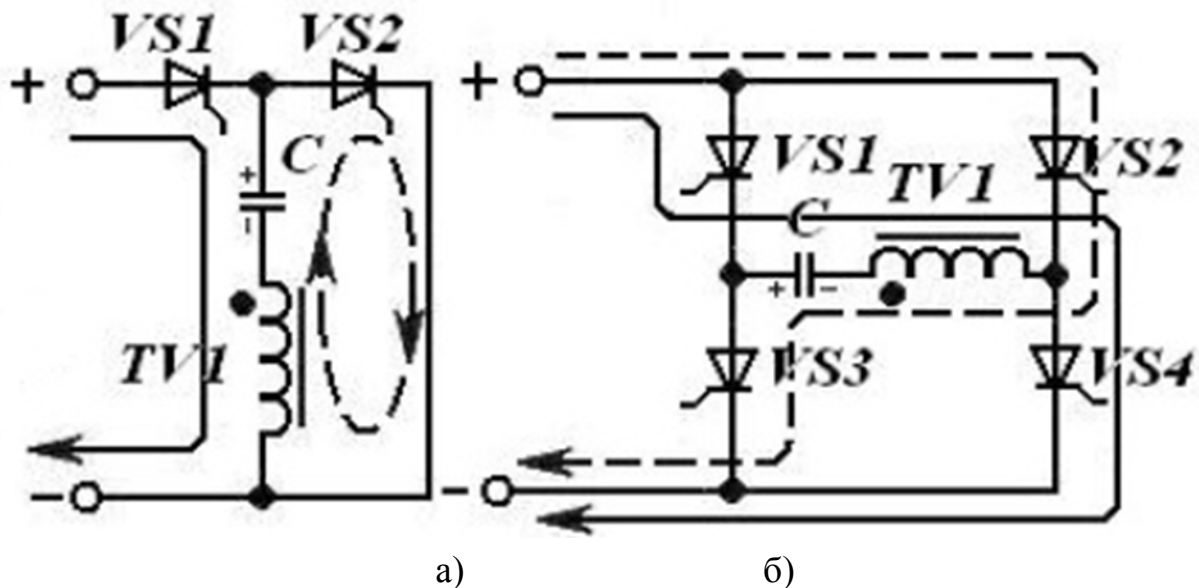


Рис. 6.4. - Схеми послідовних тиристорних інверторів

6.3 Транзисторні інвертори

Схемне рішення транзисторного інвертора простіше, ніж у тиристорного, оскільки запирання транзистора здійснюється природнім шляхом після зняття керуючого сигналу.

За принципом дії розрізняють одноктні та двохтактні транзисторні інвертори. У одноктних перетворювачах енергія із мережі постійного струму передається навантаженню протягом одного з двох тактів його роботи. У двохтактних схемах ця енергія поступає протягом обох тактів роботи перетворювача. У зварювальних джерелах живлення звичайно застосовують двохтактні схеми інверторів. На рис. 6.5,а наведена одна з розповсюджених схем силової частини інверторного джерела із двохтактним мостовим перетворювачем.

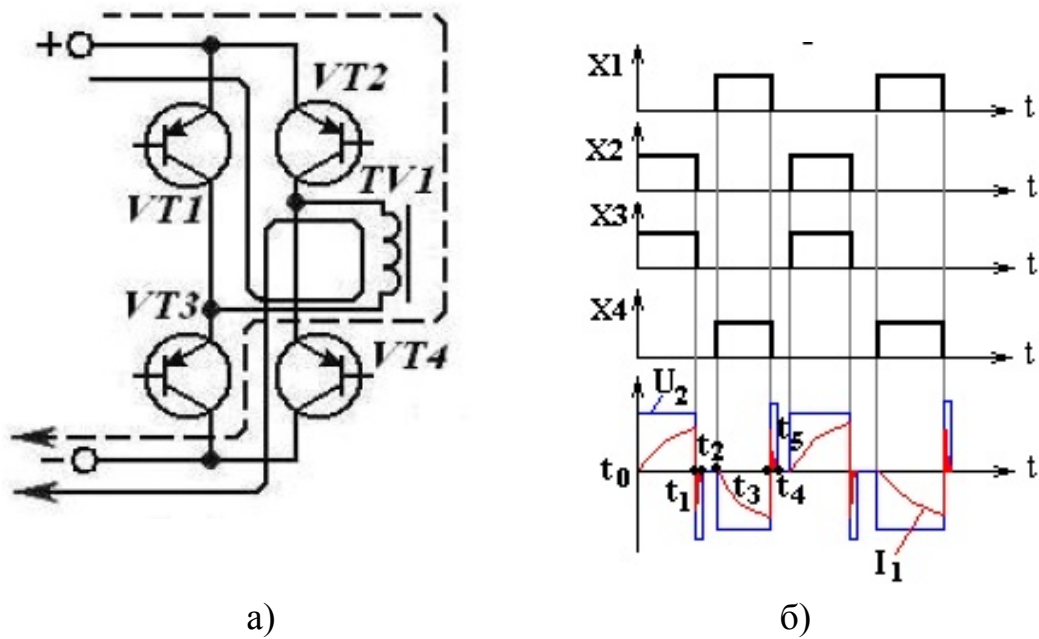


Рис. 6.5. - Джерело живлення на основі мостового інвертора (а) та часові діаграми напруги на виході інвертора та струму навантаження (б).

Керування транзисторами $VT1 - VT4$ здійснюється таким чином, що одночасно відкривається одна пара транзисторів – $VT1$ та $VT4$ або $VT2$ та $VT3$. При перемиканні цих пар (одна пара закривається, інша – відкривається із зсувом за фазою на кут φ відносно першої пари (рис.6.5,б)) здійснюється зміна полярності на первинній обмотці трансформатора. В результаті вихідна напруга інвертора U_2 має вигляд прямокутників із паузою на нульовому рівні ($X1...X4$ – вхідні сигнали відповідних транзисторів).

Достатньо часто в інверторних джерелах живлення застосовується напівмостова схема із ємнісним дільником напруги та двома транзисторами (рис. 6.6).

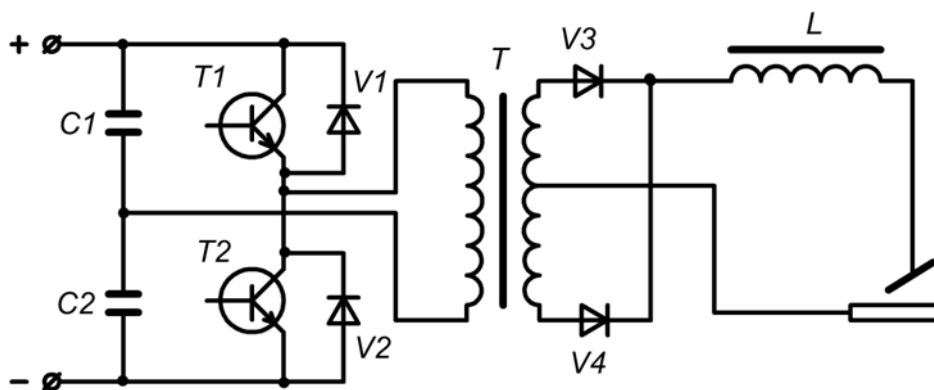


Рис. 6.6. - Схема силового контуру напівмостового інвертора із ємнісним дільником напруги.

Спільна точка конденсаторів $C1$ та $C2$ у цій схемі утворює штучний відвід потенціалу вхідного випрямляча, що живить інвертор. У на півперіод, коли відкритий транзистор $T2$, заряджається $C1$ та розряджається $C2$. Таким чином, за допомогою ключів $T1$ та $T2$ напруга кожної половини ємнісного дільника

7 СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ДУГОВОГО ТА ПЛАЗМОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ

7.1 Загальні відомості

До спеціалізованих відносять джерела живлення дугового розряду та плазмової дуги, здатні забезпечувати стійке горіння дуги як постійного, так і змінного струму при ручному та механізованому зварюванні плавким та неплавким електродом легких та кольорових металів та сплавів, високолегованих сталей, тонких та особливо тонких матеріалів.

Забезпечення цих умов висуває до спеціалізованих джерел живлення додаткові вимоги, пов'язані із полегшенням запалювання як вільної, так і стисненої дуги, плавним регулюванням зварювального струму у широких межах і водночас стабілізацією струму і напруги на дузі на заданому рівні, автоматичним і регульованим у часі наростання струму на початку процесу зварювання. Тому спеціалізовані джерела мають більш складну конструкцію, ніж загальнопромислові джерела для дугового зварювання.

У схемах спеціалізованих джерел широко застосовують різні допоміжні пристрої: осцилятори, імпульсні збуджувачі та стабілізатори горіння дуги постійного та змінного струму, пристрої для плавного зниження струму в кінці зварювання, пристрої для модуляції зварювального струму за частотою, тривалістю та амплітудою в процесі зварювання, регулятори струму та напруги.

7.2 Функціональні вузли спеціалізованих джерел живлення зварювальної дуги

Осцилятори. При зварюванні неплавким, а в деяких випадках і плавким електродом небажано або неприпустимо запалювання дуги дотиком електроду із виробом. В цих випадках запалювання дуги здійснюють шляхом пробою міжелектродного проміжку високовольтними високочастотними імпульсами напруги. Призначені для цього електричні генератори отримали назву збудників горіння дуги або осциляторів.

Осцилятори застосовують, в основному, для поліпшення запалювання та стабілізації дуги при аргонно – дуговому зварюванні неплавким електродом, при ручному дуговому зварюванні електродами із низькими іонізуючими властивостями покриття, а також при зварюванні тонкостінних виробів дугою малої потужності при струмах 20...40А.

Різноманітні схеми збудників можуть бути розподілені на дві основні групи – з неперервним та імпульсним живленням. До першої групи відносять осцилятори, у яких для збудження дуги застосовується спосіб накладення на зварювальний струм частотою 50 або 100 Гц струмів високої частоти (100...3000 кГц) та високої напруги (1500...6000 В). При подачі імпульсів від осцилятора на міжелектродний проміжок здійснюється його іскровий пробій із наступним переходом у дуговий. При застосуванні осциляторів забезпечується легке запалювання дуги навіть без короткого замикання при зазорі 1...2 мм.

Із джерелами постійного струму осцилятори застосовують для первинного збудження дуги, із джерелами змінного струму як для первинного запалювання дуги, так і для її збудження після зміни полярності напруги (після переходу струму через нульове значення).

У збудниках із неперервним живленням джерелом високої напруги є високовольтний трансформатор із підвищеним магнітним розсіюванням, який розраховується на повну напругу мережі та під'єднується до неї на увесь час роботи збудника. Джерелом високої частоти у таких збудниках, як правило, є іскрові генератори. Застосовують осцилятори паралельного та послідовного вмикання.

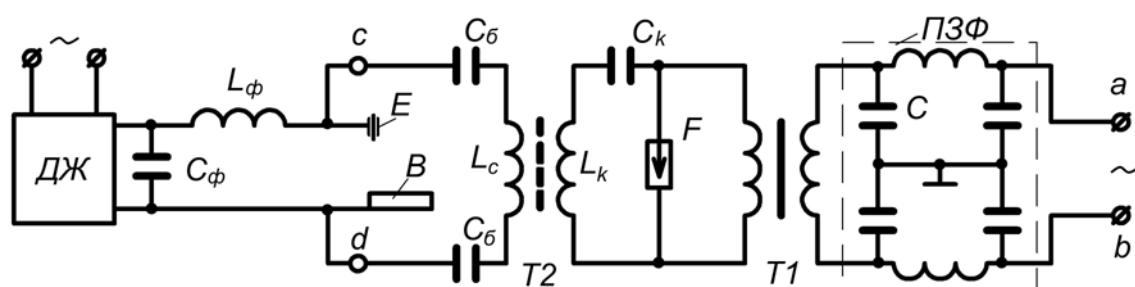


Рис. 7.1. - Принципова електрична схема осцилятора паралельного вмикання

Схема осцилятора паралельного вмикання наведена на рис. 7.1. Трансформатор T1 промислової частоти підвищує напругу мережі до 3000...6000 В. Напруга вторинної обмотки трансформатора T1 підводиться до коливального контуру, до складу якого входять розрядник F, конденсатор Cк та первинна обмотка Lк трансформатора T2 високої частоти. При зростанні напруги на вторинній обмотці трансформатора T1 на початку напівперіода змінної напруги конденсатор Cк заряджається. В ньому накопичується електрична енергія

$$W_c = C_k U^2 / 2$$

По досягненні певної величини напруги на конденсаторі C_k здійснюється пробій повітряного проміжка розрядника F . У цей момент коливальний контур $C_k - L_k - F$ виявляється замкненим і електрична енергія конденсатора C_k перетворюється у електромагнітну енергію індуктивності L_k ,

$$W_L = L_k i^2 / 2$$

У коливальному контурі знакозмінний затухаючий коливальний процес із частотою, що визначається величиною C_k та L_k . Високочастотний трансформатор T_2 через вторинну обмотку L_2 передає високочастотні імпульси високої напруги на дуговий проміжок.

Прохідний конденсатор C_b утворює фільтр низьких частот, який пропускає струм високої частоти від осцилятора до дуги але не дає можливості низькочастотній напрузі з виходу джерела живлення проходити у осцилятор.

Осцилятори паралельного вмикання застосовують, як правило, разом із джерелами живлення дуги постійного струму.

У осциляторах послідовного вмикання (рис. 7.2) котушка індуктивності коливального контура $C_k - L_k - F$ ввімкнена послідовно із дугою, тобто через неї протікає зварювальний струм, що визначає значний переріз дротів обмотки. Принцип роботи таких осциляторів подібний до осциляторів паралельного вмикання, але вони є більш компактними і простішими за конструкцією.

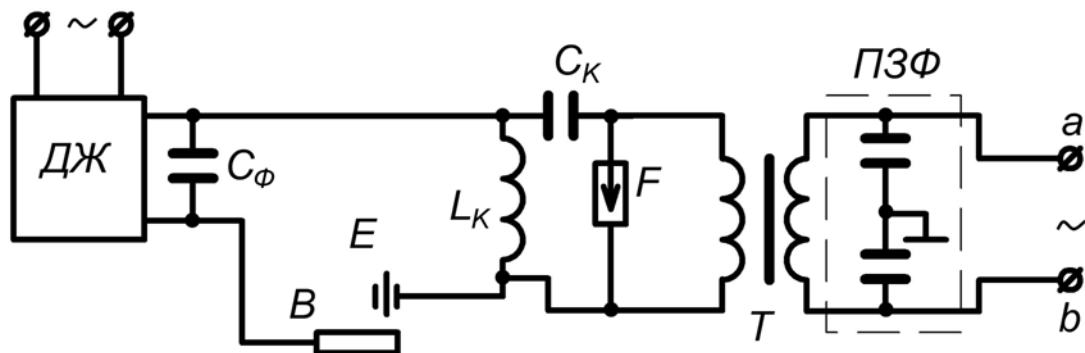


Рис. 7.2. - Осцилятор послідовного вмикання

Наявність іскрового генератора, що генерує широкий спектр частот, підвищує рівень перешкод радіоприйому, створених збудником. Не зважаючи на те, що такі збудники мають у своєму складі достатньо громіздкі фільтри захисту від таких перешкод ПЗФ (рис. 7.1), не вдається знизити їх рівень до допустимих норм. Тому час роботи таких збудників повинен бути

обмеженим, для чого у схемах джерел живлення необхідно передбачати можливість їх автоматичного відключення відразу після запалювання дуги.

Сукупність цих недоліків характеризує збудників із неперервним живленням як застарілі вироби. Але завдяки простоті схеми та конструкції вони продовжують знаходити застосування у промисловості.

Імпульсні збудники дуги. Більш досконалішими є збудники з імпульсним живленням, у яких енергія, попередньо занесена у накопичувачі, виділяється за короткий час на будь-якому з елементів високочастотного контуру. У якості накопичувача можуть виступати конденсатор або дросель.

У схемі імпульсного збудника дуги, наведеної на рис. 7.3, накопичувальна ємність $C1$ заряджається через дросель L та вентиль VD від допоміжного малопотужного джерела постійної напруги, або від вихідної напруги джерела живлення дуги постійного струму, як і показано на рис. 7.3.

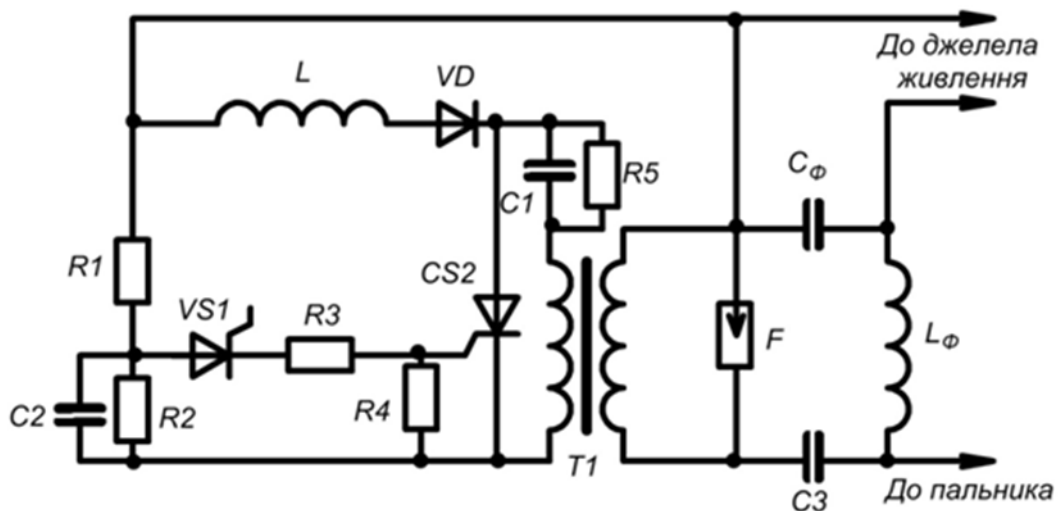


Рис. 7.3. - Принципова електрична схема імпульсного збудника дуги.

Розрядник F , конденсатор $C\phi$ та дросель $L\phi$ утворюють генератор високочастотних коливань. Елементи схеми $R1$, $R2$, $C2$ та диністор $VS1$ складають релаксаційний генератор, який утворює негармонічні коливання – імпульси напруги в результаті вивільнення енергії, що накопичується в конденсаторі $C2$ при його зарядженні від джерела постійної напруги. При досягненні на конденсаторі $C2$ певної напруги стрибкоподібно відкривається диністор $VS1$ і конденсатор $C2$ розряджається через керуюче коло тиристора $VS2$. При цьому $VS2$ відкривається і накопичувальна ємність $C1$ розряджається через первинну обмотку імпульсного трансформатора T . Струм розряду конденсатора $C1$ створює у вторинній обмотці імпульсного трансформатора T короткий імпульс високої напруги, який запускає високочастотний генератор

$C\phi-L\phi-F$. Імпульси високої напруги та частоти з виходу останнього поступають на між електродний проміжок, сприяючи запалюванню дуги. Елементи високочастотного генератора – конденсатор $C\phi$ та дросель $L\phi$ водночас утворюють фільтр, що зменшує шкідливі перешкоди радіоприйому.

Імпульсні стабілізатори горіння дуги. Застосовуються для забезпечення повторного запалювання дуги змінного струму у на півперіоді зворотної полярності в тих випадках, коли напруги джерела живлення для цього не достатньо. Оскільки максимальне значення напруги холостого ходу зварювальних джерел обмежене вимогами техніки безпеки, то стабілізаторами горіння дуги повинні оснащатися всі установки для зварювання легких сплавів, в першу чергу алюмінію, дугою змінного струму.

За конструкцією та принципом дії розрізняють активні та пасивні стабілізатори горіння дуги. У пасивних стабілізаторах енергія, необхідна для повторного запалювання дуги, накопичується у реактивних елементах (індуктивності або ємності), ввімкнених у коло дуги послідовно або паралельно дуговому проміжку і виділяється при перехідних процесах, пов'язаних із згасанням дуги. Найпростіший варіантом є ввімкнення батареї конденсаторів паралельно дузі через незначний активний опір (рис. 7.4).

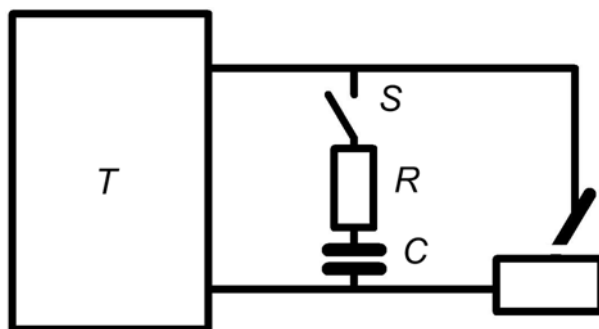


Рис. 7.4. - Принципова схема пасивного стабілізатора дуги змінного струму.

Після згасання дуги прямої полярності здійснюється перезарядження цієї батареї через індуктивність джерела живлення. Максимальна напруга на конденсаторах перевищує напругу джерела живлення майже у декілька разів. Після зарядження ємність розряджається на дуговий проміжок. У активних стабілізаторах енергія необхідна для стабілізації горіння дуги запасється у накопичувачі, що відділяється від дуги комутатором, і в необхідний момент часу інжектується у дуговий проміжок. Параметри імпульсу та момент інжекції обираються у відповідності із вимогами процесу і не оказують побічного впливу на дугове коло.

Принципова схема активного стабілізатора горіння дуги змінного струму наведена на рис. 7.5. Принцип дії його заснований на додаванні напруг джерела живлення та накопичувальної ємкості при її розряді на дуговий проміжок. Накопичувальна ємність C_H заряджається від трансформатора T через вентиль $V1$ та резистор $R_{зар}$, що обмежує струм заряду конденсатора. У коло розряду конденсатора ввімкнені тиристор $V2$ та баластний резистор $R_{бал}$, що обмежує струм розряду ємкості. Розряд конденсатора на дуговий проміжок здійснюється при подачі позитивного потенціалу на керуючий електрод тиристора від схеми керування (рис. 7.5, схема керування не показана). Запирається тиристор після повного розряду конденсатора. Розрядний імпульс забезпечує повторне збудження дуги на зворотній полярності зварювального струму. Параметри стабілізуючого імпульсу – амплітуда порядку 600 В, тривалість 60...80 мкс. Величина струму в імпульсі може досягати 60...80 А.

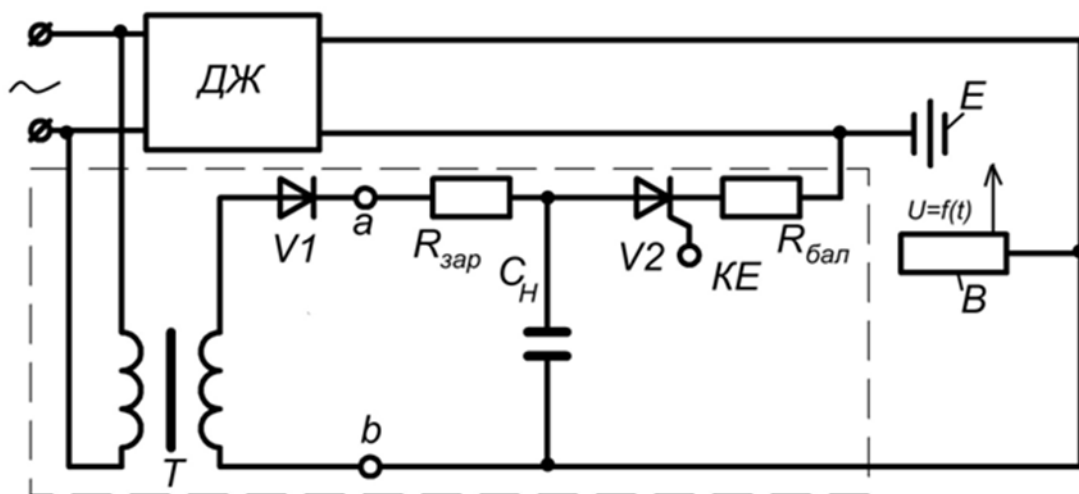


Рис. 7.5. - Принципова схема імпульсного стабілізатора горіння дуги.

7.3 Установки для зварювання в інертних газах

Призначені для зварювання неплавким електродом виробів з корозійно-стійких сталей, алюмінієвих та титанових сплавів змінним струмом в середовищі аргону. Труднощі, що виникають при зварюванні цих металів та сплавів, викликані наявністю на їх поверхні тугоплавкої оксидної плівки. У розплавленій ванні оксиди знаходяться у твердому стані. Змінний струм необхідний для руйнування оксидної плівки, що перешкоджає нормальному

сплавленню металу. В цьому випадку в на півперіоді зворотної полярності здійснюється видалення оксидної плівки з поверхні алюмінію за рахунок бомбардування її іонами аргону, а в напівперіоді прямої полярності забезпечується плавлення основного металу.

Для ручного дугового зварювання алюмінію та його сплавів на змінному струмі вольфрамовим електродом в аргоні призначені установки типу УДГ-301 та УДГ-501, принципова електрична схема яких наведена на рис. 7.6.

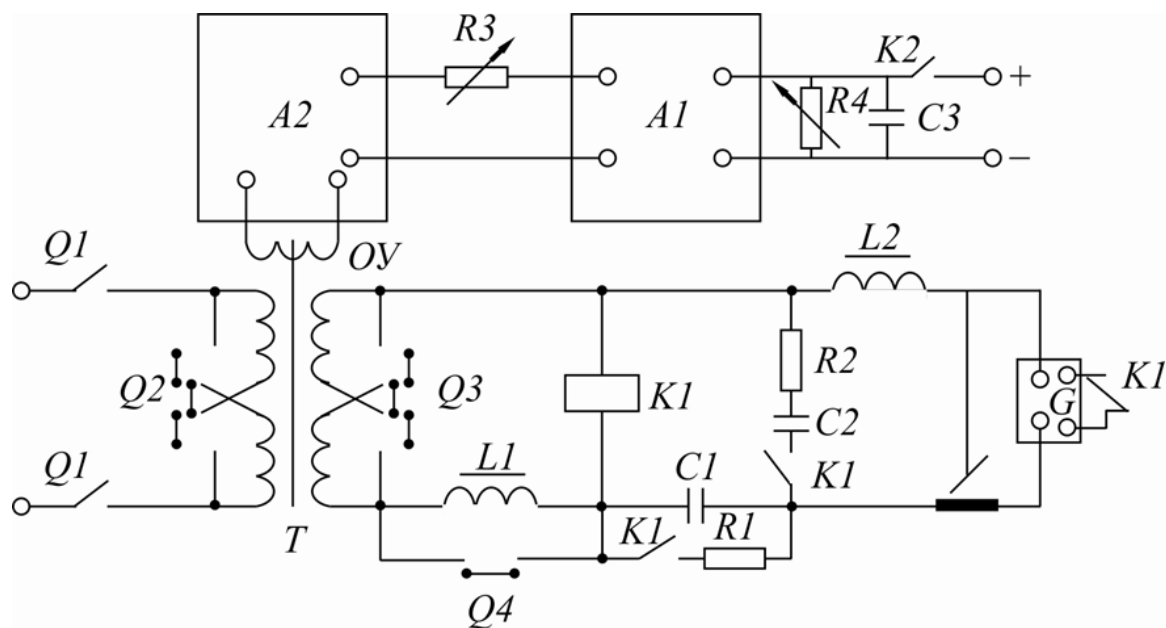


Рис. 7.6. - Принципова схема зварювальних установок серії УДГ.

Установки УДГ складаються із шафи управління та пальника. В шафі управління розташовані силовий та допоміжні трансформатори, мережевий контактор, магнітний підсилювач для управління зварювальним струмом, блок конденсаторів для усунення постійної складової струму, апаратура управління роботою установки, блок підпалу та стабілізації дуги.

В установках застосовують однофазний зварювальний трансформатор ТРПШ-300 або ТРПШ-500 із круто падаючою характеристикою та шунтом, що підмагнічується. Перемикачі Q2 та Q3 призначені для перемикання первинних та вторинних обмоток трансформатора з паралельного на послідовне з'єднання, чим досягається ступінчасте (приблизно у 4 рази) зменшення сили зварювального струму. В установці УДГ-301, крім того, мається дросель L1, який дозволяє при розмиканні перемикача Q4 зменшити струм до 15 А.

Плавне регулювання зварювального струму здійснюється резистором R3, розташованим на панелі управління. При цьому змінюється струм в

обмотці управління шунта ОУ, що живиться через транзисторний А1 та магнітний А2 підсилювачі.

Для початкового збудження безконтактним способом і стабілізації дуги застосовується підпалюючий пристрій G , який може працювати в режимі осцилятора та стабілізатора. При вмиканні джерела контактором $Q1$ спрацьовує реле дуги $K1$ і запускає пристрій G у роботу в осциляторному режимі. Високовольтний високочастотний імпульс подається до електроду та виробу, утворюючи іскровий розряд, що переходить у дуговий. Для захисту джерела від високовольтної напруги слугує фільтр $L2-R2-C2$ і контакт $K1$. Після збудження дуги реле $K1$ відключається і переводить пристрій G на роботу у стабілізаторному режимі. Для усунення постійної складової зварювального струму застосовують батарею конденсаторів $C1$. В момент запалювання дуги блок конденсаторів шунтується баластним резистором $R1$.

Заварювання кратеру здійснюється після розмикання контакту $K2$. При цьому плавно знижується струм обмотки управління шунта в результаті розряджання конденсатора $C3$ на резистор $R4$, який задає час та струм заварювання.

Універсальні зварювальні установки серії УДГУ забезпечують можливість зварювання неплавким електродом у середовищі аргону як виробів із корозійно – стійких сталей постійним струмом, так і алюмінію та його сплавів на змінному струмі. Відповідно, до електричної схеми установок, окрім вузлів, наведених вище, входить силовий випрямляч, зібраний за мостовою схемою. Крім того, для забезпечення безконтактного збудження дуги при зварюванні на постійному струмі застосовується імпульсний збудник дуги, схема якого наведена на рис. 7.3.

7.4 Джерела живлення для зварювання тонких металів

Малоамперні дуги зі струмом до 70...80А, що горять у середовищі аргону, мають падаючу вольт-амперну характеристику, відповідно, для забезпечення стійкого горіння такої дуги джерело живлення повинно мати круто падаючі зовнішні характеристики. Для аргонодугового зварювання чорних та кольорових металів та сплавів малих товщин промисловістю випускаються напівпровідникові транзисторні джерела типу АП (АП-4 та АП-5 на максимальний струм дуги, відповідно 30 та 100 А).

Спрощена електрична схема джерела наведена на рис. 7.7.

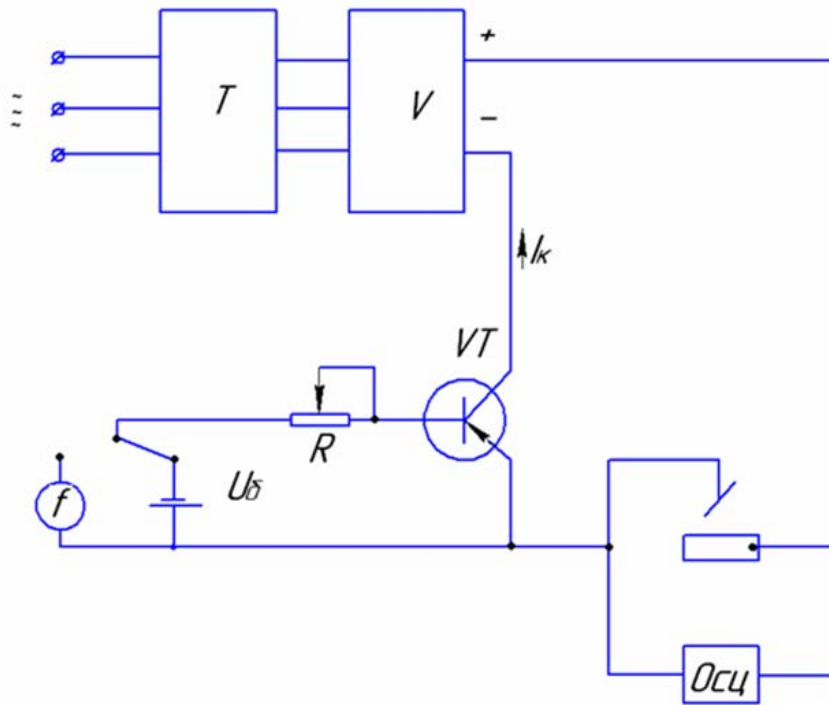


Рис. 7.7. - Спрощена електрична схема джерела типу АП

Зварювання здійснюється неплавким електродом неперервним або імпульсним струмом прямої та зворотної полярності. Силевий трифазний трансформатор джерела Т має жорстку зовнішню характеристику. Силевий блок випрямлення V зібраний за трифазною мостовою схемою на некерованих напівпровідникових (кремнієвих) вентилях.

У зварювальне коло послідовно вмикається блок транзисторів VT, що складається із декількох потужних транзисторів, з'єднаних паралельно. Блок VT виконує функції стабілізації та керування струмом дуги. Зварювальний струм регулюється плавною зміною величини струму у колі спільної бази (струму керування) транзисторів.

З властивостей напівпровідникових тріодів відомо, що у схемі вмикання транзистора із спільним емітером, колекторний (вихідний) струм транзистора практично не залежить від напруги, прикладеної до його колектора та емітера. При відповідному виборі режиму роботи тріода струм дуги, що дорівнює колекторному струму тріода, $I_k = I_d$ буде визначатись струмом бази I_b і не залежить від напруги джерела та опору зварювального кола. Транзистор автоматично змінює свій опір таким чином, що струм колектора залишається незмінним. Ввімкнення у зварювальне коло транзистора забезпечує стабільне значення зварювального струму, що практично не залежить від коливань довжини дуги та коливань напруги джерела. Зовнішня характеристика джерела завдяки властивостям транзисторів наближається до вертикальної (рис. 7.8).

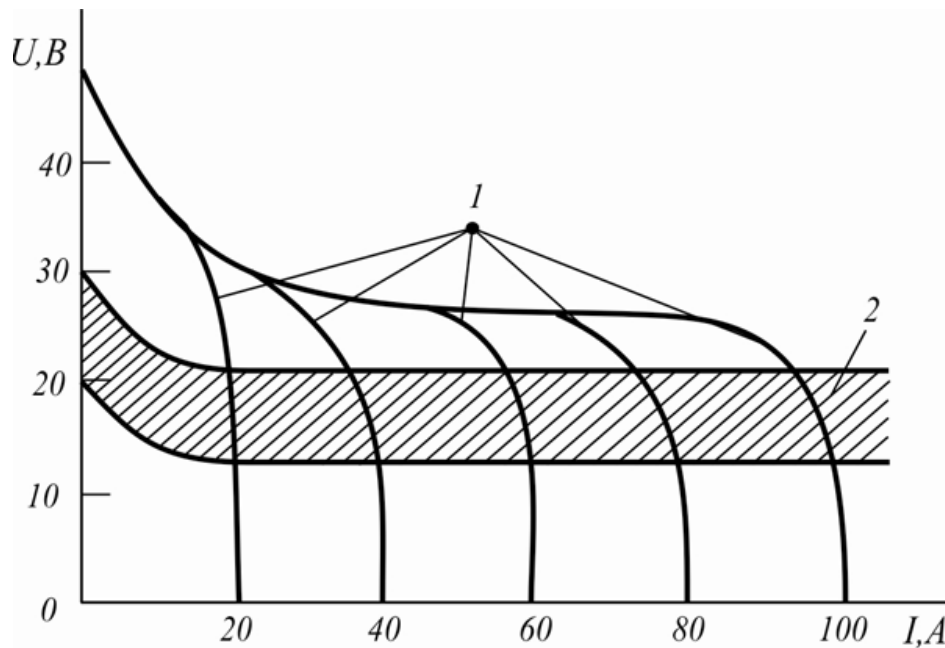


Рис .7.8. - Зовнішні характеристики джерела живлення типу АП.

Для отримання імпульсного струму дуги у коло керування транзистором вводиться генератор прямокутних імпульсів f на напівпровідникових тріодах. Регулювання тривалості та частоти імпульсів, а також, їх амплітуди здійснюється безпосередньо у генераторі. Перехід з неперервного режиму на імпульсний здійснюється за допомогою перемикача S . Для збудження зварювальної дуги застосовується осцилятор G паралельного вмикання, вихідні клеми якого підключаються до електродів дуги.

Джерела живлення типу АП забезпечують надійне збудження дуги , стійке горіння дуги зі стабільним струмом при коливанні її довжини від 0,5 до 3,0мм та при коливаннях напруги мережі від +5 до -10%, отримання тривалості імпульсів у межах 0,03...0,05с із паузами 0,1...0,5с, плавне зниження струму дуги наприкінці зварювання, необхідне для усунення кратеру у шві.

7.5 Джерела живлення для імпульсно-дугового зварювання

Спосіб імпульсно-дугового зварювання знайшов розповсюдження при зварюванні у інертному газі плавким та неплавким електродом тонких та легко плавких металів, в ряді інших технологічних застосувань , коли необхідне точне дозування енергії в зоні зварювання.

При імпульсно – дуговому зварюванні плавким електроходом здійснюється програмований переніс металу із частотою, кратною частоті

імпульсів. У порівнянні із зварюванням неплавким електродом імпульсно дугове зварювання дозволяє суттєво підвищити продуктивність праці та зменшити зварювальні деформації. Імпульсно-дугове зварювання неплавким електродом може застосовуватись при виготовленні конструкцій із сталей, алюмінієвих та титанових сплавів у всіх просторових положеннях.

Джерела живлення, що застосовуються для імпульсно-дугового зварювання складаються з двох блоків: Джерела постійного струму та генератора імпульсів. Блок постійного струму забезпечує стабільне горіння дуги та протікання процесу, а також встановлення заданого режиму зварювання. Імпульсний блок генерує імпульси певних параметрів, необхідних для зміни та керування процесом, та забезпечує накладання їх на розрядний проміжок. Існуючі генератори імпульсів можливо поділити на наступні типи:

- 1) без накопичення енергії, які формують імпульси із напівперіода або частини напівперіода змінного струму різної частоти, або з постійного струму
- 2) із накопиченням енергії у ємності або індуктивності.

Генератори імпульсів із накопиченням енергії в ємності та без накопичення енергії вмикають паралельно блоку постійного струму.

Генератори імпульсів без накопичення енергії будують на основі керованого випрямляча на потужних керованих вентилях-тиристорах (рис. 7.9) В залежності від схеми випрямлення генератор може бути одно- або двохнапівперіодним, при цьому отримують частоту імпульсів, що дорівнює одинарній або подвоєній частоті мережі живлення, тобто 50 та 100 імп/с відповідно. Тривалість імпульсів може змінюватись орієнтовно від $\frac{1}{4}$ тривалості напівперіода мережі. Параметри імпульсів можливо регулювати зміною коефіцієнта трансформації, кута вмикання керованого вентиля та індуктивності L в імпульсному колі.

Генератори з накопиченням енергії в ємності у порівнянні з попередніми генераторами забезпечують можливість отримання імпульсів значно меншої тривалості (від 0,5мс при частоті мережі 50 Гц). Ці генератори звичайно мають меншу потужність і потребують менш потужної мережі живлення при тих же параметрах імпульсів, оскільки накопичення енергії здійснюється за більш тривалий час, ніж її витрачання.

Генератори імпульсі (рис 7.9,б) виготовляють однофазними із частотою імпульсів 50 або 100 імп/с, та трифазними із частотою 150 імп/с. Величину імпульсу струму та його тривалість регулюють шляхом зміни зарядної напруги (зміною коефіцієнта трансформації трансформатора T), ємності батареї конденсаторів C , що вмикаються ступінчасто за допомогою перемикачів S . Дросель L призначений для зменшення швидкості нарощування сили струму імпульсу та деякого збільшення його тривалості.

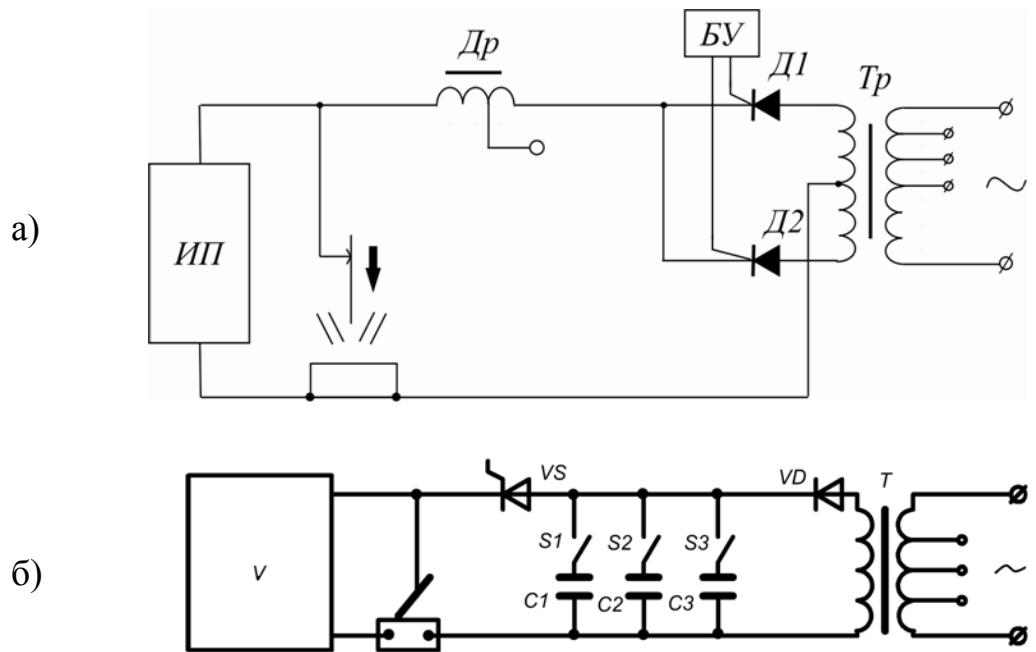


Рис. 7.9. - Електричні схеми джерел живлення з генераторами імпульсів без накопичення енергії (а), та з накопиченням енергії в ємності (б).

У зварювальних випрямлячах типу ВДГИ-302, призначених для механізованого імпульсно-дугового зварювання плавким електродом в середовищі захисного газу, силовий блок випрямлення та генератор імпульсів з'єднані послідовно і виконані у спільному блоці. При роботі випрямляча у імпульсному режимі на постійний зварювальний струм, що зветься базовим струмом, періодично накладаються додаткові потужні імпульси струму. На рисунку 7.10 наведена принципова електрична схема та часові діаграми, що пояснюють принцип роботи випрямляча. В коло випрямленого струму послідовно ввімкнений згладжуючий дросель L , паралельно якому під'єднаний тиристор VS . Дросель L обмежує струм та зменшує його пульсації при пульсуючій вихідній напрузі силового випрямляча V . Таким чином, поки тиристор VS не ввімкнений, у зварювальному колі проходить постійний базовий струм. У заданий момент часу протягом напівперіода вихідної напруги силового вентильного блоку вмикається тиристор VS , шунтуючи дросель L , і напруга випрямляча у формі відрізка синусоїди із початковою фазою в точці t_1 поступає на зварювальну дугу. Ця напруга створює імпульс струму I_{imp} у дузі, не обмежений опором індуктивності L . Частота імпульсів визначається частотою шунтування дроселя тиристором. Принципова електрична схема силової частини випрямляча ВДГИ-302 наведена на рис. 7.11. Первинна обмотка силового трансформатора T складається із чотирьох секцій W_{1-1} , W_{1-2} , W_{1-3} та W_{1-4} а вторинна - із секцій W_{2-1} , W_{2-2} . У один з на

півперіодів напруги мережі живлення спільно із секціями обмоток трансформатора W_{1-1} , W_{1-2} , W_{2-1} працюють тиристори $VS1$, $VS2$ та вентиль $VD1$, а другий напівтріод напруги спільно із секціями обмоток W_{1-3} , W_{1-4} , W_{2-2} працюють тиристори $VS3$, $VS4$ та вентиль $VD2$. При відкритті тиристора $VS1(VS4)$ на секції W_{1-1} , W_{1-2} , (W_{1-3} , W_{1-4}) первинної обмотки трансформатора подається напруга мережі. Після випрямлення вентилем $VD1(VD2)$ через дросель L та дугу протікає базовий струм. Дросель забезпечує згладжування пульсацій базового струму в усьому діапазоні регулювання. При малих зварювальних струмах індуктивність дроселя більша, ніж при великих.

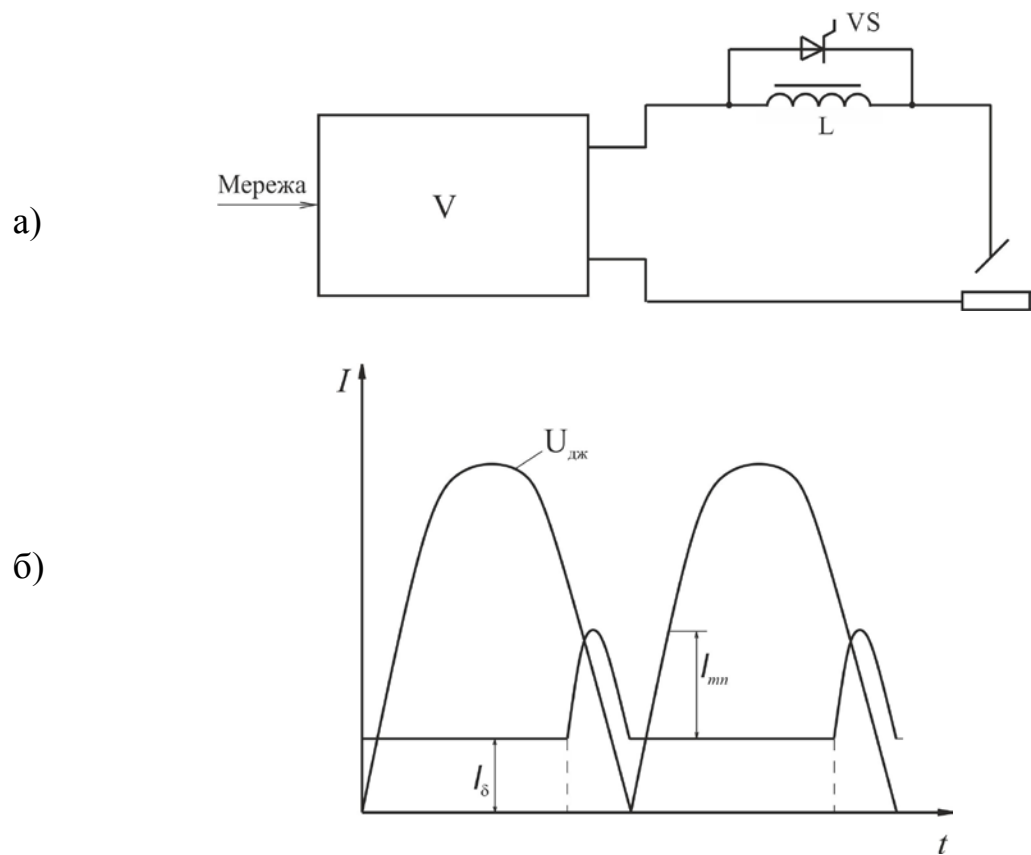


Рис. 7.10. - Принципова схема (а) та часові діаграми (б) роботи випрямляча ВДГИ - 302

Схемою керування передбачена можливість зміни нахилу зовнішніх характеристик при роботі випрямляча у режимі базового струму. При значних зварювальних струмах з метою саморегулювання дуги зовнішні характеристики жорсткі, а при малих струмах для попередження обривів дуги зовнішні характеристики круто падаючі, що необхідно для стабілізації базового струму.

При імпульсному режимі тиристори $VS5(VS6)$ вмикаються із запізненням відносно моменту вмикання тиристорів $VS1(VS4)$. Водночас із тиристорами

VS5(VS6) можуть вмикатися тиристри VS2(VS3) для підвищення коефіцієнта трансформації. Такому режиму відповідає діапазон імпульсів значної амплітуди. Коли тиристри VS2(VS3) не вмикаються, а працюють лише тиристри VS1(VS4) випрямляч працює з імпульсами меншої амплітуди. У кожному діапазоні амплітуда та тривалість імпульсів визначається фазою вмикання в роботу тиристорів VS5(VS6). Закривання тиристорів VS5(VS6) здійснюється природнім шляхом, коли знижується напруга живлення.

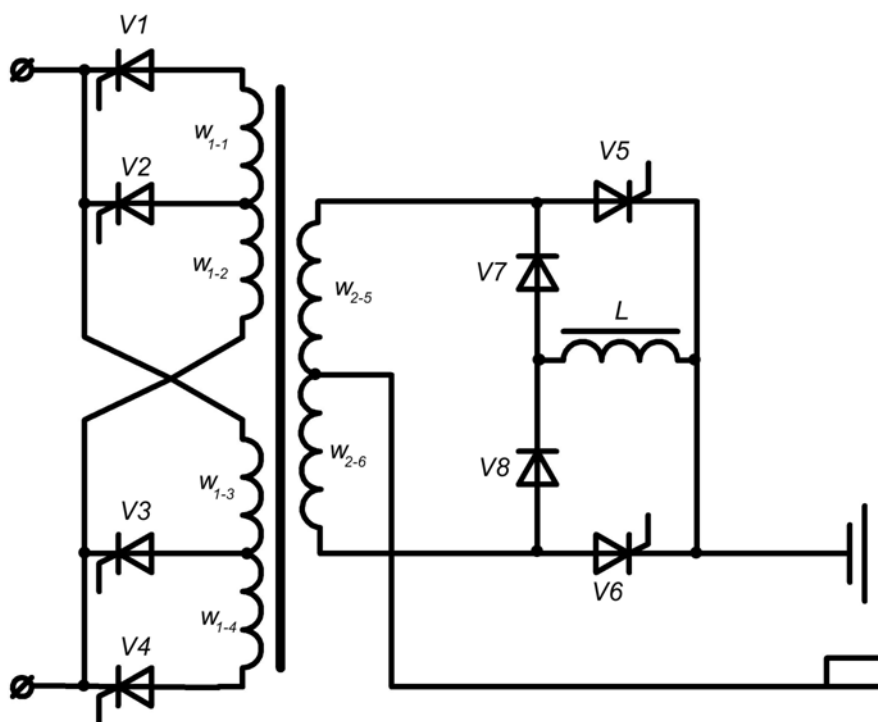


Рис. 7.1.1 - Принципова електрична схема силового кола випрямляча ВДГИ – 302.

Випрямляч забезпечує максимальний зварювальний струм 315 А із межами його регулювання 40...315 А. Амплітуда імпульсу струму досягає 1000 А при тривалості імпульсу 4 мс.

7.6 Джерела живлення для плазмового зварювання та різання

Спеціалізовані джерела живлення для плазмових процесів (зварювання, різання та наплення) повинні забезпечувати стійке горіння дуги та стабілізацію сили її струму. Горіння стисненої дуги супроводжується пульсаціями струму та напруги, що викликані різними термодинамічними

коливаннями, схемою випрямлення та іншими збуреннями. Тому вольт-амперна характеристика такої дуги представляє собою не лінію, а полосу, ширину якої визначають амплітуди наявних коливань. В зв'язку з цим дійсна статична зовнішня ВАХ джерела живлення є також не лінією, а полозою, ширина якої залежить від схеми випрямлення.

Встановлено, що кращими зовнішніми ВАХ джерел живлення плазмотронів для зварювання та різання є круто падаючі або вертикальні (рис. 7.12), оскільки при таких характеристиках зміна напруги дуги не призводить до помітних коливань сили струму.

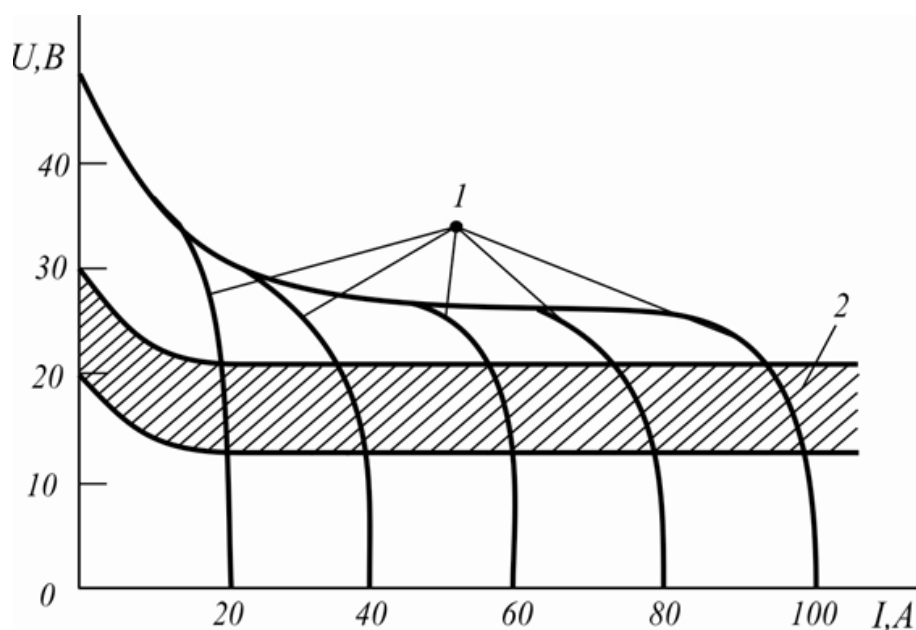


Рис. 7.12. - Зовнішні статичні ВАХ джерела струму(1) та зона робочих напруг стисненої дуги (2).

Це суттєво підвищує стабільність технологічного процесу. Тому для живлення плазмотронів створюють спеціалізовані джерела струму. Вони повинні володіти певними динамічними властивостями. По перше, електромагнітна постійна часу зварювального кола повинна бути достатньою, щоб попередити різкі стрибки струму, що виникають при коливаннях напруги дуги. У той же час електромагнітна постійна часу кола керування повинна бути мінімальною, щоб мати можливість автоматичного регулювання сили струму за будь-яким технологічним параметром. По друге, джерела живлення повинні забезпечувати, регульоване у часі наростання струму на початку процесу від мінімального до заданого та плавне зниження його наприкінці. Крім спеціальних вимог до джерел живлення плазмотронів

пред'являють і загальні: мінімальні розміри та маса, високий к.к.д. та коефіцієнт потужності.

Крутопадаючі або вертикальні зовнішні статичні ВАХ у випрямлячах формують застосуванням дроселів насичення, схем із керованими напівпровідниковими елементами (тиристорами), параметричних джерел струму, що працюють за принципом резонансу напруги у трифазних колах, та трансформаторів із падаючою зовнішньою статичною характеристикою.

Найбільш просту схему мають випрямлячі, у яких падаюча зовнішня характеристика формується за допомогою силових трансформаторів із відповідною характеристикою. За такою схемою побудоване джерело живлення апарата повітряно-плазмового різання АВПР – 2 (рис. 7.13).

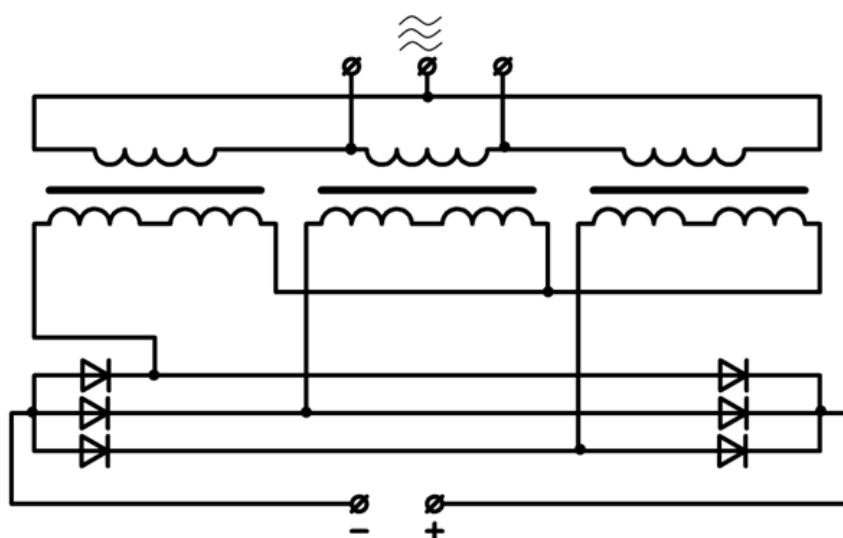


Рис. 7.13. - Принципова електрична схема джерела живлення АВПР – 2.

Джерело живлення складається з трьох однофазних силових трансформаторів із підвищеним магнітним розсіюванням, що забезпечують падаючу зовнішню характеристику джерела, та трифазного випрямляча, зібраного за мостовою схемою.

Вторинні обмотки трансформаторів виконуються двома дротами, тому при їх послідовному вмиканні можливо вдвічі збільшити вихідну напругу. Якщо первинні обмотки трансформаторів з'єднати за схемою «трикутника», а вторинні «зіркою», то випрямлена напруга досягає 300 В.

Достатньо просту схему мають випрямлячі на основі індуктивно-ємнісних перетворювачів ІЄП, на базі яких побудовані джерела живлення апаратів плазмового різання АПР – 404, Київ – 4.

Перетворювач такого типу (рис. 7.14) має три однофазних дроселя L_1 , L_2 , L_3 та три батареї конденсаторів C_1 , C_2 , C_3 , налагоджені у резонанс.

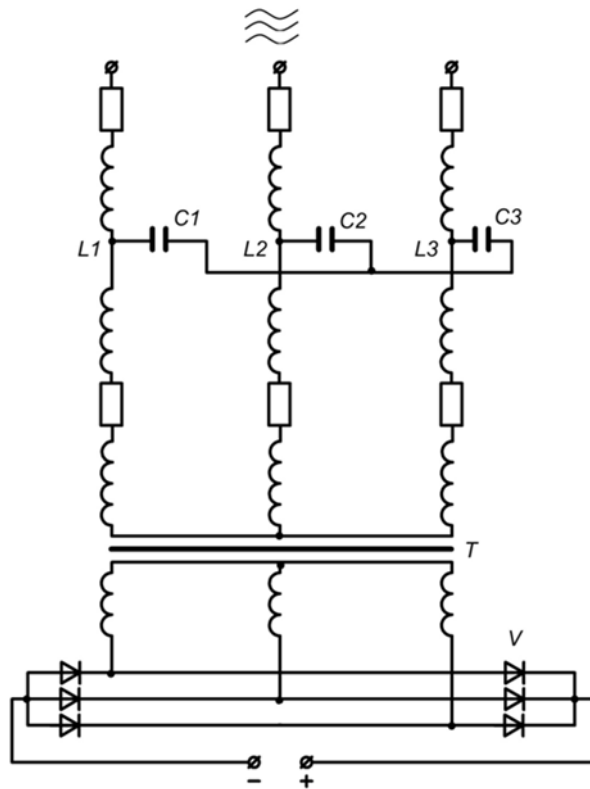


Рис. 7.14. - Принципова схема джерела з індуктивно-ємнісним перетворювачем.

У силовому колі джерела входить трифазний силовий трансформатор T із жорсткою характеристикою та трифазний силовий випрямляч V . В режимі резонансу зовнішня характеристика джерела наближається до вертикальної, що забезпечує стабілізацію струму при коливанні напруги на дузі.

Джерела на основі ІЄП мають високий к.к.д., але водночас мають обмежений діапазон регулювання режимів та значну масу.

Крутопадаючі зовнішні характеристики джерел живлення із дроселями насичення отримують зміною опору магнітопровода шляхом регулювання постійним струмом величини його підмагнічування.

Прикладом такого випрямляча із дроселем насичення є джерело живлення для плазмового різання ИПР – 120/600 (рис. 7.15).

Стержні дроселів L намагнічуються робочим струмом, що має один напрямок. Дроселі насичення L мають дві обмотки керування. Обмотка керування дроселя $L2$ живиться від незалежного джерела і підмагнічує дросель насичення. Обмотка $L1$, що розмагнічує дросель, отримує живлення від двох джерел: випрямляча V , напруга якого пропорційна силі струму дуги, та випрямляча $V1 - V6$, напруга якого пропорційна напрузі дуги. Обидва джерела увімкнені узгоджено. Ампер-витки обмотки $L2$ більше ніж $L1$, регулятором струму є змінний резистор $R1$.

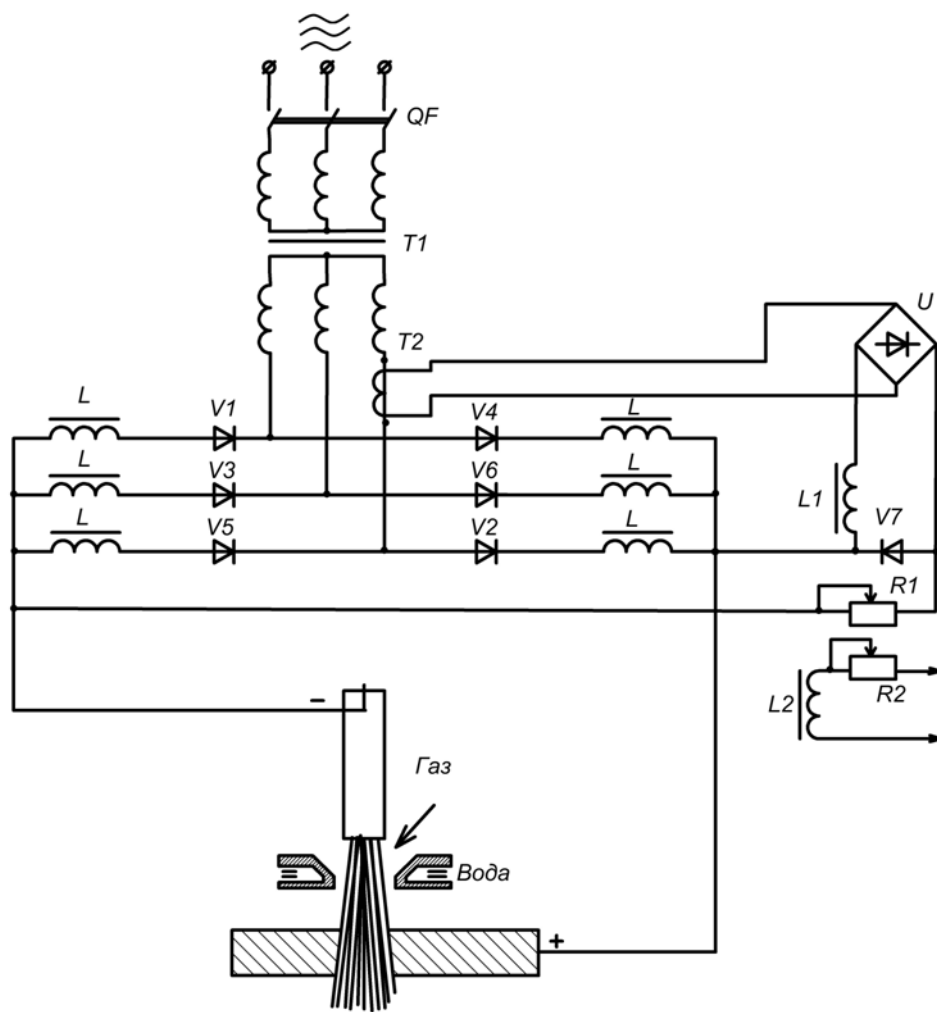


Рис. 7.15. - Принципова електрична схема джерела живлення ИПР – 120/600.

У початковий момент із зростанням струму дуги та падінням вихідної напруги джерела зменшується сила струму у обмотці $L1$ та збільшується підмагнічуюча дія обмотки $L2$. Джерело живлення в цей момент має жорстку зовнішню характеристику, тобто величина вихідної напруги слабо залежить від сили струму. При подальшому зростанні струму дуги напруга, що живить обмотку $L1$, зростає пропорційно силі струму і дросель насичення розмагнічується, чим викликається круте спадання зовнішньої характеристики випрямляча. Він починає підтримувати постійною силу струму.

Плазмове зварювання є універсальним процесом, оскільки на одному і тому ж обладнанні можливо зварювати значну кількість матеріалів у широкому діапазоні товщин. Для цього джерело живлення повинно працювати на прямій та зворотній полярності, мати достатньо значний діапазон регулювання струму (1:5...1:10), мати круто падаючу зовнішню характеристику, забезпечувати напругу холостого ходу для надійного

збудження стисненої дуги, що перевищує максимальну робочу напругу у 1,5...2 рази.

Виходячи з фізичних особливостей стисненої дуги можливо констатувати, що вимоги до характеристик джерела живлення в режимі збудження дуги та в робочому режимі досить протилежні. Найбільш придатним способом вирішення цих протиріч є розділення функцій запалювання дуги та забезпечення робочих режимів між двома джерелами. Розроблено декілька варіантів схем, побудованих за цим принципом.

На рис. 7.16а наведена схема послідовного вмикання основного та допоміжного джерел живлення. Основне джерело 2 – це потужний керований випрямляч, що забезпечує тільки робочу напругу на дузі. Максимальна напруга, необхідна для збудження дуги, створюється допоміжним малопотужним джерелом 1. Після збудження дуги джерело 1 шунтується контактором K . Схема забезпечує надійне збудження дуги та оптимальну потужність основного джерела. Недоліком її є необхідність застосування контактора K , розрахованого на повний робочий струм, а до динамічних характеристик основного джерела пред'являють підвищені вимоги.

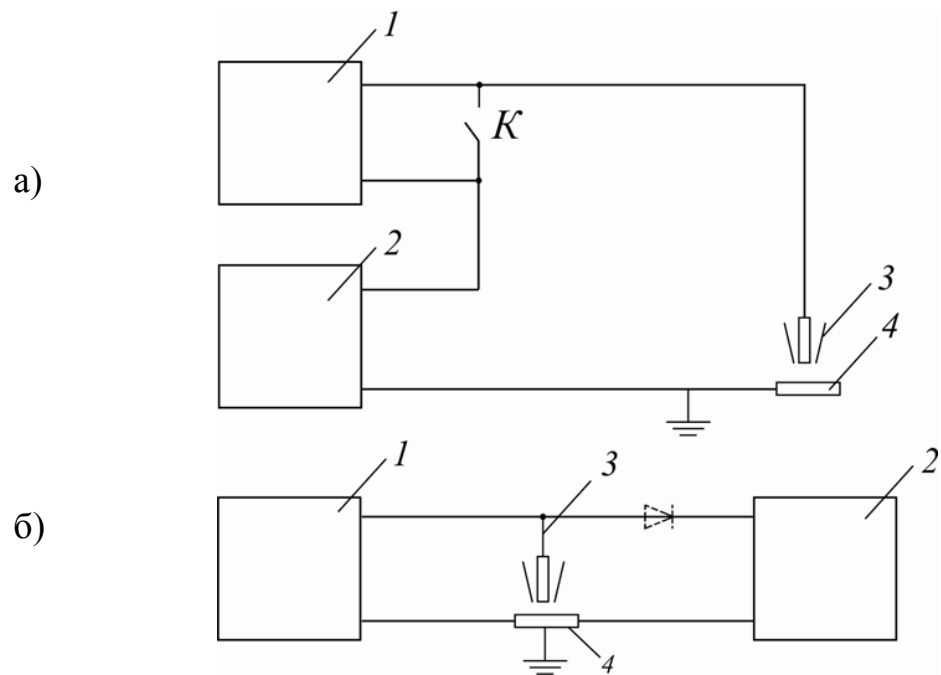


Рис. 7.16. - Послідовна (а) та паралельна (б) схеми вмикання джерел живлення.

Паралельне з'єднання основного та допоміжного джерел живлення (рис. 7.16, б) виключає недоліки схеми, наведеної на рис. 7.16, а. Робочий режим забезпечується потужним керованим випрямлячем 2. Збудження дуги здійснюється від малопотужного некерованого випрямляча 1 із підвищеною

напругою холостого ходу. Для отримання круто падаючих характеристик застосовують баластні реостати, дроселі або трансформатори із збільшеним магнітним розсіюванням. Така схема володіє добрими експлуатаційними якостями і її доцільно застосовувати для створення джерела живлення для плазмового зварювання. Для цього достатньо ввімкнути паралельно стандартному джерелу живлення для дугового зварювання малопотужний випрямляч із підвищеною вихідною напругою.

За такою схемою побудовані джерела живлення серії ВСВУ, призначені для автоматичного зварювання виробів з корозійностійких та жароміцних сталей і титанових сплавів відкритою та стисненою дугою в неперервному та імпульсному режимах.

Джерела серії ВСВУ забезпечують автоматичне, плавне, регульоване у часі наростання струму на початку зварювання від мінімального до заданого значення, завдяки чому здійснюється рівномірне нагрівання кінця вольфрамового електроду та підвищується його стійкість; модулювання форми імпульсу струму від прямокутної до трикутної, що дає можливість отримувати різну швидкість полярності зварювального струму; плавне зниження зварювального струму від робочого до мінімального значення для заварювання кратера.

Силовий трифазний трансформатор випрямляча (рис 7.17,а) має одну первинну обмотку $T1$ та дві вторинні обмотки $T2$ та $T2в$. Фази первинної та вторинних обмоток з'єднані у зірку. Напряга від вторинної обмотки $T2$ підводиться до основного силового випрямляча V , зібраного за трифазною мостовою схемою на керованих вентилях-тиристорах, що має повільно-падаючу зовнішню характеристику. Від вторинної обмотки $T2в$ напруга подається на трифазний некерований випрямляч $Vв$, також зібраний за мостовою схемою. Цей випрямляч разом із обмоткою трансформатора $T2в$ складають силову частину допоміжного джерела живлення ВИП, підімкненого до дуги паралельно із основним. ВИП має круто падаючу зовнішню характеристику. Така форма характеристики забезпечується дією трьох однофазних дроселів L в із незамкненими феромагнітними осердями. Необхідний струм збудження дуги встановлюється відповідним повітряним зазором у осерді дроселя. Цей струм є мінімальним струмом джерела.

ВИП забезпечує також необхідну напругу холостого ходу – до 200 В для зварювання у середовищі гелію та 100 В у середовищі аргону. В процесі зварювання горять одночасно обидві дуги. Суміщення двох суттєво різних за формою зовнішніх характеристик, коли малопотужне допоміжне джерело має достатню для надійного збудження дуги напругу, а основне джерело-вертикальну зовнішню характеристику в діапазоні робочих напруг (рис.

7.17,б), дозволяє суттєво знизити напругу холостого ходу основного джерела і, відповідно, споживану потужність, масу та габаритні розміри.

Плавне регулювання струму дуги та формування необхідного закону його зміни в процесі зварювання забезпечується електронною схемою, що входить до складу основного силового випрямляча V.

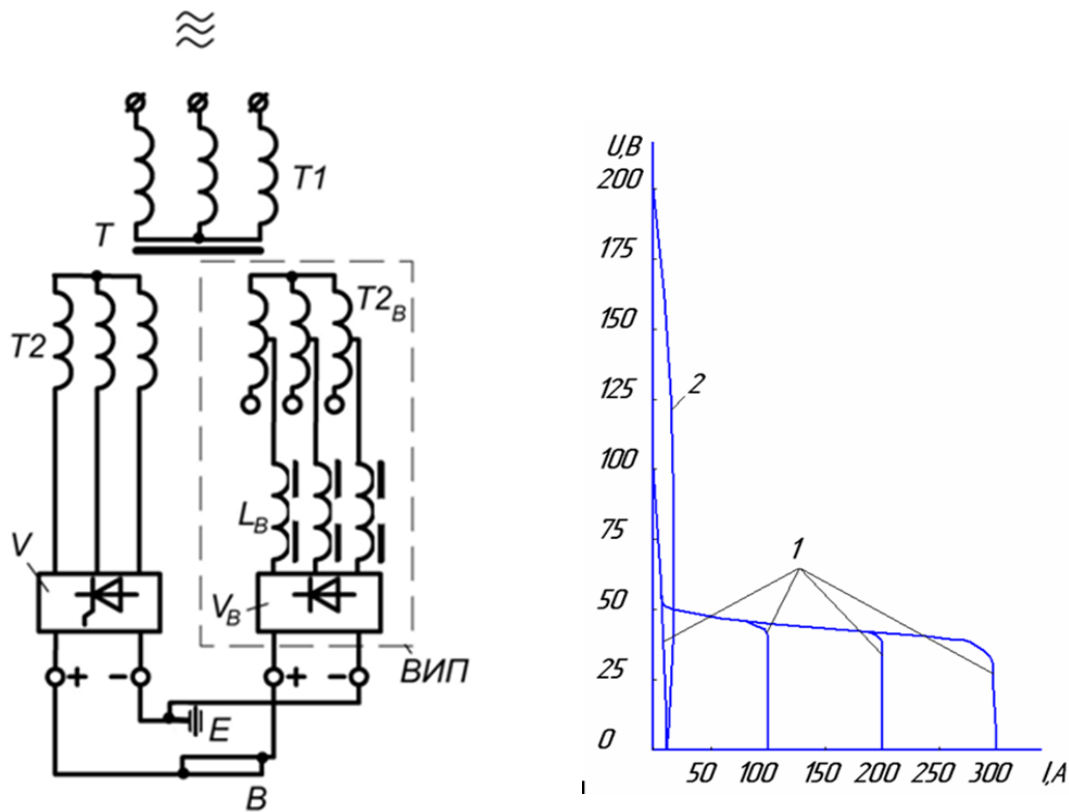


Рис. 7.17. - Принципова електрична схема силового кола та зовнішні характеристики джерела живлення серії ВСВУ (1-зовнішня характеристика основного блоку живлення V1, 2 – зовнішня характеристика допоміжного джерела).

Для збудження дуги неконтактним способом у джерелах серії ВСВУ застосовується осцилятор послідовного вмикання.

Питання для самоперевірки

1. Призначення та типи осциляторів.
2. Область застосування та різновиди стабілізаторів горіння дуги.
3. Чому для зварювання алюмінію застосовують змінний струм.
4. Яку роль відіграє транзистор в джерелах для зварювання тонких металів.
5. Способи створення імпульсів струму в імпульсно-дугових джерелах.
6. Особливості джерел живлення плазмової дуги.

8 ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Джерела живлення можуть встановлюватись в окремому приміщенні або у зварювальному цеху, безпосередньо біля робочих місць. За умовами безпеки та зручності обслуговування при розміщенні обладнання необхідно залишати між джерелами проходи та розташовувати їх на достатній відстані від стін. Зварювальні трансформатори, випрямлячі, перетворювачі встановлюють без фундаментів на полу цеху.

У цехових умовах кожне джерело живлення приєднують до розподільчого щиту, всередині якого змонтовано запобіжники, рубильники та вимірювальні прилади. Вмикають та вимикають джерело звичайно магнітними пускачами (рідше рубильниками), встановленими на джерелі живлення або поблизу нього.

Для підводу струму від розподільчого щита до джерела живлення застосовують кабелі або дроти, пропущені через сталеві труби. Вибір перерізу дротів залежить від потужності джерела та сили зварювального струму. Зварювальний дріт, підключений безпосередньо до електродотримача або пальника, повинен мати максимальну гнучкість та найменшу вагу.

Для запобігання уражень електричним струмом необхідна належна ізоляція дротів, що підводять струм до зварювального обладнання від силової мережі, що має напругу 220 або 380 В. Клеми для підключення дротів від силової мережі повинні бути ретельно ізольовані від корпусу та закриті кришкою або козирком. Зварювальні кабелі не повинні мати пошкоджень ізоляції. Затискачі для підключення дротів повинні бути щільно затягнені.

Для запобігання ураження робітників цією напругою при випадкових про боях ізоляції первинної обмотки трансформатора, або обмоток електродвигуна перетворювача корпус джерела заземлюють. Заземлюють також клему джерела, від якої проведений зварювальний кабель до виробу. Переріз заземлюючого дроту повинен бути не меншим, ніж 6 мм^2 для мідного та не меншим 12 мм^2 для сталевого дроту.

При роботі всередині металевих посудів, котлів та при застосуванні трансформаторів з напругою холостого ходу більш, ніж 70 В необхідно застосовувати пристрої для відключення зварювального кола та зниження напруги холостого ходу (наприклад УСНТ-05, УСНТ-06). Первинна обмотка трансформатора на холостому ході живиться через обмежувальні резистори пристрою УСНТ, тому напруга мережі знижується до 45...80 В, а вторинна напруга холостого ходу до 12 В. При збудженні дуги коротким замиканням резистори шунтуються тиристорами і на трансформатор подається повна

напруга мережі. Через 0,5...1 с після припинення зварювання знов вмикаються обмежувальні резистори і напруга холостого ходу знижується до 12 В.

Все електрообладнання стаціонарних та пересувних джерел живлення повинно бути у захисному виконанні. Рухомі частини зварювальних перетворювачів та агрегатів повинні бути огороженими.

Для забезпечення тривалої безвідмовної, безаварійної та безпечної роботи джерела живлення для зварювання необхідно здійснювати їх експлуатацію на режимах та у кліматичних умовах, що відповідають паспортним даним.

Крім того, для підтримання джерела живлення у робочому стані необхідно здійснювати їх своєчасні огляди, профілактику, планові ремонти, усунення виникаючих несправностей.

Джерела живлення повинні проходити повсякденні огляди перед вмиканням у роботу, профілактичні періодичні огляди, поточні та капітальні ремонти згідно встановленого графіку. Склад кожного виду огляду та ремонту оговорюється в інструкції з технічного обслуговування джерела живлення.

При повсякденному обслуговуванні необхідно перед початком роботи здійснювати зовнішній огляд джерела для виявлення пошкоджень зовнішніх частин, перевірку якості заземлення, усунення помічених порушень.

При періодичному обслуговуванні необхідно один раз на місяць очистити джерело від пилу та бруду, обдуваючи його стислим повітрям та протираючи його м'яким дрантям. Перевірити стан електричних контактів схеми, у тому числі, стан контактів реле. Один раз на півроку контактні поверхні пар тертя (ходовий гвинт, поверхні валів перемикачів та ін.) змащують тонким шаром тугоплавкого або консистентного мастила. Замінюється мастило у камерах підшипників зварювальних генераторів та вентиляторів зварювальних випрямлячів. Здійснюється перевірка опору ізоляції.

Поточні ремонти для загальнопромислових джерел живлення здійснюють, як правило, один раз на півроку, капітальні ремонти – через шість років. Для спеціалізованих джерел живлення, як більш складних об'єктів, до яких пред'являють підвищені вимоги, ці терміни скорочують вдвічі.

Підключення до мережі, усунення несправностей, профілактичні огляди зварювальних джерел живлення повинні проводитись кваліфікованими електриками. Здійснювати ці роботи зварювальникам забороняється.

Список літератури

1. **Браткова, О. Н.** Источники питания сварочной дуги / О. Н. Браткова. – М. : Высшая школа, 1982. - 182 с.
2. **Александров, А. Г.** Источники питания для дуговой сварки / А. Г. Александров, В. С. Милютин. – М. : Машиностроение, 1982. - 79 с.
3. **Закс, М. И.** Сварочные выпрямители / М. И. Закс. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. - 94 с.
4. **Закс, М. И.** Трансформаторы для электродуговой сварки / М. И. Закс, Б. А. Каганский, А. А. Печенин. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. - 136 с.
5. **Малаховский, В. А.** Плазменная сварка / В. А. Малаховский. – М. : Высшая школа, 1987. - 80 с.
6. **Александров, А. Г.** Эксплуатация сварочного оборудования / А. Г. Александров, И. В. Пиньковский, И. И. Заруба. – Киев : Будівельник, 1978. - 72 с.
7. **Верховенко, Л. В.** Справочник сварщика / Л. В. Верховенко, А. К. Тукин. – Минск : Высшейшая школа, 1990. - 480 с.
8. **Резницкий, А. М.** Электротехника для сварщиков / А. М. Резницкий, В. С. Коцюбинский. – М. : Машиностроение, 1987. - 144 с.
9. **Потапьевский, А. Г.** Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А. Г. Потапьевский. – М. : Машиностроение, 1974. - 240 с.
10. **Смирнов, В. В.** Оборудование для дуговой сварки / В. В. Смирнов. – Л. : Энергоатомиздат, 1986. - 655 с.
11. **Источник питания с улучшенными характеристиками для дуговой сварки на переменном токе / И. И. Заруба, В. В. Дыменко, В. В. Андреев, А. Ф. Шатан // Автоматическая сварка. – 2006. – № 7. – С. 49-54.**
12. **Инверторный источник тока для дуговой сварки / В. В. Смирнов, М. И. Закс, П. А. Кошелев, С. А. Ермолин // Сварочное производство. – 1983. – № 11. – С. 35-36.**
13. **Пентегов, И. В.** Источники питания для дуговой сварки с использованием инверторов (Обзор) / И. В. Пентегов, С. М. Мещеряк, В. А. Кучеренко // Автоматическая сварка. – 1982. – № 7. – С. 29-35.
14. **Совершенствование сварочных трансформаторов / И. И. Заруба, В. В. Андреев, В. В. Дыменко, В. А. Титов // Сварщик. – 2001. – № 2. – С. 6-9.**
15. **Солодкий, С. А.** Источники питания для дуговой сварки / С. А. Солодкий, О. Г. Брунов, Д. П. Ильященко. – Томск : Изд-во ТомПУ, 2012. - 165 с.
16. **Корниенко, А. Н.** История сварки / А. Н. Корниенко. – К. : Феникс, 2004. - 209 с.

Для нотаток

Г. П. Болотов, М. Г. Болотов

Джерела живлення для дугового та плазмового зварювання і різання

Навчальний посібник

Технічний редактор
Комп'ютерна верстка
Друк

Болотов Г. П., Болотов М. Г., Гузь К. П.
Болотов Г. П., Болотов М. Г.
Безкровна А. М.

Прийнято до друку 25.09.2017 р. Здано до друку 26.12.2017
Формат 60x84/16 Папір офіс. Гарнітура Times New Roman. Друк - цифровий.
Ум.-друк. арк. 11,25 Обл.-вид. арк. 6,68.
Наклад 100 прим. Зам. № 17115.017.016.

Чернігівський національний технологічний університет
14027 м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.