

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЗАТВЕРДЖУЮ :

Перший проректор

В.М.Гуляєв

„ ____ ” ____ 2014 р.

**Конспект лекцій
з дисципліни
«ЗВАРЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ»
Для студентів напрямку 6.050504 – «Зварювання»**



Затверджено:
редакційно-методичною
секцією науково методичної ради ДДТУ
„ 19 „ червня 2014р., протокол № 11

**Дніпродзержинськ
2014**

Розповсюдження і тиражування без офіційного дозволу
Дніпродзержинського державного технічного університету **заборонено.**

Конспект лекцій з дисципліни «Зварювальні джерела живлення» для
студентів напрямку 6.050504 – «Зварювання» /Укладачі Івченко П.С., Камель
Г.І.– Дніпродзержинськ: ДДТУ 2014. – 159 с.

Укладачі : Івченко П.С., канд. техн. наук, доцент
Камель Г.І., докт.техн.наук, професор

Відповідальний за випуск:
Зав. кафедри технології та устаткування зварювання
професор, д-р техн. наук Камель Г.І.

Затверджено на засіданні кафедри ТУЗ від 14 лютого 2014р.,
протокол №

Рецензент : канд.техн.наук, доцент Самохвал В.М.

Коротка анотація видання. До конспекту увійшли всі розділи дисципліни,
передбачені чинною робочою програмою та ОПП підготовки бакалаврів за
напрямом 6.050504 – «Зварювання». . Крім теоретичних відомостей,
передбачені питання до самоконтролю засвоєння навчального матеріалу та
перелік рекомендованої літератури.

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ 1. ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА І ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	4
ЛЕКЦІЯ 2. ВЛАСТИВОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ І ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ	9
ЛЕКЦІЯ 3. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ. СУТЬ І ОЦІНКА ЗВАРЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ.....	14
ЛЕКЦІЯ 4. РЕЖИМИ РОБОТИ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ	22
ЛЕКЦІЯ 5 . ЗВАРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ ПРИЗНАЧЕННЯ, ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ.....	27
ЛЕКЦІЯ 6. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ВЕНТИЛІ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ І ВИПРЯМЛЯЧАХ.....	44
ЛЕКЦІЯ 7. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ.....	67
ЛЕКЦІЯ 8. ОДНОПОСТОВІ ТИРИСТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ.....	97
ЛЕКЦІЯ 9. ІНВЕРТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ.....	124

ЛЕКЦІЯ 1. ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА І ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Устаткування для дугового зварювання плавленням складається із таких основних видів обладнання: механічного зварювального устаткування (обертачі, маніпулятори, кантувачі, роликові стенди тощо); технологічного обладнання; джерел живлення; систем керування.

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

- трансформатор - джерело змінного струму, яке перетворює напругу мережі у знижену змінну напругу, що необхідна для зварювання;
- генератор - джерело постійного струму, що перетворює механічну енергію обертання якоря в енергію постійного струму, що використовують для зварювання;
- перетворювач - джерело постійного струму, що складається з генератора в комбінації з електродвигуном змінного струму і яке перетворює енергію напруги мережі живлення в енергію постійного струму, необхідну для зварювання;
- агрегат - джерело постійного струму, що складається з генератора і двигуна внутрішнього згоряння, який перетворює енергію спалювання хімічного палива в енергію постійного струму, що застосовують для зварювання;
- випрямляч - джерело постійного струму, що перетворює енергію напруги мережі у випрямлений постійний струм для зварювання.

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

До групи О входять джерела для ручного дугового зварювання, а також механізованого зварювання під флюсом та вуглекислому газі, що мають досить просту конструкцію і електричну схему. До спеціалізованих відносять джерела для зварювання кольорових і легких металів та їхніх сплавів, тонколистових конструкцій відповідальних виробів імпульсними і стисненими дугами, що задовольняють не тільки вимогам технології, але і високого рівня автоматизації.

зварювального процесу. Це досягається за рахунок за-стосування зворотних зв'язків за струмом і напругою, застосуванням складних електричних схем керування, додаткових спеціальних пристроїв і т. д. Більшість джерел розраховані на живлення одного зварювального поста. Усі вони називаються однопостовими, на відміну від багатопостових, які призначені для одночасного живлення декількох постів.

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

У 1881 році Н. Н. Бенардос уперше застосував дуговий розряд для зварювання металів, використовуючи як джерело потужну батарею свинцево-кислотних акумуляторів. Значні вдосконалення у зварювальний процес привніс інженер Н. Г. Слав'янов, який у 1888 році розробив спосіб дугового зварювання плавким електродом. Джерелом була динамомашина, а для поліпшення стабільності горіння зварювальної дуги застосовувався баластовий реостат, увімкнений послідовно в коло навантаження. Вперше зварювальний генератор, який згодом отримав широке застосування у промисловості, був удосконалений у 1905 р. У 1924 році під керівництвом В. П. Нікітіна розробили зварювальний генератор системи із розщепленими полюсами та трансформатор із вбудованою дросельною котушкою на загальному магнітному осерді. Широкому використанню зварювання у промисловості сприяло збільшення виробництва простих джерел живлення, в основному трансформаторів, частка яких у загальному парку зварювального устаткування досягла 80 %. Подальший розвиток механізованих засобів зварювання сприяв створенню джерел для зварювання під флюсом у вигляді потужних трансформаторів на струми 1000 і 2000 А з дистанційним керуванням. Для механізованого зварювання в середовищі CO_2 були розроблені джерела з жорсткими характеристиками, які значно збільшували продуктивність

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

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

- розробкою нових технологічних процесів зварювання або вдосконаленням зварювальних технологій, пов'язаних з новими вимогами до зварювального устаткування, в тому числі і до джерел живлення;
- впровадженням у виробництво програмованих технологічних процесів зварювання з широким використанням засобів механізації, автоматизації і робототехнічних комплексів;
- можливості забезпечення точного відтворення оптимальних режимів зварювання;
- розвитком знань у сфері фізичної суті зварювальних процесів і джерел живлення;
- проблемами ресурсо-енергозабезпечення.

При розробці і вдосконаленні нових джерел, що виготовляються серійно, основна увага має приділятися їхнім зварювальним властивостям, оцінка яких здійснюється за спеціальними методиками. Вимоги до зварювальних

властивостей безперервно підвищуються, що є наслідком зростання вимог до точності вибору режимів зварювання, а також автоматизації і роботизації зварювального виробництва. Незважаючи на дедалі більшу технічну складність джерел живлення, тенденція їхнього розвитку не є визначальною, оскільки складне схемне рішення не завжди сприяє покращенню їх зварювальних властивостей. Тому прості дешеві джерела також отримують широке застосування у промисловості. Насамперед, необхідно відзначити застосування джерел змінного струму, які мають високі ККД, вирізняються простотою та надійністю в експлуатації, низькою вартістю виготовлення. Для підвищення стійкості горіння дуги змінного струму застосовують відповідні пристрої у вигляді імпульсних стабілізаторів горіння дуги (ІСГД). Завдяки їх застосуванню також вдається суттєво знизити напругу неробочого ходу силового трансформатора, що дозволяє отримати економію активних матеріалів і електроенергії за рахунок підвищення cos ϕ і ККД. Крім того, за умови необхідності можна застосувати «гарячий» (підвищення струму на початку зварювання) або «холодний» старт (зниження струму на початку процесу при зварюванні неплавким електродом тонкого металу), модуляцію зварювального струму, усунення постійної складової струму при зварюванні неплавким електродом. Подальший розвиток отримали джерела живлення змінного струму із прямокутною формою кривої струму, які забезпечують високу швидкість переходу зварювального струму через нуль, що, у свою чергу, значно знижує деіонізацію плазми стовпа дуги, підвищує стабільність її повторного запалювання.

Широке застосування отримують джерела з індуктивними накопичувачами енергії, які дозволяють здійснювати зварювання змінним струмом, форма кривої якого близька до прямокутної. При цьому амплітуди і тривалість імпульсів як прямої, так і зворотної полярності можуть регулюватись незалежно. Завдяки вказаним властивостям такі джерела застосовуються при аргоно-дуговому зварюванні алюмінію та його сплавів, високолегованих сталей, титану, плазмового зварювання змінним струмом. Наявність великих накопичувачів енергії робить дугу безвідривною та еластичною, при цьому відпадає необхідність у

використанні спеціальних стабілізаторів горіння дуги. Застосування джерел із поздовжньою ємнісною компенсацією також підвищує еластичність зварювальної дуги, знижує напругу неробочого ходу і масо-габаритні показники трансформатора. Значного удосконалення зазнають джерела живлення для імпульсно-дугового зварювання, в яких поряд із плавним регулюванням параметрів імпульсу передбачене однокнопокве (синергетичне) керування, а також цифрова індикація частоти та інших параметрів режиму зварювання.

Останнім часом отримав застосування новий клас джерел живлення - із збільшенням напруги і частоти, які забезпечують легке запалювання, еластичність і стійкість горіння дуги, мають малі габарити та масу. Вимоги до зварювальних джерел живлення, що висувуються на базі сучасних технологій, автоматизованого устаткування, робототехнічних комплексів найбільш повно можуть бути задоволені застосуванням інверторних випрямлячів як на тиристорній, так і на транзисторній елементних базах. До переваг джерел такого типу можна віднести можливість формування зовнішніх характеристик різної форми та динамічних властивостей, необхідних для здійснення зварювальних процесів (наприклад, для зварювання методами *ТИГ*, *МИГ* і *МАГ*), малі габарити і масу, високі η і ККД. Крім інверторних джерел, отримують поширення джерела живлення із транзисторними ключами у колі постійного струму. Вони так само, як інверторні джерела, вирізняються малою інерційністю і з використанням комп'ютерних систем дозволяють здійснювати керування такими швидкодійними процесами, як перенесення металу при зварюванні у вуглекислому газі, і виключити розбризкування електродного металу. Вартість джерел інверторного типу значно вища від вартості джерел звичайного типу, тому прості і надійні традиційні джерела з покращеними зварювальними властивостями можуть успішно застосовуватись поряд з інверторними в окремих видах зварювання.

ЛЕКЦІЯ 2. ВЛАСТИВОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ І ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

2.1. Види зварювальних дуг

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

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

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

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

2.2. Електрична характеристика зварювальної дуги

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

Стовп дуги є часткою дугового розряду.

Заряджені частинки надходять у стовп з катодної й анодної зон, а також виникають у ньому за рахунок термічної іонізації, тобто іонізації внаслідок зіткнення частинок. Стовп дуги квазінейтральний, оскільки сумарний заряд позитивних і негативних частинок у ньому однаковий. Температура газу в стовпі дуги сягає 6000-8000 °С. Довжина його ℓ_{cm} становить приблизно 0,1...4 см, спад напруги 40 В, відповідно градієнт потенціалу у стовпі $\mathcal{E}'_{ст} = u_{cm} I C_{cm} = 10...50$ В/см

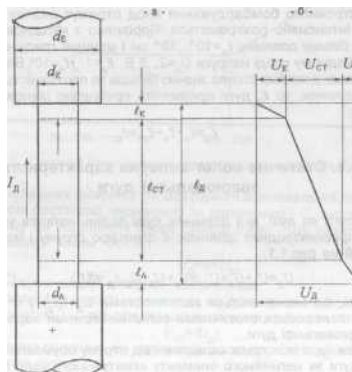


Рис. 1.1. Каналова модель зварювальної дуги (а) і графік розподілу потенціалів по довжині дуги (б)

Катодна зона. Катод емітує у стовп дуги електрони, які підтримують іонізацію газу в розрядному проміжку. Емісія електронів на катоді може відбуватися внаслідок нагріву його поверхні (термоелектронна емісія) і створення біля його поверхні електричного поля високої напруги (електростатична емісія). Окрім

того, електрони та іони утворюються в самій катодній зоні завдяки термічній іонізації нейтрального газу. Довжина катодної зони l_k дорівнює приблизно вільному пробігу іона і становить $1\text{СИ}\dots 10^5$ см. Оскільки катодний спад напруги u_k реалізується на дуже малій довжині і становить $10\dots 25$ В, то біля поверхні катода утворюється великий градієнт потенціалу $\mathcal{E}_k = (7k//_k) \gg 2\dots 10^8$ В/см. Наслідком виникнення такого градієнту є висока концентрація позитивних іонів біля поверхні катода, які надходять зі стовпа дуги, в результаті чого утворюється об'ємний позитивний заряд.

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

2.3. Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги

Рис. 1.4. Зовнішні характеристики джерел живлення

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

$$u_d = u_k + u_d + u_{cm} = u_k + u_A + E_{cm} \mathcal{E}_a = f(I_d). \quad (1.1)$$

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

Залежності всіх трьох складових від струму обумовлюють властивості дуги як нелінійного елемента електричного кола і визначають вигляд її статичної характеристики. Характеристика зварювальної дуги встановлюється експериментально при плавній зміні струму навантаження зі збереженням довжини дуги, діаметра і матеріалу електрода, складу газу міжелектродного проміжку тощо.

Дуга має криволінійну характеристику, і її слід розглядати як нелінійний елемент електричного кола. Форма статичної характеристики показана на рис. 1.2 і змінюється по мірі збільшення струму, переходячи зі спадної (діл. I) в жорстку

(діл. II), а потім в наростальну (діл. III). Нахил характеристики прийнято визначати величиною диференціального опору дуги $p_a = dU_R / dI_R$, тому на I ділянці $p < 0$, на II- $p_d = 0$ і на III - $p_d > 0$.

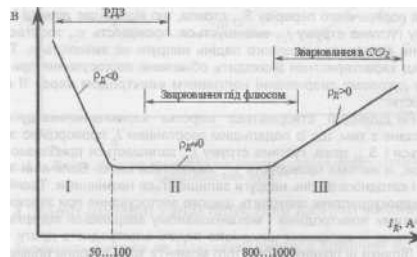


Рис. 1.2. Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги

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

$$u_a = a + u_{ct}, \quad (1.2) \quad \text{Рис. 1.4. Зовнішні характеристики джерел живлення}$$

де a - сума напруг катодної і анодної зон.

Із виразу (1.2) видно, що напруга на дузі визначається в основному залежністю U_d від струму навантаження.

Тому видно, що в дугах невеликої потужності зі збільшенням навантаження I_d напруга на дузі U_R знижується за рахунок збільшення площі перерізу катодної плями і відповідного зростання поперечного перерізу S_{ct} стовпа, що відповідає ділянці I. При цьому густина струму j_{ct} зменшується, провідність y_{ct} зростає, величини катодного і анодного падінь напруги не змінюються. Такий вигляд характеристики знаходить обмежене застосування при ручному дуговому зварюванні неплавким електродом через її малу стійкість.

На ділянці II створюється жорстка характеристика дуги. Це пов'язане з тим, що із подальшим зростанням I_d пропорційно збільшується і S_{ct} , отже, густина струму j_{ct} залишається приблизно постійною, а питома провідність y_{ct} змінюється мало. Величини анодного і катодного падінь напруги залишаються незмінними. Такий

вигляд характеристики знаходить широке застосування при зварюванні покритими електродами і механізованому зварюванні під флюсом апаратами із залежною швидкістю подачі електродного дроту.

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

Наростає характеристика дуги спостерігається при механізованому зварюванні в захисних газах.

Оскільки зміна довжини дуги l_R впливає на величину U_{CT} і, отже, на напругу дуги U_R (1.3), то залежно від значення $*_d$ характеристика може зсуватися вгору або вниз.

2.4. Вольт-амперні характеристики джерел живлення

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

- крутоспадні - (напруга зменшується зі зростанням зварювального струму);
- пологоспадні - (зменшення напруги зі зростанням струму відбувається плавно);
- жорсткі - (зі збільшенням зварювального струму напруга не змінюється);
- наростаєльні - (зі збільшенням струму напруга зростає).

ЛЕКЦІЯ 3. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ.

СУТЬ І ОЦІНКА ЗВАРЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.1. Надійність запалювання зварювальної дуги

Надійність запалювання зварювальної дуги залежить від її початкового утворення, під яким розуміють процес збудження дуги на початку зварювання. Повторне запалювання дуги відрізняється від початкового тим, що відбувається у

більш сприятливих умовах при уже розігрітих електродах, хоча і виконується тими ж способами.

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

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

Початкове запалювання дуги високоевольтним іскровим розрядом здійснюється додатковим малопотужним джерелом підвищеної частоти, яке створює можливість пробити міжелектродний проміжок для подальшого проходження струму від основного зварювального джерела. Такий спосіб запалювання отримує застосування переважно у разі спеціальних методів зварювання неплавким електродом і плазмового різання. Основним же способом запалювання дуги при зварюванні плавленням є запалювання розривом кола короткого замикання на виробі. Осцилограма зміни напруги і струму при такому способі подана на рис. 1.5. При короткому замиканні струм різко збільшується до пікового значення $I_{пк}$, досягаючи сотень ампер, а потім трохи зменшується до встановленого значення I_k . Напруга джерела при цьому спадає до незначної величини U_k . Оскільки площа мікроконтактів між електродом і виробом дуже мала, то густина струму в них настільки велика, що вони миттєво розплавляються і навіть випаровуються. Міжелектродний простір заповнюється частково іонізованими парами електродного металу, у результаті чого з'являються заряджені частинки - носії струму у вигляді електронів та іонів. Після відриву електрода настає стадія розриву дугового розряду, причому напруга джерела зростає до величини $U_{mPi,Лb}$, а потім досягає встановленого значення U_{mP} . Величина струму при цьому різко зменшується і після завершення перехідного процесу досягає значення I_d . На початку стадії дугового розряду струм утворюється за рахунок руху електронів та іонів, які з'являються в результаті короткого замикання. При подальшому розвитку процесу утворюються нові заряджені частинки, і розвивається самостійний дуговий розряд. Оцінку надійності запалювання дуги можна проводити на стадіях короткого замикання і розвитку

дугового розряду. У першому випадку для забезпечення надійності необхідно створити енергетичний розрив кола короткого замикання. При малій густині

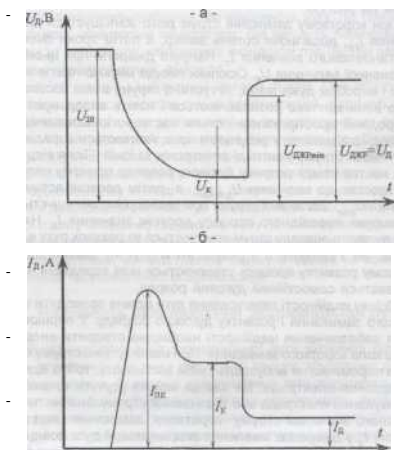


Рис. 1.5. Запалювання дуги розривом кола короткого замикання (а), осцилограми напруги (б) і струму (в)

струму в електроді рідкі перемички не вибухають і ніби застигають, тобто відбувається примерзання електрода. Це явище можна усунути шляхом різкого відсмикування електрода або збільшення струму. Значне перевищення сталого значення струму короткого замикання над робочим струмом I_d у джерелах живлення зварювальної дуги повинно забезпечувати її нормальне запалювання. З метою підвищення надійності можна збільшувати струм короткого замикання за рахунок короткочасного підвищення напруги джерела на початку зварювання. Такий метод під назвою «гарячий пуск» отримує дедалі більше застосування у джерелах. На стадії розвитку дугового процесу важливо, щоб напруга джерела $U_{тр}$, яка відновлюється, була достатня для живлення дуги з напругою C/I_d .

Якщо мінімальна напруга $U_{тр}$ відразу після розриву кола короткого замикання виявиться вищою¹ за суму катодної і анодної напруг, то дуга зможе збудитися. У таких малоінерційних зварювальних джерелах, як випрямлячі і трансформатори, порівняно з генераторами після короткого замикання напруга відновлюється практично миттєво, що свідчить про високу надійність запалювання. Якщо запалювання виконується з відсмикуванням електрода, то надійність залежить від висоти відсмикування, оскільки при значному віддаленні дуга може перерватись.

Тому для підвищення надійності запалювання треба обмежити підняття електрода і збільшити напругу неробочого ходу.

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

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

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

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

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

густині струму

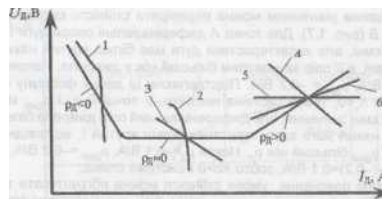


Рис. 1.9. Вибір
зовнішньої
характеристики
джерела залежно від
вольт-амперної
характеристики дуги

3.3. Стійкість енергетичної системи при значних коливаннях дуги

Умова стійкості енергетичної системи «джерело живлення - зварювальна дуга» при $K > 0$ необхідна, але не достатня для стійкого горіння дуги в реальних умовах зварювання. На вибір типу зовнішньої характеристики джерела суттєво впливають також властивості пристрою, що здійснює подачу електрода в зону горіння дуги і технологічні особливості процесу зварювання. При зварюванні найбільш значними є коливання довжини дуги. Можливі стрибкоподібні, періодичні і плавні зміни довжини дуги.¹⁹ Чим довша дуга, тим більш стійким вважається процес. Дуга повинна мати необхідний запас стійкості, тобто має бути еластичною. Зовнішня характеристика джерела обирається так, щоб при зміні довжини дуги режим зварювання не зазнавав змін, які виходили б за припустимі межі.

Однією з основних умов збільшення розривної довжини дуги і, відповідно, забезпечення її еластичності є збільшення напруги неробочого ходу джерела живлення u_{20} . Величина p_{03p} збільшується також і при зменшенні $/_{д МГН}$ за рахунок зниження швидкості зварювання, зменшення діаметру електрода, обмеження

тепловідводу газовими потоками, зниження спаду катодної напруги u_k і градієнта потенціалу стовпа дуги E_{cz} . Величини u_k і E_{cz} можна зменшувати за рахунок введення в дугу легкоіонізованих компонентів.

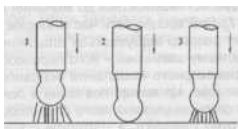
Розглянуті умови стійкості дійсні для статичних режимів. Для більш точного аналізу необхідно враховувати і динамічні властивості джерела, а саме значення індуктивності L , оскільки швидкість подовження дуги, а, відповідно, і стійкість системи залежать від енергії, накопиченої в індуктивності.

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

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

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

Розглянемо фізичні і електричні процеси в енергетичній системі «джерело живлення - зварювальна дуга» при природних техноло-



20

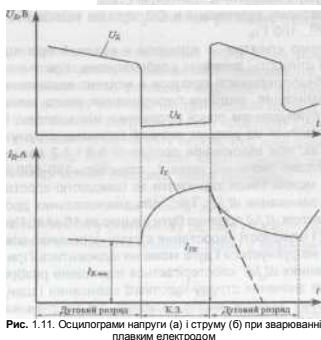


Рис. 1.11. Осцилограми напруги (а) і струму (б) при зварюванні плавким електродом

гічних коротких замиканнях (рис. 1.11). На стадії дугового розряду (поз.1) відбувається розплавлення електродного металу і утворення краплі. У міру її зростання при безперервній подачі електрода довжина дуги зменшується, а напруга спадає. Час дугового розряду становить 0,005-0,1с. Потім крапля замикає дуговий проміжок і створює

коротке замикання (стадія 2). Дуга при цьому гасне, напруга різко падає, а струм зростає. Тривалість цього процесу становить 0,001-0,01 с. Електромагнітні сили, що визначаються

піковим значенням $I_{пк}$ струму короткого замикання, стискають перемичку між краплею і електродом. У результаті цього вона стає тоншою, перегрівається, вибухає і скидається у ванну, після чого дуговий розряд відновлюється (поз. 3). Напруга джерела при цьому швидко встановлюється до значення $U_{д}$, а струм плавно знижується до $I_{д}$. Цей процес весь час повторюється, у результаті чого при дуговому розряді відбувається плавлення електродного металу, а при короткому замиканні - його перенесення, тобто складаються умови рівномірного плавлення основного електродного металу і утворення шва. Це явище пов'язане з поняттям «технологічної» стійкості, основною умовою якого слід вважати регулярність циклічних змін струму і напруги, а критерієм стійкості - їх частоту. При механізованому зварюванні в CO_2 процес технологічно стійкий при частоті 20... 100 Гц.

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

ЛЕКЦІЯ 4. РЕЖИМИ РОБОТИ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

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

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

Перемежуючий режим характеризується відносною тривалістю навантаження $T_H \%$ за час циклу, коли періоди горіння дуги чергуються з періодами неробочого ходу джерела

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

Тривалість циклу $T_{\text{ц}}$ джерел, призначених для ручного дугового зварювання прийнята рівною 5 хв., а для джерел для механізованого зварювання - 10 хвилин.

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

4.1.ВИМОГИ, ЯКІ ВИСУВАЮТЬСЯ ДО ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ

4.1.1. Вимоги до джерел для ручного дугового зварювання покритими електродами

Ручне дугове зварювання виконується електродами діаметром від 2 до 6 мм на струмах від 50 до 350 А. Вольт-амперна характеристика дуги при ручному зварюванні має спадну і жорстку ділянки (рис. 1.2). Основною вимогою до джерела є вибір типу його зовнішньої характеристики. Для стійкої роботи системи «джерело живлення - зварювальна дуга» за умови $K > 0$ необхідно використовувати крутоспадну зовнішню характеристику джерела з диференціальним опором $r_{джр} = -1 \dots -0,1$ В/А. Така характеристика має менший нахил на ділянці малих струмів (точка А, рис. 1.7) і відповідає умовам стійкості при значних коливаннях довжини дуги (1.14). На ділянці робочих струмів (точка В) завдяки більшій крутизні характеристики, досягається висока стабільність струму при коливаннях довжини дуги. Так, у джерела з номінальним струмом 300 А і диференціальним опором $R_{джр} = -0,2$ В/А при зміні напруги від 25 до 40 В сила струму підтримується з точністю до ± 35 А. При такій характеристиці значення струму короткого замикання I_k має становити не більше $1,5/I_{н}$, що відповідає умові надійного запалювання дуги. Напруга неробочого ходу джерела U_{20} для забезпечення надійного запалювання має бути не нижчою за 40-45 В і не вищою за 90-100 В за вимогами охорони праці. Налагодження режиму проводиться джерелом тільки за струмом, оскільки довжина дуги і, відповідно, напруга підтримуються зварювальником вручну.

4.1.2. Вимоги до джерел для механізованого зварювання в середовищі CO_2

Зварювання у вуглекислому газі виконується на постійному струмі величиною від 50 до 600 А, напругою від 16 до 50 В з використанням низьколегованого електродного дроту діаметром 0,8-2,4 мм. Вольт-амперна характеристика дуги

при такому способі зварювання через високу густину струму наростальна (ділянка III, рис. 1.2).

Запалювання дуги короткими замиканнями відбувається при безперервному подаванні електродного дроту до виробу. Звичайно, після декількох перегорань дроту і нових коротких замиканнях дуга збуджується. Для підтримання безперервного горіння дуги при постійній швидкості подавання дроту використовується принцип саморегулювання. Процес саморегулювання відбувається наступним чином. Зі збільшенням довжини дуги l_d збільшується напруга u_d , знижується струм I_d , швидкість плавлення електрода $1/E$ зменшується. У цьому випадку порушується урівновага системи, тобто швидкість подавання електродного дроту U_E стає більшою за швидкість плавлення електрода $1/E$. Це призводить до зменшення довжини дуги, і вона буде скорочуватись до тих пір, поки режим зварювання не прийде у вихідний сталий стан. При випадкових скороченнях довжини дуги система саморегулювання буде утворювати збурення навпаки. При відсутності збурень сила струму самовільно встановлюється на такому рівні, при якому $U_n = V_E$.

Джерело живлення повинно мати пологоспадну зовнішню характеристику, що пов'язане з необхідністю забезпечення високої швидкодії при саморегулюванні. Чим більше при збуреннях змінюється струм, тим більша швидкість плавлення електродного дроту, і швидше відновлюється довжина дуги. Це досягається за рахунок зниження опору джерела r^p , тобто зниження нахилу спадної характеристики. Допустиме також застосування джерел із жорсткою, навіть полого-наростальною характеристикою при зварюванні дротом до 1,4 мм. Сила струму короткого замикання при запалюванні дуги обмежується в основному тільки опором вильоту дроту і тому може досягати п'ятикратного значення струму дуги. При низькій напрузі дуги перенесення електродного металу відбувається з частими короткими замиканнями, що призводить до значних розбризкувань. Для зменшення розбризкувань необхідно обмежувати швидкіснаростання струму короткого замикання шляхом введення в джерело індуктивності. Налагодження режиму при зварюванні у вуглекислому газі в

здійснюється джерелом і пристроєм вводу. Оскільки величина зварювального струму змінюється зі зміною швидкості подачі електродного дроту, то це регулюється напівавтоматом. Напруга дуги встановлюється регулятором напруги джерела.

4.1.3. Вимоги до джерел для механізованого зварювання під флюсом

Зварювання під флюсом виконується на струмах від 250 до 2000 А при напрузі 22-75 В електродним дротом діаметром від 2 до 6 мм. Запалювання дуги здійснюється розриванням кола короткого замикання. ВАХ дуги жорстка або наростальна. Для підтримання безперервного горіння дуги при зварюванні дротом 04-5 мм використовується принцип саморегулювання, при більшому діаметрі - автоматичне регулювання напруги дуги.

При автоматичному зварюванні з постійною швидкістю подавання електродного дроту з дотриманням принципу саморегулювання джерело повинне мати пологоспадну зовнішню характеристику з $R_{пжр} = -0,01 \dots -0,1$ В/А. При цьому виконується умова стійкості $K > 0$. Невеликий нахил такої характеристики забезпечує значну зміну струму при коливаннях довжини дуги і, відповідно, високу швидкодію при саморегулюванні дуги. Розплавлений шлак шунтує дугу, що дещо погіршує її запалювання і знижує стійкість. Тому необхідно збільшувати напругу неробочого ходу джерела до 110... 130 В. З метою безпеки обслуговування джерела необхідно передбачити пристрій, що вимикає його відразу після закінчення зварювання.

25

При пологоспадній характеристиці струм короткого замикання I_k становить $(1,5 \dots 3) I_{дз}$, що значно збільшує надійність запалювання дуги. Зварювальний струм регулюється з допомогою автомата зміною швидкості подавання електродного дроту, а напруга - регулятором напруги джерела живлення.

В апаратах з автоматичним регулюванням напруги u_a підтримується з визначеною точністю на заданому рівні u_z . Для дотримання вимог принципової стійкості $K > 0$ джерело живлення в такому випадку повинне мати крутоспадну зовнішню характеристику з $R_{джр} = -0,1 \dots -0,3$ В/А. Величина струму короткого

замикання I_k має становити не більше подвоєного значення струму навантаження I_d , напруга неробочого ходу - 120-130 В. Напруга дуги задається автоматично регулятором, який використовується для настроювання зварювального струму.

ЄДИНА СИСТЕМА ПОЗНАЧЕНЬ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

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

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

При відсутності третьої літери - ручне дугове покритими електродами;

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

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

ЛЕКЦІЯ 5 . ЗВАРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

ПРИЗНАЧЕННЯ, ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ

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

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

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

27

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

Трансформатори з нормальним магнітним розсіянням:

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

„ Трансформатори з підвищеним (розвиненим) магнітним розсіянням:

- з рухомими обмотками;
- з рухомими магнітними шунтами;

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

III. Тиристорні трансформатори:

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

Конструкція зварювальних трансформаторів з рухомими котушками

Широко застосовуються у промисловості зварювальні трансформатори (далі ЗТ) з рухомими котушками як переносного (ТДМ-165УЗ, ТДМ-254У2), так і пересувного типу (ТДМ-317У², ТДІУ/И01У2, ТДМ-503У2, ТД-500 і т. д.). Їхні технічні характеристики наведено в табл. 2.1.

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

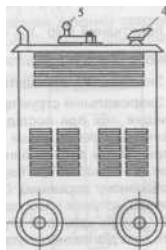
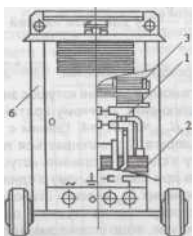


Рис. 2.18. Конструкція трансформатора з рухомими котушками

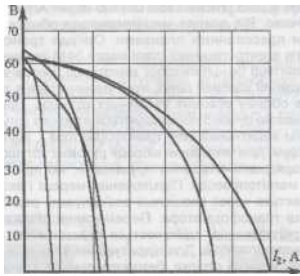
Трансформатор, призначений для роботи в районах помірного клімату на відкритому повітрі під навісом, являє собою пересувну установку в однокорпусному виконанні з природною вентиляцією і складається з осердя магнітопроводу - 1, трансформаторних обмоток - 2, 3 (первинної та вторинної), перемикача діапазонів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

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

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

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

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



V^A

Рис. 2.19. Зовнішні характеристики трансформатора ТДМ-401У2

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

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

Недоліками трансформаторів з рухомими котушками можна вважати сильну вібрацію рухомих частин (обойми з обмотками, гвинтовий привід), що значно зменшує строк їхньої експлуатації. Крім того, механічне регулювання не

забезпечує програмне керування режимів зварювання, неможлива стабілізація за струмом або напругою. Однак, не звертаючи уваги на ці недоліки, ЗТ з рухомими котушками одержали широке розповсюдження при ручному дуговому зварюванні через малу витрату активних матеріалів, високі технологічні властивості, простоту виготовлення та експлуатації.

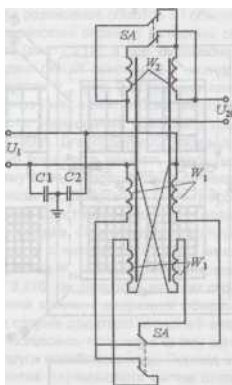


Рис. 2.20. Принципова електрична схема трансформатора ТДМ-401У2

Зварювальні трансформатори з рухомими магнітними шунтами

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

У вікні магнітопроводу між первинною-1 і вторинною-2 обмотками встановлено магнітний шунт-4. Між стрижнями осердя і шунтом передбачено повітряні проміжки «а». Розсіяння у трансформаторі створюється за рахунок рознесення первинних і вторинних обмоток одна від одної на певну відстань, що призводить до появи значних потоків розсіяння Φ_{1p} і Φ_{2p} . У конструкціях трансформаторів передбачено повне і часткове рознесення обмоток-1 і обмоток-2 стосовно шунта. При повному рознесенні первинні і вторинні обмотки розміщені по різні боки шунта (рис. 2.21а), а при частковому - вторинна обмотка складається з двох секцій: основної-2 з числом витків W_{20} і додаткової-5 з числом витків W_m (рис. 2.21б). Додаткова обмотка розміщена поряд з первинною і має з нею добрий магнітний зв'язок. Трансформатори з повністю рознесеними обмотками доцільно

виконувати на струми до 200-250 А. Для подальшого збільшення струму навантаження необхідно знижувати кількість витків первинних і вторинних обмоток. У цьому випадку порушується оптимальне співвідношення витрат обмотувальних

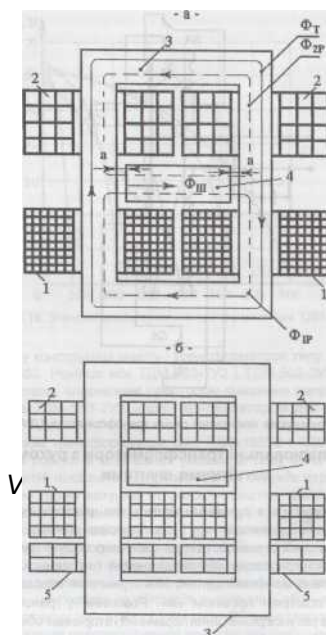


Рис. 2.21. Конструкція трансформаторів з рухомими магнітними шунтами

матеріалів і сталі, масо-габаритні показники трансформатора зростають. Повному рознесенню відповідає діапазон малих струмів. При переході на діапазон великих струмів вмикається обмотка з числом витків і вимикається частина обмотки з числом витків W_{20} . Більш досконалу схему з'єднання обмоток подано на рис. 2.21б, де діапазону великих струмів відповідає паралельне з'єднання котушок вторинної обмотки. При переході на діапазон малих струмів додаткові котушки-5 вмикаються, а основні-

2 вмикаються послідовно, причому в цьому випадку спостерігається збільшення напруги неробочого ходу. Перехід з одного діапазону на другий не вимагає перемикання витків первинної обмотки, що підвищує строк служби трансформатора.

Плавне регулювання струму у трансформаторі здійснюється за рахунок переміщення магнітного шунта вручну або сервоприводом. При виведенні шунта з вікна магнітопроводу, тобто зі збільшенням «5» (рис. 2.22а), магнітні потоки розсіяння Φ_{1p} і Φ_{2p} значною мірою замикаються на повітрі і, відповідно, зменшуються. Це приводить до збільшення магнітного опору шунта $D_{мш}$, результуючого потоку Φ_{12} , напруги U_2 , зменшенню індуктивного опору X_T і, отже, до зростання зварювального струму I_2 .

Швидкість зниження індуктивного опору при виведенні шунта на початку постійна, а потім, при виході шунта за межі вікна магнітопроводу, різко зменшується, далі X_m змінюється незначною мірою. При виході з вікна осердя шунт зазнає максимального осьового електромагнітного зусилля, яке затягує його назад у вікно і викликає сильну вібрацію. Вібрація зменшується, якщо застосувати направляючі, якими переміщується шунт, або пружини, які відтискають його від однієї сторони магнітопроводу. Вібрація також значно зменшується, якщо шунт буде складатись із двох однакових частин (половинок), які при регулюванні режиму переміщуються з вікна у протилежні сторони. У цьому випадку осьові зусилля, які діють на шунти, направлені зустрічно.

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

Зварювальні трансформатори з нерухомим підмагнічувальним шунтом

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

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

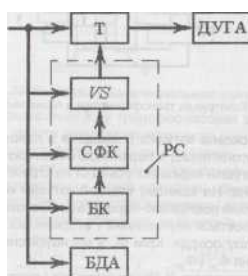


Рис. 2.23. Функціональна схема трансформатора з підмагнічувальним шунтом блок керування.

Рис. 2.25. Конструкція підмагнічувального шунта

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

Магнітна система трансформатора складається з двох магніто-проводів стрижневого типу, один з яких - магнітний шунт-1 - розміщений у вікні осердя-3 перпендикулярно до його бокових стрижнів і ділить вікно на дві частини. Між стрижнями-3 і шунтом є повітряні проміжки «<5>», які не регулюються. Силкові обмотки трансформатора розміщені симетрично на обох стрижнях магнітопроводу і частково рознесені. Вторинна обмотка складається з основної котушки з числом витків $\mathcal{K}_{20}$ (котушки 4; 5) і додаткової обмотки з числом витків (котушки 2). Основна котушка розміщена з одного боку шунта, додаткова - з другого, поряд із первинною обмоткою з числом витків (котушки 6). Котушки первинної обмотки на стрижнях з'єднані між собою паралельно. На кожному стрижні котушки вторинних обмоток з'єднані між собою послідовно-паралельно. Основний магнітний потік Φ_T , який створюється первинними і вторинними обмотками, замикається по залізу осердя. Крім Φ_T у магнітній системі

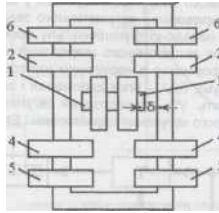


Рис. 2.24. Конструкція трансформатора з підмагнічувальним шунтом

утворюються потоки розсіяння Φ_{1P} і Φ_{2P} .

Обмотка керування 0[^]-8 секціонована і складається з чотирьох котушок, увімкнених зустрічно-послідовно відносно ЕРС, яка утворюється в них потоком шунта $\Phi_{ш}$ (рис. 2.25).

Магнітний потік Φ_k , який створюється намагнічувальними силами обмоток керування при живленні їх постійним струмом, замикається в осерді шунта, не проходячи через повітряні проміжки «8». Таким чином, змінюючи величину струму I_k в обмотці керування, можна змінювати магнітний опір заліза осердя шунта, що приводить до зміни магнітних потоків розсіяння Φ_{1P} , Φ_{2P} , індуктивного опору трансформатора X_T і зварювального струму I_2 . Це основний спосіб налаштування режиму, тобто плавне регулювання струму.

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

Ступінчасте регулювання струму здійснюється у два ступені і забезпечується перемиканням витків вторинної обмотки На, 116 і Пв (котушки 2, 4, 5 (рис.2.26). Напруга неробочого ходу трансформатора u_{20} при переключенні котушок майже не змінюється, проте суттєво відрізняються їх індуктивні опори. Оскільки частина вторинної обмотки На розміщена поряд з первинною обмоткою I, то її опір X_{2a} невеликий і значно менший від X_{2b} , тобто в першому випадку величина I_{2a6} буде вища, ніж між клемми «бв». Це і буде ступенем великих струмів.

Для забезпечення зручності регулювання зварювального струму і стабілізації встановленого режиму застосовується тиристорний регулятор струму 1/8. З його допомогою, за рахунок зворотних зв'язків за напругою живлення мережі і за зміною опору обмотки магнітного шунта можна стабілізувати встановлені режими і забезпечувати ре-

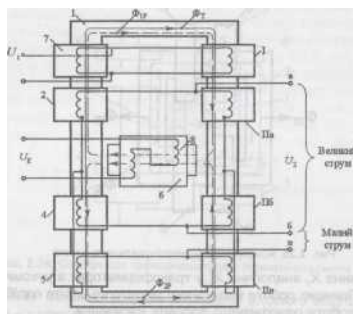


Рис. 2.26. Електромагнітна схема трансформатора
з підмагнічувальним шунтом

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

Обмотка керування живиться від одноконттактного тиристорного випрямляча.³⁶ Регулюючи кут відкриття тиристора, можна плавно змінювати величину струму в обмотці керування магнітного шунта в необхідних межах, здійснюючи регулювання і стабілізацію зварювального режиму при коливаннях напруги мережі, здійснювати як місцеве, так і дистанційне керування режиму трансформатора. При цьому плавне регулювання зварювального струму можна одержати з кратністю близькою 2. Для отримання відпираючого імпульсу та його фазорегулювання призначена схема на транзисторному логічному елементі, що виконує функцію електронного реле.

Трансформатори з ярмовим розсіянням

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

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

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

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

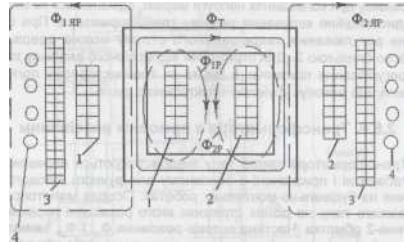


Рис. 2.27. Електромагнітна схема трансформатора з ярмовим розсіюванням

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

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

У промисловості застосовуються випущені раніше трансформатори типу ТСМ-250, ТСМ-500 з ярмовим розсіянням, електромагнітна схема яких подібна до схеми, поданої на рис. 2.27, а технічні характеристики наведені в табл. 2.1. У ТСМ-250 відбувається зміна зварювального струму в межах 90-250 А. Слід зазначити, що зі зростанням потужності трансформатора збільшується ефективність подібного способу регулювання через те, що індуктивний опір трансформатора зменшується повільніше, ніж зростає його потужність. Крім цього, зі зростанням потужності при зміні напруги мережі зменшується кількість витків первинних і вторинних обмоток. Тому для однакової зміни величини X_T потрібна менша довжина зварювального кабеля. Трансформатор ТСМ-500 належить до типу таких трансформаторів, у яких за рахунок перемикачів числа витків додаткової обмотки і трьох витків зварювального кабеля вдається змінювати струм короткого замикання в межах 60-700 А. При цьому його вага у

1,6 разу менша за вагу подібних за потужністю трансформаторів з рухомими обмотками або шунтами.

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

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

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

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

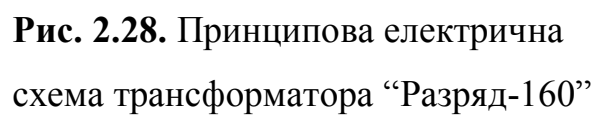


Рис. 2.28. Принципова електрична
схема трансформатора “Разряд-160”

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

Схема формування імпульсів керування тиристорами складається з двох однакових функціональних груп, зібраних на транзисторах VT1, 1/72, VT3, 1/74. Навантаженням для них слугує імпульсний трансформатор 71, у якого:

- 1-колекторна обмотка;
- 2 - обмотка керування тиристором I/S6;
- 3 - обмотка керування тиристором VS5.

Бази транзисторів 1/71, VT2 підключаються через резистори R1- R4 до дугового проміжку і до датчика струму TA. Конденсатори C1, C2 контролюють вхід схеми, аби не дати перешкодам спричинити, помилкове спрацьовування стабілізатора. Транзистори VT1-1/74, резистори R5-R11 і конденсатори C3, C4 утворюють напівпровідникове реле, яке має два сталих стани: VT1, 1/73 відкриті, а VT2, VT4 закриті та навпаки. Процес перемикання з одного стану в інший відбувається дуже швидко завдяки дії додатнього зворотного зв'язку, що здійснюється через резистор R11. При додатній напівхвилі на електроді відкриваються транзистори VT1, 1/73, (VT2, VT4 закриваються) і первинна обмотка трансформатора 71 через конденсатор C5 підключається до плюса джерела живлення; при від'ємній півхвилі відкриваються VT2 і VT4 (VT1, VT3 закриваються), первинна обмотка через C5 підключається до мінуса джерела живлення. Таким чином, при кожній зміні полярності на електроді відбувається імпульсне перемагнічування первинної обмотки трансформатора 71, викликаючи появу імпульсів струму в обмотках II і III, що керують тиристорами VS5 і VS6. Резистори R2, R4 і конденсатор C2 підібрані так, що перемикання напівпровідникового реле і стабілізуючі імпульси з'являються в той момент, коли напруга на електроді сягає 60-80% від амплітудного значення неробочого ходу зварювального трансформатора. Датчик струму TA, який являє собою диференційований трансформатор,

видає керуючі імпульси в момент переходу зварювального струму через нуль, викликаючи тим самим спрацювання напівпровідникового реле і появу стабілізуючих імпульсів.

Схема формування імпульсів керування живиться від додаткової обмотки VIII трансформатора 72, яка охоплює обидва стрижні магнітопроводу і знаходиться на шляху потоку розсіяння. При неробочому ході потік розсіяння малий, і напруга на обмотці не перевищує 3-4 В. При зварюванні потік розсіяння різко збільшується, напруга на обмотці VIII досягає 24-30 В. Ця напруга випрямляється діодами У09, \ZD10 і згладжується конденсаторами С9, СЮ.

Вимикання стабілізатора відбувається через 0,8—0,1 с після закінчення процесу, оскільки стабілізатор живиться за рахунок енергії, накопиченої конденсаторами С9, СЮ. Силова частина схеми ІСГД складається з конденсаторів С7, С8, С11, резисторів Я19, тиристорів \86 і Ув5 і обмоток III і IV трансформатора 72. Обмотка IV служить для обмеження швидкості наростання струму через тиристири. Конденсатори С12, С13 є фільтрами від радіоперешкод.

Зварювальні трансформатори з індуктивно-ємнісною компенсацією

Для покращення стабільності процесу зварювання і підвищення енергетичних показників джерел живлення змінного струму застосовується увімкнення ємності в коло трансформатора. Таке резонансне коло сприяє підвищенню напруги запалювання дуги при переході струму⁴² через нуль. Існують поздовжня (послідовне вмикання конденсатора) і поперечна (паралельне включення) компенсації.

У трансформаторах з поперечною компенсацією напруга повторного збудження дуги u_z не може бути більшою за напругу неробочого ходу трансформатора u_{20} . У джерелах з поздовжньою компенсацією величина u_z залежить від співвідношення реактивних опорів X_b і X_c . У цьому випадку напруга u_z на вторинних обмотках трансформатора зрівноважується спадом напруги на дузі C/d , індуктивності і ємності u_c (рис. 2.29а).

$$u_2 = u_a + u + u_c \quad (2.39)$$

Для визначення стійкості горіння дуги розглянемо осцилограми струму і напруги у вторинному колі трансформатора (рис. 2.296).

При $X_b > X_c$ струм i_2 відстає від напруги u_2 на кут φ , як і у випадку відсутності ємності. Якщо початок координат сумістити з переходом струму через нуль, то:

При наступному різкому зниженні швидкості наростання струму до моменту $< 2\pi$ напруга на індуктивності стрибком знизиться майже до 0 (показано пунктиром), і сумарна напруга,

$$u_2 - u_c = u_{2m} \sin n\omega t + u_{cm}$$

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

Для повторного запалювання дуги в колі з індуктивністю і ємністю потрібна менша напруга джерела $C/2$, ніж у колі з самою індуктивністю. Особливо це помітно при $X_b = X_c$, тобто коли виникає резонанс напруг. При цьому величина $U^{\wedge}$ може перевищувати u_{20} в 2-3 рази. Зниження напруги неробочого ходу u_{20} веде за собою збільшення коефіцієнта трансформації і, відповідно, зменшення струму в первинній обмотці трансформатора при незмінному значенні струму навантаження.

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

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

Для зниження величини u_{20} і струму в первинній обмотці /, розроблений і виготовляється зварювальний трансформатор побутового призначення типу ТСБ-90, який живиться від освітлювальної мережі напругою 220 В. Конденсаторна батарея ємністю 100 мкФ встановлена послідовно первинній обмотці, що також корисно відображається на повторному запалюванні дуги.

ЛЕКЦІЯ 6. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ВЕНТИЛІ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ І ВИПРЯМЛЯЧАХ

У зварювальних трансформаторах і випрямлячах використовуються в основному такі кремнієві силові вентиля, як діоди, тиристори і транзистори. Принцип роботи діода (некерованого вентиля) можна розглянути на прикладі найпростішої схеми однопівперіодного випрямлення, коли в позитивному півперіоді синусоїдної напруги мережі живлення діод увімкнено в прямому діодом ($u_{зв} \sim U$)

Таким чином, якщо знехтувати струмом $I_{зв}$, по навантаженню піде переривчастий струм одного напрямку, який і визначається як випрямлений постійний струм, середнє значення якого $I_{пр}$ показано на рис. 2.306. За осцилограмою (рис. 2.306) можна одержати динамічну вольт-амперну характеристику діода (рис. 2.31).

Пряме зменшення напруги на вентилі $u_{пр}$ на прямій гілці характеристики невелике. Основним параметром, за котрий з довідників обирається діод, є його граничний струм $I_{пред}$, котрий характеризується як максимально допустиме середнє значення тривалого струму синусоїдної форми при частоті 50 Гц і однопівперіодному випрямленні. У зварювальних випрямлячах застосовуються діоди з I на 200, 320, 400, 500 А. Другою важливою характеристикою діода є пряме падіння напруги $u_{пр}$ на вентилі при амплітудному значенні найбільшого струму. Величина $U_{пр}$ характеризує втрату потужності на нагрівання вентилів і, відповідно, ККД випрямляча. Параметр, при значенні якого відбувається незворотне руйнування напівпровідникової структури вентиля, є $U_{проб}$. Величина повторюваної напруги $U_{повт}$ характеризується невеликою миттєвою напругою, яка прикладається до діода у зворотному напрямку. При цьому маєтеся на увазі не лише амплітудне значення синусоїдної напруги u_m (рис. 2.306), але й кидки напруги, що часто повторюються при перехідних процесах, які повинні бути нижчі $U_{проб}$ не менше ніж 2 рази. У зварювальних випрямлячах використовуються вентиля 2.. 8 класів ($U_{повт}$ від 200 до 800 В). Допустима зворотна напруга діода. $U_{доп}$ з урахуванням кидків напруги при перехідних процесах повинна бути в 1,5 разу нижчою від $U_{повт}$. При виборі вентилів

необхідно врахувати короткочасні, але досить значні перевантаження по струму, які супроводжують роботу випрямляча. При технологічних перевантаженнях у режимі короткого замикання допускається перегрів кремнієвих діодів до температури 160°C . З паспортної перевантажної характеристики можна встановити, що таке 4-кратне перевантаження може тривати не більш 1,0 с. Із цієї ж характеристики випливає, що аварійне 8-кратне перевантаження, яке викликане коротким замиканням усередині випрямляча, допустиме при тривалості менше 0,03 с, тобто часу спрацьовування швидкодіючого автоматичного вимикача. Якщо /_{пред} нижче необхідного, застосовують паралельне з'єднання 2—3 однакових вентилів. Послідовне з'єднання кремнієвих вентилів не застосовується, оскільки для зварювальних випрямлячів можна підібрати вентиля з будь-яким високим значенням $C_{\text{п}}/I_{\text{пер}}$ прикладенням до кола анод-катод прямої напруги, яка перевищує напругу перемикачів $C_{\text{п}}/I_{\text{пер}}$. Таке перемикач є аварійним;

· подачею на керуючий електрод позитивного імпульсу керуючої напруги за умови вмикання тиристора в прямому напрямку, тобто коли потенціал його анода вищий за потенціал катода.

У відкритому стані тиристор має дуже малий опір. Параметри прямої гілки ВАХ відкритого тиристора схожі на аналогічні параметри діода. Спад напруги на відкритому тиристорі при проходженні прямого струму мале, і значення струму практично визначається лише параметрами зовнішнього кола. Процес відкриття тиристора відбувається дуже швидко. Час вмикання залежить від параметрів керуючих імпульсів і характеру навантаження. При збільшенні струму керування час вмикання знижується. Закриття тиристора відбувається при зміні полярності напруги між анодом і катодом. При роботі в колі змінного струму тиристор заблоковується під час проходження негативної півхвилі напруги. При роботі в колі постійної напруги він може заблоковуватися тільки з допомогою спеціальних пристроїв, які короткочасно створюють на аноді від'ємну напругу. Час вимикання тиристора або час відновлення його властивостей у прямому напрямку визначають як час від моменту зниження прямого струму до моменту, коли

вентиль відновлює здатність витримати прикладену до нього пряму напругу визначеної амплітуди і швидкості наростання. Напруга C/p , яка повторюється – це

найбільша миттєва напруга, що прикладається до тиристора у зворотному і прямому закритому напрямках, з урахуванням усіх перехідних напруг, які повторюються і виникають, наприклад, при відновленні заблокованих властивостей вентилів. Принцип роботи тиристора можна розглянути на прикладі найпростішої схеми. При подачі на керуючий електрод позитивного відносно катода імпульсу напруги, тиристор V_5 відкривається із затримкою на електричний кут «а», який відповідає моменту подачі імпульсу керування. Середнє значення випрямленого струму $I_{пр}$, пропорційне заштрихованій площі частини додатного півперіоду для тиристора менше ніж для діода і знижується зі збільшенням затримки вмикання (кута відкриття) «а». На час від'ємного півперіоду U_i закритий. Таким чином, тиристор може використовуватись не лише для випрямлення, а й для регулювання струму і напруги.

ТИРИСТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

Призначення і конструкція тиристорних трансформаторів

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

Основним вузлом ТТ є тиристорний фазорегулятор, який працює із силовим трансформатором і складається із двох зустрічно-паралельно включених тиристорів і системи їх керування. Блок фазового керування (БФК), який здійснює регулювання змінного струму, побудований на перетворенні синусоїдного струму у знакозмінні імпульси, амплітуда і тривалість яких визначається кутом (фазою) ввімкнення тиристорів. Трансформатор 7 слугує для зниження напруги мережі до необхідної при зварюванні і має магнітопровід стрижневого типу з фіксованим підвищеним магнітним розсіянням. Відсутність рухомих частин і шунтів, які вимагають високої якості складання і схильних до вібрації, дозволяють зробити силовий трансформатор простим у виготовленні і довговічним в експлуатації. Тиристорний фазорегулятор ФР, котрий вміщує в себе комутатор K , блок БФК і блок завдання напруги БЗН або струму БЗС, виконує функції регулювання режиму і формування зовнішньої характеристики. Причому ФР може встановлюватись як у колі первинної, так і вторинної обмотки трансформатора. Блок завдання БЗН або БЗС призначений для встановлення необхідного (опорного) значення зварювального струму або напруги.

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

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

У трансформаторах з переривчастим живленням дуги коло підживлення виключене, і горіння дуги носить перервний характер.

У схемі, паралельно первинній обмотці силового трансформатора включена ємність і додаткова слабкострумна обмотка, яка розміщена у зоні вторинної обмотки трансформатора для забезпечення належного магнітного зв'язку.

При вмиканні одного з тиристорів ФР конденсатор заряджається до потокового значення напруги мережі. Його зарядний струм проходить по додатковій обмотці, трансформується у вторинній обмотці, викликаючи на дуговому проміжку імпульс напруги, достатній для впевненого повторного запалювання дуги. По закінченні періоду провідності тиристора дуга гасне і конденсатор розряджається на первинну обмотку. У наступний півперіод напруги мережі вмикається другий тиристор фазорегулятора, конденсатор⁴⁸ заряджається у зворотному напрямку, його зарядний струм викликає стабілізуючий імпульс у міжелектродному проміжку і повторне збудження дуги. Па

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

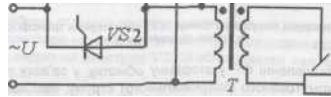


Рис. 2.39. Спрощена електрична схема трансформатора з переривчастим живленням дуги

Схема імпульсно-фазового керування (СФК) тиристорних трансформаторів

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

Принцип дії фазозсувного пристрою (рис. 2.40) побудований на зарядженні конденсатора C_3 до визначеного рівня з подальшим його розрядженням на первинну обмотку імпульсного трансформатора 71. Зарядне коло живиться трапецеїдальною випрямленою напругою, яка знімається зі стабілітрона $V05$, увімкненого на виході випрямного блоку $V01-V04$.

Інтегродиференціюючий фільтр $C1$, $C2$, $R1$, $R2$ зменшує вплив спотворень напруги мережі живлення. Конденсатор $C3$ заряджається колекторним струмом транзистора $VT2$, включеного по схемі із загальним емітером, до моменту, поки напруга заряду не досягне значення $U_c = kU_v$ де k - коефіцієнт переключення одноперехідного транзистора $VT1$, рівний. 0,65-0,9, а <7 , - напруга живлення схеми, рівна напрузі стабілізації стабілітрона $VD5$. Після цього $VT1$ відкривається, і $C3$ розряджається на первинну обмотку 71. Утворені імпульси тривалістю близько 10 мкс надходять через вторинні обмотки імпульсного трансформатора 71 на вихідний пристрій (клеми 1-4).

Після розрядження $C3$ відбувається відновлення запираючої здатності $U71$ і повторне зарядження $C3$. Цей процес утворення пилкоподібної напруги завершується в кінці півперіоду напруги живлення при спаданні трапецеїдальної напруги стабілітрона $VD5$ до 0 і відновлюється на початку наступного півперіоду. При нульовому значенні напруги живлення конденсатор $C3$ розряджається, що забезпечує синхронізацію роботи фазозсувного пристрою з напругою мережі.

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

Малопотужні тиристори І/БЗ (У54) є комутаторами в колі допоміжного трансформатора Т2, струмообмежуючого резистора Я?1 (Я2) і керуючого переходу силових тиристорів ІЯ>1 ($\sqrt{6}>2$). Тиристори УвЗ (Ув4) включені в протифазні кола, і тому, незважаючи на те, що імпульси на їх увімкнення з ФП надходять в обидва півперіоди, кожний з них відкривається тільки в той півперіод, коли анодна напруга на ньому позитивна. Робота СФК з даним вихідним пристроєм ілюструється на діаграмі напруг, яку подано на рис. 2.42.

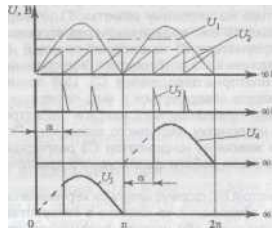


Рис. 2.42. Діаграма напруг на елементах системи фазозсувного блоку 114

Трапецеїдальна напруга живлення фазозсувного пристрою u_1 , формується із синусоїдної випрямленої напруги. Пилкоподібна напруга u_2 характеризує зарядження конденсатора СЗ. Утворені при розрядженні конденсатора імпульси напруги u_3 на вторинних обмотках трансформатора ФП керують моментами спрацьовування (кут «а») малопотужних тиристорів УвЗ і У54. Імпульси напруги u_4 і u_5 , які керують протифазними силовими тиристорами УБ1 і УБ2, надходять з обмоток допоміжного трансформатора Т2 через тиристори УвЗ і УБ4. Тривалість імпульсів керування рівна «тг-а».

Схему вихідного пристрою з увімкненням тиристорів У51 і УБ2 від своєї анодної напруги подано на рис. 2.43.

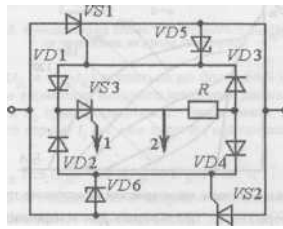


Рис. 2.43. Спрощена електрична схема вхідного пристрою з використанням анодної напруги тиристорів

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

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

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

Формування зовнішніх характеристик у тиристорному трансформаторі

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

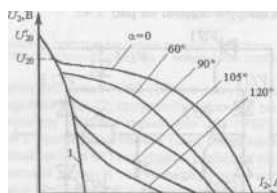


Рис. 2.44. Зовнішні природні характеристики тиристорного трансформатора

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

Датчик струму формує сигнал, пропорційний зварювальному струму $u_{ac} = \kappa I_2$, який порівнюється у блоці порівняння БП з сигналом, пропорційним заданому значенню струму $C_{zc} = c_{zc}$. Різниця двох

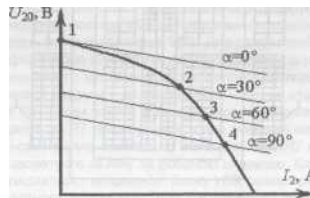


Рис. 2.46. Зовнішня характеристика тиристорного трансформатора зі зворотним зв'язком за струмом

сигналів $u_{ac}-u_{zc} = \kappa(I_2-I_{zc})$ подається до блоку БФК і, змінюючи кут керування «а» тиристорів вихідного пристрою, діє на величину вторинної напруги u_2 трансформатора T . Таким чином, при збільшенні зварювального струму I_2 кут «а» зростає, що призводить до зменшення u_2 .

$$I_2 \uparrow \Rightarrow u_{de} \downarrow \Rightarrow (u_{de} - u_{zc}) \uparrow \Rightarrow \alpha \uparrow \Rightarrow u_2 \downarrow$$

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

У режимі неробочого ходу струм $I_2=0$, і тому зворотний зв'язок не діє, тобто кут відкриття тиристора «а» дорівнює 0, а величина u_2 максимальна (точка 1). У режимі навантаження зі зростанням I_2 кут «а» збільшується, а u_2 знижується. В такому разі режим роботи трансформатора відображується робочими точками 2,3,4 залежно від величини кута керування «а». При введенні зворотних зв'язків за напругою дуги або мережі отримують стабілізовані (незалежні від коливання напруги мережі) жорсткі зовнішні характеристики.

Конструкція тиристорних трансформаторів Трансформатори типу ТДФЖ

Трансформатори типу ТДФЖ-1002УЗ і ТДФЖ-2002УЗ призначені для

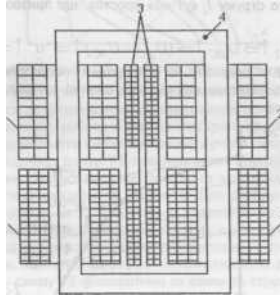


Рис. 2.47. Конструкція магнітопроводу і розміщення котушок трансформатора
ТДФЖ-1002УЗ

автоматичного зварювання під флюсом. їхні номінальні параметри наведені в табл. 2.1. Вони мають тиристорне регулювання і забезпечують імпульсну стабілізацію процесу зварювання. Магніто- провід силового трансформатора-4 стрижневого типу, набірний і виготовлений зі сталі марки 3414, товщина листів 0,35 мм (рис. 2.47).

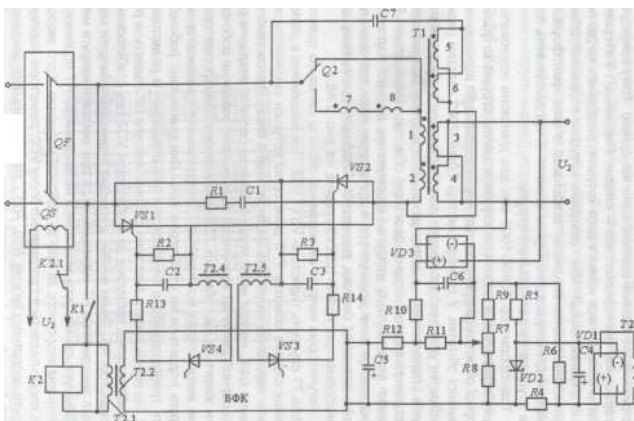
Обмотки виконані шиною, намотаною на ребро, і встановлені на стрижнях на заданій відстані один від одного. Тому природні характеристики трансформатора - спадні. Первинна-1 і вторинна-2 обмотки складаються кожна з двох котушок, розділених на дві послідовно з'єднані секції. Між секціями котушок вторинної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

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

Регулятором напруги на первинній обмотці силового трансформатора 71 слугують тиристири V81 і V82. При зварюванні в діапазоні великих струмів

обмотки 7, 8 реакторної котушки вимикаються. Імпульси керування надходять на тиристори з блоку фазозсувного керування БФК, на вхід якого подано різницю сигналів завдання робочої (опорної) напруги і зворотного зв'язку. Коло завдання робочої напруги живиться від обмотки 72.3 допоміжного трансформатора 72. Після випрямлення мостом V01 і згладжування конденсатором С4 напруга подається на стабілітрон 1/02. Для стабілізації робочої напруги трансформатора використовується поділювач із резисторів Я?5 і Я6. На потенціометр завдання робочої напруги Я7 подається різниця стабілізованої напруги - на стабілітроні 1/02 і не стабілізованої - на резисторі И5. Таким чином, у випадку підвищення напруги мережі сигнал завдання на Я7 зменшується, а при зниженні напруги мережі

збільшується. Напруга завдання з потенціометру Я?7 порівнюється з сигналом зворотного зв'язку за робочою напругою. Коло зворотного зв'язку складається з випрямного блоку УОЗ, резисторів поділювача напруги зворотного зв'язку Я10, і згладжувального конденсатора С6. У повністю сформованому вигляді напруга зворотного зв'язку



56

Рис. 2.48. Спрощена

принципова електрична схема

трансформатора ТДФЖ-

1002УЗ

виділяється на И11. Резистори і № слугують для встановлення мінімального і максимального значень робочої напруги трансформатора. Різниця між напругою

завдання і зворотного зв'язку через Я-С фільтр (Я12, С5) подається на вхід БФК. Зменшення напруги на виході трансформатора в результаті дії будь-яких збурень (наприклад, зменшення вильоту електрода) призводить до зниження сигналу зворотного зв'язку. Оскільки напруга завдання залишається постійною, то зростає різницевий сигнал на вході БФК. Заряд конденсатора, який задає час, фазозсувного пристрою прискорюється, зменшується час від початку півперіоду напруги мережі живлення до моменту розряду конденсатора і надходження імпульсів керування на силові тиристори. Усе це приводить до підвищення напруги трансформатора до попереднього значення. Захист силових тиристорів від комутаційних перенапруг здійснюється з допомогою кола Я1-С1, захист керуючих переходів тиристорів від випадкових сигналів відбувається з допомогою И2, И3 і С2, С3. Імпульсна стабілізація процесу зварювання здійснюється за рахунок конденсатора С7 і слабкострумних обмоток 5, 6 трансформатора. При увімкненні вимикача К1 напруга мережі надходить на блок БФК, вузол завдання робочої напруги (обмотка 72.3) і на вихідний пристрій БФК (обмотки 72.4 і 72.5). На вторинній обмотці 3, 4 встановлюється напруга неробочого ходу, відповідна установці потенціометра Я7. У випадку пробою силових тиристорів при відсутності навантаження на зварювальних клемах з'являється повна напруга неробочого ходу. Тому для створення умов безпечної роботи оператора передбачено автоматичний захист у вигляді автоматичного вимикача *QF*. Виводи незалежного розщеплювача 05 вимикача через нормально-замкнутий контакт магнітного пускача *K2* підключені на вихідні затискачі трансформатора. Це забезпечує миттєве відмикання вимикача-розщеплювача від мережі у разі появи високої напруги неробочого ходу при налагоджувальних роботах.

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

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

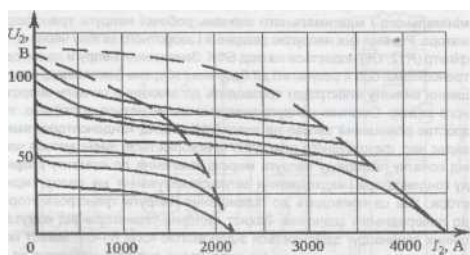


Рис. 2.49. Зовнішні
характеристики
трансформатора ТДФЖ-
2002УЗ

ТРАНСФОРМАТОР ІЗ ПІДЖИВЛЕННЯМ

Тиристорні трансформатори для ручного дугового зварювання, різання

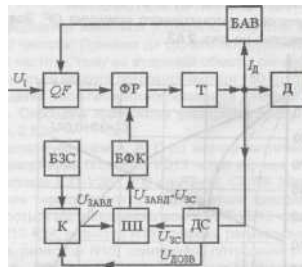


Рис. 2.51. Структурна схема зварювального трансформатора ТДЕ-402 і наплавлення. Трансформатор типу ТДЕ-402

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

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

Ключ K пропускає сигнал завдання $C/\text{ЗАВД}$ із блоку завдання струму БЗС на порівнюючий пристрій ПП тільки за наявності сигналу дозволу $\text{£}/\text{ДОЗВ}$ з датчика зворотного зв'язку за струмом ДС зварювальної дуги Д. При роботі трансформатора в режимі навантаження ключо- 123

вий елемент K закритий і різниця сигналів ($U_{\text{ЗАВД}}$ і $u_{\text{зс}}$ (зворотного зв'язку за струмом) надходить на вхід блока фазового керування БФК, визначаючи тим самим величину кута відкриття тиристорів і зварювального струму. Приблизно через 1 с після відриву дуги ключ K відкривається і на вторинній обмотці трансформатора T встановлюється напруга неробочого ходу 12 В, тобто на вхід

БФК подається сигнал $C/3$ без віднімання u_{3c} . Це забезпечує повне відкриття тиристорів фазорегулятора і, відповідно, легке повторне збудження дуги. В аварійному режимі, наприклад, у разі пробою одного з тиристорів, з'являється повна напруга неробочого ходу $u_{20}=80$ В. У цьому випадку автоматичне відімкнення трансформатора від мережі здійснюється блоком аварійного відмикання БАВ, який подає команду на незалежний розщеплювач автоматичного вимикача QF . Зовнішні характеристики наведено на рис. 2.52.

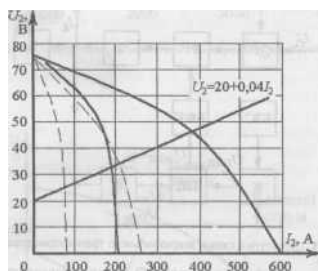


Рис. 2.52. Зовнішні
характеристики
трансформатора
ТДЕ-402

У переносному трансформаторі ТДЕ-254 для ручного дугового зварювання (рис. 2.54) тиристорний регулятор У51-І/82 встановлену у колі первинної обмотки, яка складається з двох котушок. Паралельно комутатору встановлено дросель і, який, крім підживлення, формує спадну характеристику. При

380 В
220 В
 $U_2, В$
60

-6-

61

вимкнених тиристорах первинна обмотка живиться через дросель з великим індуктивним опором, подібно до того, як працює трансформатор у колі зі

0 100 200 300 $I_2, А$

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

вторинною обмоткою. При цьому формується крутоспадна характеристика. При увімкненому тиристорному регуляторі більша частина первинного струму йде по ньому, тому одночасно зі збільшенням напруги неробочого ходу спостерігається зменшення нахилу характеристики 2. В цьому випадку струм по дроселю йде тільки в інтервалі до включення тиристорів і підживлює основну дугу. Трансформатор може працювати як при напрузі мережі живлення 220, так і 380 В. Для цього секціонують обидві котушки

первинної обмотки.

Багатопостова система складається зі зварювального трансформатора-1 з мінімальним внутрішнім опором. До вихідних клем трансформатора під'єднаний шинопровід-2, до якого ввімкнені постові регулятори-3, кожен з яких містить дросель-4. На осерді дроселя розташовані силова-4 і додаткова-5 обмотки, кінці яких з'єднані в загальну точку з електродом-6. У пристрої ІСГД є силові тиристори-7, $U_{в1}$ і $U_{в2}$, конденсатор-С і блок керування ІСГД-7. Багатопостова система працює наступним чином. При подачі напруги мережі на трансформатор зварювальна напруга надходить на шинопровід, потім на постові регулятори, чим і забезпечується протікання процесу зварювання. Електрична розв'язка між постами здійснюється за рахунок використання постових дроселів. Висока надійність початкового і повторного запалювання досягається завдяки застосуванню ІСГД, який забезпечує подачу стабілізуючих горіння дуги імпульсів тільки в момент переходу кривої зварювального струму через нуль. Такі багатопостові джерела живлення є енерго- і ресурсозберігаючим технологічним устаткуванням. Так, на виготовлення такого чотирьох постового джерела витрачається в 2-2,5 разу менше активних матеріалів (електротехнічної міді і сталі), а експлуатація такої системи потребує в 2-3 рази менше електроенергії, ніж для чотирьох окремих джерел живлення з номінальним струмом 500 А.

ЛЕКЦІЯ 7. ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

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

Таблиця 2.1 (продовження)

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

Сьогодні випускаються випрямлячі однопостової та багатопостової системи.

Однопостові випрямлячі поділяються на такі групи:

- зі спадними зовнішніми характеристиками для ручного дугового зварювання штучними електродами і механізованого зварювання під флюсом;
- із жорсткими (пологоспадними) ¹³⁵ характеристиками для механізованого зварювання плавким електродом у захисних газах;
- з універсальними зовнішніми характеристиками (крутоспадними та жорсткими) для усіх видів зварювання.

Багатопостові випрямлячі поділяються на групи:

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

- з універсальними (крутоспадними і жорсткими) характеристиками.

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

Вони складаються із силового знижувального трифазного трансформатора T , випрямного блоку V_0 на некерованих вентилях і згладжувального дроселя L . Трансформатор використовується для формування зовнішньої характеристики і регулювання режиму, дросель L - для згладжування пульсацій випрямленого струму та зменшення розбризкування електродного металу..

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

Інверторні випрямлячі (рис. 3.1г).

Інвертор u_i перетворює постійну напругу, що утворюється випрямним блоком V_0 шляхом випрямлення напруги мережі, у високочастотну змінну напругу, яка потім знижується силовим трансформатором T і випрямляється блоком V_0 . Випрямлена напруга через згладжувальний дросель L подається на дугу. Впливаючи на параметри інвертора, можна регулювати режим зварювання і формувати зовнішні характеристики джерела.

Для комплектування апаратів, що працюють за принципом саморегулювання дуги при механізованому зварюванні² у вуглекислому газі та під флюсом, застосовуються випрямлячі з жорсткими або пологонаростальні ВАХ. Регулювання напруги в такому випадку забезпечується регуляторами, які виконують функції секціонування обмоток трансформатора, магнітного керування у випрямлячах зі складною магнітною комутацією або струму керування у дроселях насичення. Застосовується також і фазове керування у випрямлячах тиристорного типу і частотне - в інверторних випрямлячах.

Для ручного дугового зварювання з автоматичним регулюванням напруги призначені випрямлячі з крутоспадними зовнішніми характеристиками, у яких ВАХ формуються за рахунок збільшеного індуктивного опору трансформатора

або зворотного зв'язку за струмом (у випрямлячах тиристорного або інверторного типу).

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

Система охолодження здійснює тепловідвід від елементів випрямляча, підтримуючи їх робочу температуру. Часто в якості носія використовують потік повітря, який створюється вентилятором (примусова вентиляція). У малопотужних установках можуть використовуватись і конвективні потоки. Передача тепла від частин, які нагріваються потоком повітря, відбувається обдувом або через спеціальні деталі зі значною поверхнею радіатора. Потужні установки можуть мати систему примусового водяного охолодження. Надійність її роботи забезпечується пускорегулювальними і захисними пристроями, датчиками наявності потоку теплоносія (парус або реле тиску води), аварійним реле, що вимикає випрямляч від мережі у випадку відмови системи охолодження. Пускорегулювальна і захисна апаратура забезпечує нормальне вимикання випрямляча на неробочий хід і вимикання його від мережі. Захисні пристрої вимикають випрямляч у випадку перевантаження, виходу з ладу основних вузлів установки. Вмикання і вимикання здійснюється магнітними контакторами або схемами захисту, які вміщують відповідні датчики і реле. Схеми захисту можуть мати також релейні, магнітні або електронні підсилювачі.

Схеми випрямлення

При розробці зварювальних випрямлячів особлива увага приділяється вибору раціональної схеми випрямлення. При цьому враховуються такі фактори, як тип і параметри вентилів, вимоги до розрахункової потужності та конструкції трансформатора, тип зовнішніх характеристик джерела живлення. Більшість

зварювальних випрямлячів випускають з живленням від трифазної мережі змінного струму. Перевагою їх у порівнянні з випрямлячами, які живляться від однофазної мережі, є рівномірне завантаження мережі, більш згладжена форма кривих струму і напруги, більш раціональне використання вентилів.

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

Однофазна мостова схема випрямлення складається з трансформатора і вентилів $VD1, VD2, VD3, VD4$ (рис. 3.2^{ABC}_a).

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

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

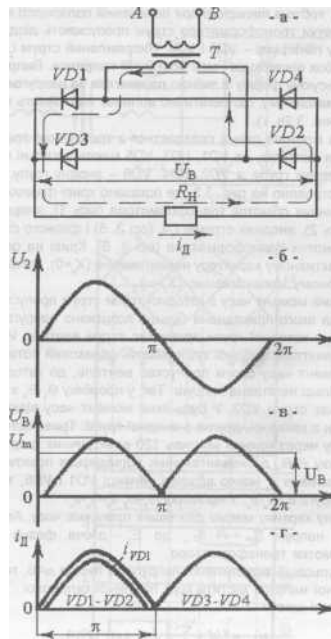


Рис. 3.2. Однофазна двопівперіодна схема випрямлення і лінійні діаграми напруг і струмів

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

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

У будь-який момент часу з катодної групи струм пропускає вентиль, до анода якого прикладена більша позитивна напруга. Так, у проміжку $0-\omega_2$ з катодної групи пропускає струм вентиль VD^* . Оскільки аноди вентилів анодної групи

мають однаковий потенціал, у будь-який момент часу струм пропускає вентиль, до катоду якого прикладена більш негативна напруга. Так, у проміжку $0, -\frac{\pi}{3}$ з анодної групи пропускає струм $ID2$. У будь-який момент часу відкриті два вентиля - один з катодної, другий з анодної групи. Тривалість проходження струму через кожний вентиль 120 електричних градусів.

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

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

Нульова точка однієї зірки утворена кінцями обмоток, другої зірки - початками обмоток, у результаті чого два трифазних випрямляча з нульовою точкою зсунуті за фазою один відносно одного на 180 градусів. Фазні напруги цих випрямлячів ($u_a, u_b, u_c, i, u_{a'}, u_{b'}, u_{c'}$) подані у вигляді суцільних і штрихових ліній (вісь 1). У кожній групі струм пропускає той вентиль, у якого в даний момент найбільша анодна напруга, наприклад, IT_1 у проміжку $0-0_T$.

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

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

Випрямлена напруга у схемі дорівнює півсумі напруг працюючих фаз. У

проміжку $0'-0_r$ коли проводять вентиля $V01$ і $V02$, Крива випрямленої напруги u_a , показана лінією (вісь 1) має шість пульсацій за період. Амплітуда випрямленої напруги

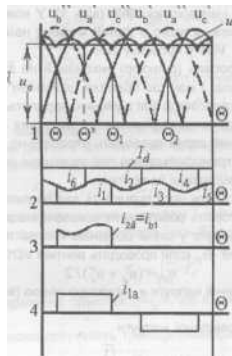
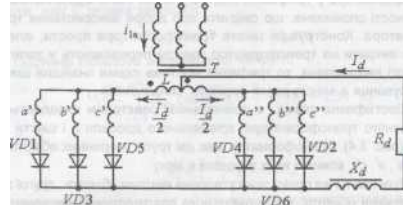


Рис. 3.4. Шестифазна схема випрямлення із зрівняльним реактором і лінійні діаграми напруг та струмів

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

141

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

A B C

A B C

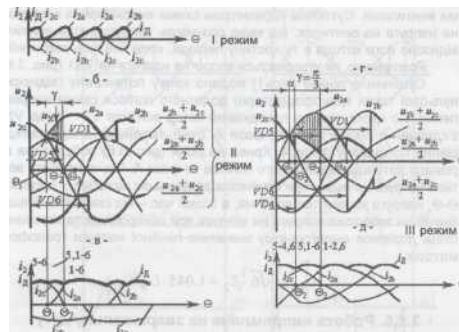
Робота випрямляча на зварювальну дугу

Роботу випрямляча з трифазною мостовою схемою випрямлення на зварювальну дугу проілюстровано на рис. 3.7. При цьому опір фази трансформатора $X = X_l + X_2$, де X_l - наведений індуктивний опір первинної обмотки до вторинної; а X_2 - індуктивний опір вторинної обмотки трансформатора. У режимі неробочого ходу такий випрямляч працює так само, як і на активне навантаження, тому $u = u_{20} = 2,34u_2$.

При навантаженні можливі три режими роботи.

У I режимі при високій напрузі дуги U_d запалювання відбувається тільки при перевищенні випрямленою напругою напруги дуги ($U_d > U_{\text{зв}}$). У кожний момент часу струм протікає по двох вентильях або зовсім відсутній (рис. 3.7а). Коливання струму при цьому значні. Якщо індуктивний опір трансформатора великий, то горіння дуги може відбуватися без переривів.

Двовентильний режим (режим I) спостерігається при $U_d = (0,95 - 1,0)u_{20}$ і при зварюванні практично не зустрічається.



148

Рис. 3.7. Робота випрямляча із трифазною мостовою схемою випрямлення.

Осцилограми струмів у I режимі (а), напруги і струмів у II режимі (б, в),
напруги і струмів у III режимі (г, д)

При зниженні напруги дуги і збільшенні струму навантаження випрямляч переходить у II режим роботи, при якому $U_d = (0,7 - 0,9)U_x$.

При роботі в цьому режимі у разі, якби обмотки трансформатора не мали індуктивності розсіювання, то у момент θ_1 струм з фази С миттєво перейшов би на фазу А, яка має більш високий потенціал, а вентиль VD5 закрився б одразу після

відкриття VD^* (рис. 3.76, в). Однак трансформатор має певну індуктивність, і тому струм не може миттєво зростати у фазі A і зникнути у фазі C . Отож в інтервалі $0_{\Gamma}..0_2$ одночасно працюватимуть вентилі $VU1$ та $VD5$. При цьому в $VD5$ струм i_{2c} буде спадати від i_d до 0, а у вентилі VD^* струм i_{2a} зростатиме від 0 до i_d (рис. 3.7в). Такий процес називається затягнутою комутацією, а кут $\gamma = \alpha_2 - 0$, - кутом комутації. В інтервалі $\alpha_{\Gamma}..0_2$ працюють три вентилі $VD5$, VD^* , $VD6$, а з моменту α_2 будуть працювати тільки два вентилі $VD1$ та $VD6$. Таким чином, II режим характерний позмінною дво- тривентильною роботою випрямляча. В інтервалі комутації потенціал позитивного полюса випрямного блоку має середнє значення $(i_{2a} + i_{2c}) / 2$ між потенціалами фаз A та C , тому випрямлена напруга при затягнутій комутації є меншою, ніж U_{BC}^{ABC} при миттєвій на величину i_x (рис. 3.76). Втрати напруги i_x викликані появою проти ЕРС у комутуваних вторинних обмотках, коли струм у них зростає. Ці втрати особливо великі при значному індуктивному опорі фаз трансформатора.

Зі зростанням середнього значення випрямленого струму i_d збільшується інтервал комутації «у», а отже, і втрати напруги m_x . Тому випрямлена напруга U_B знижується, тобто зовнішня характеристика при роботі випрямляча в режимі II спадна внаслідок значних втрат напруги при затягнутій комутації, які викликані високим індуктивним опором обмоток трансформатора.

При подальшому зниженні напруги на дузі, коли $C/d = (0—0,7)t/20$, випрямляч переходить у III режим роботи. У цьому випадку кут «у» досягає величини $\pi/3$ і потім залишається постійним, але при цьому затримується початок комутації на кут «а» (рис. 3.7г). Вентиль $MD1$ у такому разі починає пропускати струм не в момент α , як це було в режимі II, а в момент α_2 , і пояснюється це тим, що до моменту α_2 ще проходить комутація в анодній групі з вентиля $VD4$ на вентиль $VD6$. Через цю причину потенціал анода $VD1$ дорівнює потенціалу катода $VD4$ (вентилі підключені до однієї фази) і змінюється не за кривою фазної напруги m_{2a} , а за кривою $(m_{2a} + m_{2b})/2$. Отже, потенціал анода $VD1$ в інтервалі $\alpha_{\Gamma}.. \alpha_2$ нижчий, ніж потенціал вентиля $VD5$ (крива u_{2c}), і комутація струму з вентиля $VD5$ на $VD1$ неможлива. Комутація з $VD5$ на $VD1$ починається тільки після закінчення

комутації в анодній групі з $VD4$ на $VD6$ і закінчується в момент $\odot_3$, тому момент початку комутації в одній групі вентилів збігається з кінцем комутації в іншій. Таке позмінне чергування при 6-ти комутаціях за період можливе тільки в тому випадку, коли кут комутації дорівнює $\pi/3$, тобто в режимі III можлива тільки тривентильна робота випрямляча.

ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ, ЯКІ КЕРУЮТЬСЯ ТРАНСФОРМАТОРОМ

Такі випрямлячі призначені для механізованого зварювання у вуглекислому газі, де дуга має наростальну вольт-амперну характеристику. Для забезпечення стабільності процесу і стійкої роботи енергетичної системи зовнішня характеристика випрямляча має бути жорсткою або пологоспадною. Регулювання вихідної напруги у випрямлячах зі ступінчастою зміною напруги здійснюється за рахунок секціонування первинних обмоток трифазного трансформатора з нормальним магнітним розсіянням, тобто зміною коефіцієнта трансформації. Так, наприклад, при незмінній напрузі мережі U_1 вторинна напруга u_2 буде визначатись співвідношенням числа витків первинних і вторинних обмоток трансформатора. Основними вузлами таких випрямлячів поряд з трансформатором є випрямний діодний блок, зібраний за трифазною мостовою схемою випрямлення (рідше - за шестифазною зі зрівняльним реактором) і згладжувальний лінійний дросель. Кожна із трьох первинних обмоток складається із секцій з виведеними відпайками для регулювання напруги. Зміна числа витків первинних обмоток здійснюється з допомогою триполюсних перемикачів або трифазних контакторів. Таких перемикачів може бути декілька, тоді загальне число ступенів регулювання визначається множенням числа ступенів окремих перемикачів $n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$. Іноді застосовується секціонування вторинної обмотки.

Конструкція випрямлячів із секціонуванням обмоток проста і надійна, а тому вона отримала застосування в таких зварювальних випрямлячах, як ВС-300, ВС-400, ВС-500, ВС-600М.

До недоліків можна віднести неможливість регулювання вихідної напруги під

навантаженням і відсутність її стабілізації при зварюванні в умовах коливань напруги мережі живлення. Крім цього, зміна числа витків $\backslash U$, викликає збільшення магнітного розсіювання, що впливає на нахил зовнішніх характеристик.

Зварювальні властивості випрямлячів задовольняють вимогам процесу. Напруга неробочого ходу невелика і за своїм значенням. близька до робочої напруги. При низьких напругах дуги перенесення електродного металу відбувається з короткими замиканнями, при цьому швидкість зростання струму короткого замикання сягає 750 кА/с, а коефіцієнт розбризкування електродного металу - до 20 %. Зниження розбризкувань до 10 % і швидкості наростання струму досягається шляхом вмикання у коло випрямленого струму загладжувального дроселя з індуктивністю 0,2...0,5 мГн^{А В С}, використанням схем випрямлення з більш низькою пульсацією випрямленої напруги.

Два перемикачі в колі первинних обмоток створюють 32 ступеня регулювання вихідної напруги (4 ступеня грубого настроювання і 8 - точного).

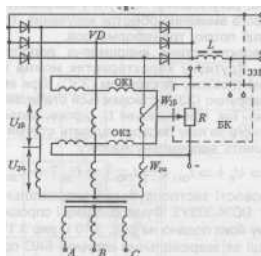
Крім того, грубе регулювання може здійснюватися ще і секціонуванням вторинної обмотки, що дає 2 ступеня настроювання режиму за рахунок перемикання обмоток трансформатора в положення «зірка» або «трикутник». Згладжувальний дросель має 2 діапазони зміни індуктивності. У схемі випрямлення, зібраній за трифазною мостовою схемою, може бути передбачений додатковий діод, при вмиканні якого підвищується пульсація напруги. Це дає можливість використовувати випрямляч для імпульсно-дугового зварювання.

Зварювальний випрямляч, який керується трансформатором зі складною магнітною комутацією

Такий випрямляч (рис. 3.9а) призначений для механізованого зварювання у вуглекислому газі і містить трансформатор зі складною магнітною комутацією (рис. 3.9б).

Магнітопровід трансформатора має середнє СЯ і верхнє ВЯ ярма, магнітний стан яких може змінюватись за рахунок підмагнічування їх постійним струмом, який протікає по обмоткам керування ОК1 і ОК2. У вікні трансформатора під середнім ярмом розміщені котушки первинних обмоток і основна нерегульована частина вторинних обмоток $I\mathbb{X}_{2a}$. Регульована менша частина вторинних обмоток у вигляді обмоток $\mathbb{X}_{2p}$ розташована між середнім та верхнім ярмами і з'єднана з основними вторинними обмотками послідовно і узгоджено. Співвідношення регульованих та нерегульованих частин вторинних обмоток забезпечує заданий діапазон регулювання вихідної напруги.

При підмагнічуванні верхнього ярма магнітним потоком обмотки ОК1 і насиченні його магнітний потік трансформатора Φ_T майже повністю замикається через середнє ярмо, пронизуючи основні нерегульовані обмотки утворюючи в них ЕРС. В обмотках $I\mathbb{X}_{2p}$ ЕРС не утворюється, і на випрямний блок подається мінімальна напруга. У випадку підмагнічування середнього ярма обмоткою ОК2 його магнітний опір $\mathbb{Y}$ зростає, і потік Φ_T відхиляється до верхнього ярма, пронизуючи обмотки $I\mathbb{U}_{2a}$ і $I\mathbb{I}_{2p}$. При цьому напруга трансформатора зростає, а випрямлена напруга неробочого ходу випрямляча збільшується, тобто:



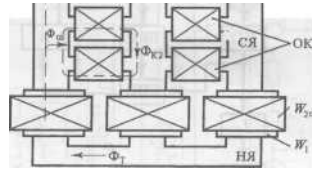


Рис. 3.9. Спрощена електрична схема випрямляча, керованого трансформатором із магнітною комутацією (а), і конструкція трансформатора (б)

Таким чином, регулювання напруги у випрямлячі здійснюється шляхом почергового вмикання обмоток керування, тобто за рахунок магнітної комутації потоку трансформатора.

Зовнішні характеристики випрямляча ^{АВС} пологоспадні з рдж=- 0,03...-0,06 В/А. Крутизну характеристик можна змінювати при введенні зворотного зв'язку за струмом (ЗЗС). При введенні зворотного зв'язку за напругою (ЗЗН) створюється стабілізація вихідної напруги випрямляча. Так, при зниженні Ц і, отже, випрямленій напрузі u_{ϕ} схема зворотного зв'язку перерозподілить струми в обмотках керування та відновить випрямлену напругу.

$$u, \quad i \Rightarrow u_{\phi} \Rightarrow I_{OK1} \Rightarrow I_{OK2} \Rightarrow u_{2p} \Rightarrow u_{20} \Rightarrow u_{\phi} \Rightarrow T$$

У промисловості застосовувався зварювальний випрямляч конструкції типу ВСЖ-ЗОЗУЗ. Функціональну і спрощену принципову електричну схему його подано на рис. 3.10 і рис 3.11.

Блок корекції за зварювальним струмом БКС призначений для зміни нахилу зовнішніх характеристик, а блок порівняння напруг БПН - для порівняння заданої напруги з фактичною на виводах випрямляча, а також для стабілізації напруги, яка подається на обмотки керування.

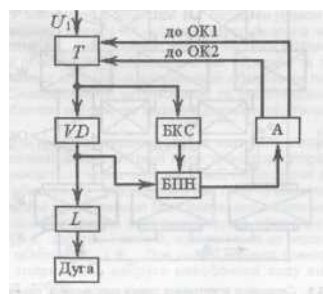


Рис. 3.10. Функціональна схема випрямляча ВСЖ-303

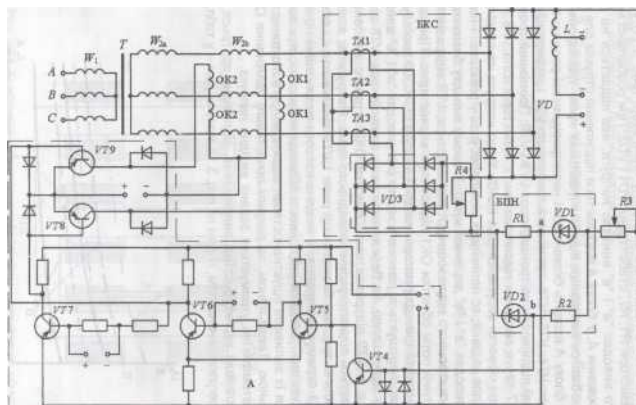


Рис. 3.11. Принципова електрична
схема випрямляча ВСЖ-303

А В С

Блок БПН є нелінійним мостом, у плечі якого (рис. 3.11) увімкнені резистори Я1, Я2, стабілітрони УО1 і 1/02. При розбалансі мосту на його виводах “а” і “в” виникає напруга, яка подається на блок підсилювання А. У блоці А відбувається підсилення струмів для живлення обмоток керування підмагнічувальних ярм трансформатора. До блоку А входять безконтактні напівпровідникові реле на транзисторах УТ4, УТ5, УТ6, проміжний транзистор УТ7 і диференційний вихідний підсилювач на транзисторах УТ8 і УТ9. Проміжний транзистор УТ7 керує вихідним підсилювачем. У колекторні кола 1/Т8 і УТ9 увімкнені обмотки керування ОК1 і ОК2. Якщо напруга на вході БПН відповідає заданій, то нелінійний міст перебуває у рівновазі, і напруга на виводах “а” і “в” дорівнює нулю. У цьому випадку безконтактні реле електронного підсилювача А вимикаються, УТ8 відкривається, і магнітний потік обмотки ОК1 підмагнічує верхнє ярмо. При цьому фазна напруга трансформатора і вихідна напруга ВСЖ-303 зменшується. Якщо порушується рівновага мосту (на виводах “а” і “в” виникає різниця потенціалів), то безконтактні реле вимикаються, УТ8 закривається, а УТ9 відкривається. Обмотка ОК2 отримує живлення, і відбувається підмагнічування середнього ярма. Напруга на виводах випрямляча зростає, безконтактні реле і УТ8 вимикаються, обмотка ОК1 отримує живлення, і вихідна напруга випрямляча починає зменшуватись. Завдяки інерційності обмоток

керування, яка визначається їх великими індуктивностями, задана напруга підтримується стабільною. Таким чином, за рахунок почергового увімкнення ОК1 і ОК2 автоматично утримується задана вихідна напруга.

Зовнішні характеристики випрямляча, відповідно до трьох ступенів регулювання напруги, подані на рис. 3.12, технічні дані - у табл. 3.2.



Рис. 3.12. Зовнішні характеристики випрямляча ВСЖ-303

Ступінчасте регулювання напруги здійснюється секціонуванням за рахунок відводів у вторинній обмотці, плавне - в межах кожного ступеня з допомогою потенціометра [33].

3.2.3. Зварювальні випрямлячі з рухомими обмотками

Випрямлячі з рухомими обмотками призначені для ручного дугового зварювання, різання і наплавлення. Вони можуть застосовуватись і для механізованого зварювання під флюсом. До складу випрямлячів входить трифазний зварювальний трансформатор з розвиненим магнітним розсіянням, випрямний блок, зібраний за трифазною мостовою схемою випрямлення на кремнієвих вентилях, пускова і захисна апаратура. Конструкція осердя та розміщення обмоток на ньому подані на рис. 3.13.

Обмотки трансформатора мають високу індуктивність розсіяння за рахунок потоків, що утворюються внаслідок рознесення первинних і вторинних обмоток на визначену відстань одна від одної. Завдяки збільшеному магнітному розсіянню трансформатора забезпечується утворення спадної зовнішньої характеристики випрямляча. Силовий трансформатор має три нерухомі вторинні обмотки, закріплені біля верхнього ярма магнітопроводу, і три рухомі первинні обмотки, які встановлені в обоймі і переміщуються вертикально вручну з допомогою ходового гвинта.

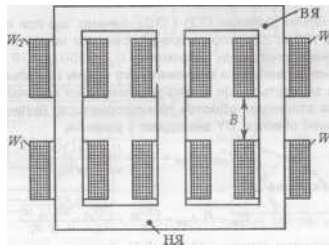


Рис. 3.13. Конструкція осердя трансформатора і розміщення обмоток випрямляча з рухомими котушками

A B C

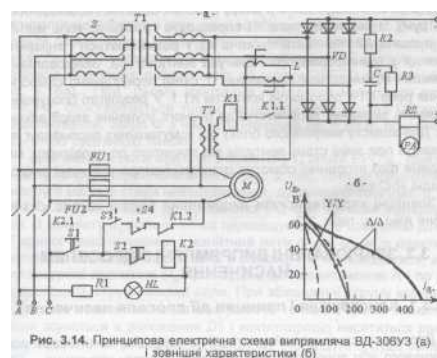
Плавне регулювання зварювального струму здійснюється за рахунок зміни індуктивного опору трансформатора X_T шляхом переміщення рухомих котушок, тобто зміни відстані між обмотками. При зменшенні відстані між ними зменшуються потоки розсіяння і опір X_T , відповідно зварювальний струм збільшується, і навпаки. Кратність регулювання за струмом невелика і досягає порядку 3. Для підвищення величини $I_{mA} I_{wIN}$ доводиться застосовувати ступінчасте регулювання струму за рахунок перемикання обмоток в положення У/У або А/А. У протилежному випадку, довелося б значно збільшувати хід рухомих котушок, що призвело б до збільшення масо-габаритних показників трансформатора. Для отримання діапазону малих струмів первинні і вторинні обмотки перемикаються в положення «зірка- зірка», а для отримання великих струмів - «трикутник-трикутник». При цьому різко змінюється індуктивний опір трансформатора при незмінній напрузі неробочого ходу

Аналізуючи рівняння (3.2) і (3.3), бачимо, що при перемиканні обмоток з У/У на А/А напруга трансформатора не змінюється, тому і напруга неробочого ходу випрямляча $U_{20} = \frac{1}{\sqrt{3}} U^{\wedge} \{WJW_X\}$ не зазнає змін. Водночас, величина зварювального струму і загальний опір випрямляча змінюється. Це можна розглянути на прикладі короткого замикання вторинних обмоток трансформатора.

Загальна кратність плавно-ступінчастого регулювання досягає порядку 7, і тому такі способи регулювання, як перемикання схеми на Y/Δ і Д/У або секціонування обмоток не використовуються внаслідок їх малої ефективності.

Перевагою таких випрямлячів є простота, низька вартість виготовлення, високі зварювальні властивості. Вони мають велику розривну довжину, добре запалювання і стійкість горіння дуги. Завдяки наявності крутоспадної характеристики струм при коливаннях дуги досить стабільний. При значній індуктивності трансформатора піковий струм короткого замикання при великокрапельному переносі перевищує зварювальний струм не більш ніж на 50 %, тому коефіцієнт розбризкувань $\frac{ABC}{\text{незначний}}$ і становить максимум 3,5 %. До недоліків випрямляча можна віднести відсутність стабілізації зварювального струму при коливаннях напруги мережі.

У промисловості широко застосовуються випрямлячі з рухомими обмотками типу ВД-201УЗ, ВД-301УЗ, ВД-306УЗ, ВД-401УЗ. Принципову спрощену електричну схему ВД-306УЗ подано на рис. 3.14а.



Випрямний блок УО виконаний за трифазною мостовою схемою випрямлення і складається із 6 кремнієвих вентилів В200 класу 3. Нормальна робота схеми повітряної вентиляції контролюється повітряним реле - “парусом” 83. Перемикання діапазонів зварювального струму відбувається перемикачем в. Випрямляч має захист, який вимикає його від мережі при виході з ладу одного з вентилів випрямного блоку або при пробії на корпус вторинної обмотки трансформатора. До складу захисту входить магнітний підсилювач і, поляри-

зоване реле /01 з контактами /C1.1 та /(1.2, допоміжний трансформатор 72, який живить обмотки підсилювача напругою 36 В. Магнітний підсилювач має два осердя тороїдального типу, дві робочі обмотки які увімкнені в коло реле /01. Обмоткою керування є фазні проводи трансформатора, пропущені через вікна магнітопроводу. У випадку аварії відбувається коротке замикання всередині випрямляча, різко зростає зварювальний струм і в фазних проводах у вікні осердя силового трансформатора з'являється постійна складова струму. Це приводить до насичення магнітопроводу магнітного підсилювача, різкого зниження індуктивного опору робочих обмоток і підвищення в них струму. В результаті реле /01 спрацьовує і розмикає коло магнітного пускача $K2$. Контакти пускача /(2.1 розмикаються і знімають живлення ^{А В С} з трансформатора і двигуна вентилятора. Зварювальний випрямляч відмикається від мережі. У схемі передбачено самоблокування реле /C1 з допомогою контактів /(1.1. У результаті блокування можливість вмикання випрямляча до повного усунення аварії виключена. Для захисту випрямного блоку від комутаційних перенапруг, які виникають при зміні стану вентилів від закритого до провідного, між виводами фаз вторинної обмотки трансформатора увімкнені захисні розрядні Я-С кола.

Зовнішні характеристики випрямляча подані на рис. 3.146, технічні дані - у табл. 32.

ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ З ДРОСЕЛЕМ НАСИЧЕННЯ

159

Конструкція і принцип дії дроселя насичення

Дросель насичення найпростішої конструкції з магнітопроводом стрижневого або тороїдального типів має обмотку керування - ОК, яка живиться постійним струмом, і робочу обмотку - РО, що живиться змінним струмом (рис. 3.15).

Принцип роботи дроселя насичення у півперіод, коли магнітні потоки Φ_k , утворені ОК і Φ_p , які утворюються обмоткою РО, співпадають за напрямком, наведений на рис. 3.15.



Рис. 3.15. Конструкція найпростішого дроселя насичення

Постійна намагнічувальна сила $I_k J_k$ обмотки ОК приводить магнітопровід дроселя у стан, який відображається точкою Д на ненасиченій ділянці кривої намагнічування. Під дією змінного струму робочої обмотки утворюється змінна намагнічувальна сила $I_d J_R$, яка за півперіод переміщує робочу точку по шляху йЕРЕО (тонка лінія на рис. 3.16а). При цьому зростання сумарного магнітного потоку $\Phi = \Phi_k + \Phi_R$ спостерігається тільки на ненасиченій ділянці ОЕ кривої намагнічування. Зміна Φ з часом в інтервалі від 0 до а, показана на рис. 3.16б суцільною лінією.

Цей змінний потік індуктує в обмотці РО проти ЕРС $\mathcal{E}_2$ приблизно рівну напрузі мережі живлення u_c (рис. 3.16в). Тому на навантаженні Я напруга мала, а струм навантаження I_R дуже незначний (рис. 3.16г), тобто в інтервалі від 0 до а, обмотка РО має великий індуктивний опір. З моменту а, робоча точка переміщується по насиченій ділянці ЕР кривої намагнічування і магнітний потік Φ від а, до п практично постійний, відповідно проти ЕРС в обмотці РО не наводиться, а напруга мережі живлення $u_{жс}$ прикладена до навантаження Я і по ньому проходить струм великої сили. При збільшенні струму керування I_k дроселя насичення початкова робоча точка на кривій намагнічування зсунеться в положення 01 і магнітопровід насититься раніше (пунктирні лінії на рис. 3.16б). При цьому струм дуги I_d буде збільшуватись раніше, в момент а₂, тобто середній за період струм навантаження збільшується. Регулювання навантаження визначається величиною «а» - кутом керування, тому дросель насичення у колі змінного струму подібний до тиристора і його можна використовувати як для регулювання струму і напруги, так і для формування нахилу вольт-амперних характеристик. Якщо у дроселі передбачено зустрічний напрямок магнітних потоків обмоток ОК і РО, то він працює в режимі з компенсованими намагнічувальними силами. При цьому

формуються крутоспадні зовнішні характеристики з регулюванням їх нахилу.

Зварювальні випрямлячі на дроселях насичення не знайшли широкого застосування при зварюванні через великі масо-габаритні показники і вартість дроселей. Однак ряд джерел у вигляді випрямлячів з компенсованими намагнічувальними силами (ВД-502 УЗ) із самопідмагнічуванням (ВДГ-3ОЗУЗ) у зварювальній техніці мають застосування.

А В С

Зварювальний випрямляч із самопідмагнічуванням із жорсткою ВАХ

Спрощену електричну схему такого випрямляча подано на рис. 3.17.

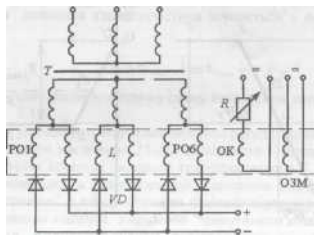


Рис. 3.17. Спрощена електрична схема випрямляча, керованого дроселем насичення із самопідмагнічуванням

А В С

У вторинну обмотку зварювального трансформатора Т увімкнені робочі обмотки P01-P06 трифазного дроселя насичення І. Дросель виконаний на шести стрічкових розрізних осердях, на кожному з яких розміщені обмотки РО. З'єднані попарно осердя охоплені котушками обмоток керування ОК і зміщення ОЗМ, магніторушійні сили яких направлені назустріч. У кола обмоток РО увімкнені силові вентиляції випрямного блоку УО. Така конструкція називається дроселем із самопідмагнічуванням або самонасиченням. Розглянемо магнітні процеси в одному з осердь дроселя, на обмотку РО якого подано максимальну напругу трансформатора (рис. 3.18а).

При роботі випрямляча в ABC режимі неробочого ходу утворюється намагнічувальна сила $I_K^{\wedge}$, яка відповідає точці Д кривої намагнічування, тобто осердя ненасичене.

У режимі навантаження намагнічувальні сили обмоток ОК і РО додаються. Намагнічувальна сила робочої обмотки $i^{\wedge}U_p$ при малих струмах навантаження незначна і робоча точка відповідно до сумарної намагнічувальної сили, пересуваючись по траєкторії ДЕД, залишається ліворуч від точки Е. Оскільки осердя дроселя в такому випадку не насичене, то при періодичній зміні робочого струму змінюється і магнітний потік в осерді, а в робочій обмотці наводиться проти ЕРС E_z . Зі зростанням зварювального струму середнє

A B C

значення ξ_d різко збільшується і тому зовнішня характеристика випрямляча на ділянці Д'Е' набуває крутоспадної форми (рис. 3.186).

При зварюванні на високих струмах осердя дроселя приходить у насичений стан праворуч від точки Е. У випадку періодичної зміни струму робоча точка пересувається по траєкторії ОЕРЕО, при цьому положення точки Р зсувається, але зміна потоку Φ і величина $E_{шax}$ залишаються сталими. Відповідно, напруга випрямляча $u_6 = u_{20} - E_{ши}^*$ також залишається сталою і зовнішня характеристика джерела формується жорсткою (ділянка ЕТ', рис. 3.186). Така ламана характеристика Д'ЕТ' отримується завдяки дроселю насичення із самопідмагнічуванням і має добре застосування при зварюванні у вуглекислому газі, оскільки підвищена напруга неробочого ходу сприяє надійному запалюванню дуги, а ділянка жорсткої характеристики - процесу саморегулювання.

Однак процес самопідмагнічування має і негативний бік, оскільки скорочується діапазон регулювання напруги. Для отримання малих напруг необхідно змінювати напрямок струму, що пов'язано з деякими труднощами. Тому, для усунення цього недоліку, у випрямлячах застосовується обмотка зміщення ОЗМ, яка створює в осерді магнітний потік, направлений назустріч потокам обмоток ОК і РО. Плавне регулювання напруги джерела відбувається за рахунок зміни струму I_k в обмотці керування.

Плавне регулювання напруги виконується регулятором Я?1 у колі обмотки ОК дроселя насичення 11-7,6, ступінчасте - шляхом перемикання первинних обмоток силового трансформатора Г, тобто за рахунок зміни коефіцієнта трансформації. З'єднанню фаз первинних обмоток "трикутником" з використанням відводів відповідає перший ступінь регулювання напруги, з'єднанню "трикутником" без відводів

- другий ступінь, з'єднанню "зіркою" з відводами - третій ступінь (мінімальна напруга). Перемикання виконується трифазним пакетно-кулачковим перемикачем

в. Конструкція трифазного дроселя на-

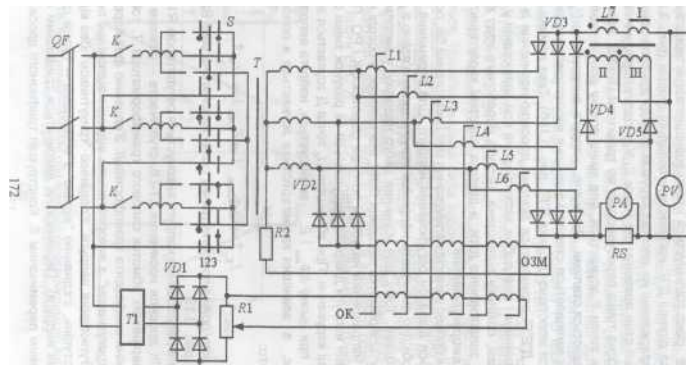


Рис. 3.19. Спрощена принципова
електрична схема випрямляча ВДГ-303УЗ

сичення аналогічна наведеній на рис. 3.17. Обмотка керування ОК дроселя живиться від перекомпенсованого ферорезонансного стабілізатора напруги через випрямний блок VD1 і змінний резистор R1. При підвищенні напруги мережі вихідна напруга стабілізатора зменшується і навпаки, що дозволяє здійснити часткову компенсацію робочої напруги при коливаннях мережі. Обмотка зміщення ОЗМ живиться від вторинної обмотки силового трансформатора через випрямний блок VD2 і нерегульований резистор R2. Дросель L7 броньового типу з повітряним проміжком призначений для зниження розбризкувань електродного металу і підвищення стабілізації зварювального процесу, забезпечує автоматичне безступінчасте регулювання індуктивності залежно від режиму зварювання. Він має основну робочу обмотку I, увімкнену послідовно у зварювальне коло, і дві допоміжні обмотки керування II і III, увімкнені через вентиля VD4 і VD5. Загальна точка обмоток II і III увімкнена до затискача позитивної полярності. При зварюванні на робочій обмотці дроселя виділяється змінна складова випрямленої напруги з частотою 300 Гц, яка індуктується в двох обмотках керування і випрямляється однофазною двопів-періодною схемою, утвореною обмотками і діодами. Випрямлений струм протікає по обмотках керування і замикається через дугу, змінюючи індуктивність дроселя. При зварюванні в режимах малих струмів зустрічна напруга дуги невелика і струм, який протікає в обмотках II і III збільшується, а індуктивність дроселя 17 має мале значення. На великих режимах збільшується запірна робоча напруга дуги, струм у допоміжних обмотках

зменшується, а індуктивність дроселя зростає.

Зварювальні властивості випрямляча досить високі. Напруга неробочого ходу значно вища від напруги навантаження, що сприяє надійному початковому

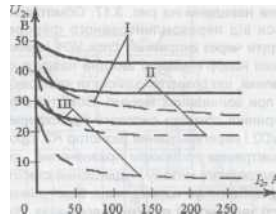


Рис. 3.20. Зовнішні характеристики випрямляча ВДГ-ЗОЗУЗ

запалюванню дуги. Стійке горіння відбувається в усьому діапазоні регулювання, за винятком найнижчої напруги. У цьому випадку, як і при фазовому регулюванні, спостерігається режим ^{А В С} переривчастого струму. Для усунення такого дефекту глибину плавного регулювання знижують, доповнюючи його ступінчастим. Зовнішні характеристики випрямляча ВДГ-ЗОЗУЗ наведені на рис. 3.20, технічні дані у табл. 3.2.

ЛЕКЦІЯ 8. ОДНОПОСТОВІ ТИРИСТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

Застосування силових тиристорів у зварювальних випрямлячах створило умови розробки і виробництва якісно нових джерел живлення як для дугового, так і для спеціалізованих способів зварювання. Поєднуючи в собі функції випрямлення і регулювання, тиристорний регулятор дає можливість вирішувати завдання щодо створення випрямлячів із зовнішньою характеристикою різної форми, стабілізації параметрів зварювальних режимів при коливаннях напруги мережі, а також дистанційного і програмного керування процесу зварювання.

У тиристорних випрямлячах, залежно від типорозміру й економічно обґрунтованого типу тиристора, застосовуються різні схеми випрямлення. Більш доцільні трифазна мостова і шестифазна кільцева зі зрівняльним реактором (дроселем) схеми, які забезпечують мінімальні пульсації зварювального струму (рис. 3.21).

Фазне регулювання режиму в тиристорному випрямлячі

Розглянемо роботу трифазної мостової схеми (рис. 3.21а) за умови миттєвої комутації, тобто при малому опорі фази трансформатора (рис. 3.22)

У початковий момент часу 0_0 (рис. 3.22а) струм пропускають вентиля $VS5$ в катодній групі, оскільки потенціал його анода має найбільше позитивне значення u_{2c} і $VS6$ в анодній групі (потенціал його катода має найбільше негативне значення u_{2b}). Інші вентиля струму не пропускають. У такій схемі з некерованими вентилями комутація з $VD5$ на VD'_{ABC} відбувалась би в момент $0_{,=30}$ град., тобто коли фазна напруга u_{2a} стала більша від u_{2c} . У тиристорному випрямлячі в цей момент виконується тільки перша умова відкривання $VS1$, коли його анодна напруга стала максимально позитивною серед вентилів катодної групи, але відкриття тиристора відбудеться імпульсом, який подається на керуючий електрод $VS1$ в момент часу, котрий визначається системою керування. До тих пір у катодній групі буде працювати $VS5$, хоча потенціал його анода нижчий, ніж у $VS1$. Нехай у момент 0_2 відкриється $VS1$, при цьому закриється $VS5$. Момент перетину фазних ЕРС, відповідний комутації вентилів ($0_{,=30}$ град.), називається моментом природної комутації, а кут - кутом

керування тиристора. Моменти відкриття вентилів катодної групи в порядку $V_{S1}-V_{S3}-V_{S5}-V_{S1}...$ зсунуті один відносно іншого на 120 електричних градусів, як і фазні напруги u_{2a} , u_{2b} , u_{2c} . В анодній групі моменти відкриття їх зсунуті також на 120 електричних градусів, а відносно моментів відкриття вентилів тих самих фаз

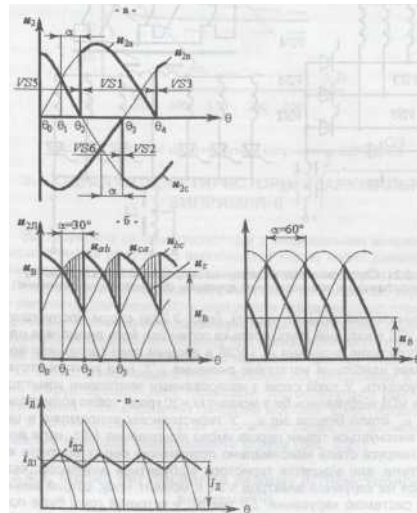


Рис. 3.22. Криві вторинних фазних напруг (а), вторинних лінійних і випрямлених напруг (б), випрямленого і згладженого струму (в) при роботі випрямляча із трифазною схемою випрямлення

катодної групи

на 180 град. Таким чином вентиля будуть вмикатися в порядку $V_{S1}-V_{S2}-V_{S3}-V_{S4}-V_{S5}-V_{S6}-V_{S1}$ і т. д. з однаковими кутами відкриття відносно моментів їх природної комутації. На (рис. 3.22а) товстою лінією показана зміна потенціалу позитивної (вище осі абсцис) і негативної клем випрямляча (нижче осі абсцис). Поточне значення випрямленої напруги u_B , яке є різницею цих потенціалів, показане на рис. 3.22б. В інтервалі $0^\circ, -0^\circ$, величина u_B менша, ніж у некерованого випрямляча, тому і середнє U_B керованого випрямляча менше, ніж у некерованого на величину, пропорційну площі заштрихованої ділянки. При кутах відкриття “а” від 0 до 60 град, крива випрямленої напруги безперервна і її середня величина визначається формулою $U_B = 1.35 \cdot U_{in} \cdot (0.5 - \cos \alpha)$. Із збільшенням кута відкриття “а” втрати напруги U_B пропорційні площі заштрихованої ділянки, збільшуються, а величина U_B спадає, тобто:

$$at \Rightarrow U_z \hat{t} \Rightarrow U_B l$$

Поряд з перевагами фазне регулювання має і недоліки, головним серед яких є наявність пульсацій випрямленої напруги. При $\alpha > 60^\circ$ град, у кривій випрямленої напруги з'являються розриви (рис. 3.22б). Для зниження пульсацій в тиристорних випрямлячах застосовують згладжувальний дросель, іноді зі зворотним діодом VD (рис. 3.21а). В ті моменти, коли миттєве значення випрямленої напруги u_0 зменшується, зварювальний струм підтримується енергією, що накопичена дроселем у попередній проміжок часу. Застосування VD корисне при глибокому регулюванні ($\alpha > 60^\circ$ град.), що дозволяє дроселю підтримувати струм I_{D2} в моменти, коли тиристори не пропускають струм I_{D1} . Крива струму при цьому згладжується більше (рис. 3.22в).

А В С

Зниження пульсацій можна також отримати за рахунок обмеження глибини фазового регулювання, наприклад до $\alpha < 60^\circ$ град. Щоб кратність регулювання напруги при цьому не знизилась, фазове (плавне) регулювання доповнюють ступінчастим, перемикаючи первинні обмотки трансформатора в положення “зірка” або “трикутник”. Стійке горіння зварювальної дуги при глибокому регулюванні може досягатись за рахунок блоку підживлення, який складається з трансформатора і випрямного блоку. Струм допоміжного джерела заповнює паузи у кривій струму зварювального випрямляча.

Формування зовнішніх характеристик в тиристорних випрямлячах

Зовнішні характеристики тиристорного випрямляча можуть формуватись природним шляхом за рахунок індуктивного опору трансформатора X_T або штучним - за рахунок введення зворотних зв'язків за струмом або напругою.

Розглянемо принципи формування природних зовнішніх характеристик на прикладі роботи тиристорного випрямляча із трифазною мостовою схемою, коли опір фази трансформатора X не дорівнює 0. У цьому випадку необхідно враховувати затягнуту комутацію. На рис. 3.23 наведена осцилограма напруг при затягнутій комутації тиристорів.

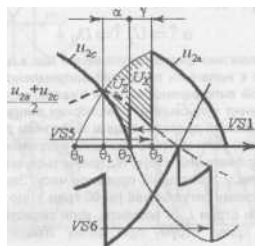


Рис. 3.23. Осцилограма напруг тиристорного випрямляча при затягнутій комутації

Як і на (рис. 3.22) в інтервалі $\Theta_0 - \Theta_2$ працюють $1/85$ і $1/56$, і втрати напруги u_c в інтервалі $\Theta_0 - \Theta_2$ викликані затримкою вмикання тиристора $U/51$ на кут "а". На відміну від процесів, показаних на рис. 3.22 з моменту 0_2 вмикання $V/51$ тиристор $V/85$ не вимикається і продовжує працювати завдяки енергії, нагромадженій в індуктивності фази С. Тому в інтервалі "у" комутації від Θ_2 до Θ_3 в катодній групі одночасно працюють тиристори $1/85$ і $U/51$. На навантаження подається не u_{2a} , як при миттєвій комутації, а півсума потенціалів пов'язаних з ними фаз, тобто $(u_{2a} + u_{2c})/2$, що приводить до додаткових втрат напруги u_x . При збільшенні зварювального струму величини "у" і u_x зростають, а випрямлена напруга U_B спадає. Природна зовнішня характеристика тиристорного випрямляча при $X \neq 0$ спадна і може бути виражена рівнянням:

$u_B = u_{20} - u_x = 1.35 - u_{IL} \{W_2/W_x\} - \cos \alpha - (3/\pi) \cdot X \cdot I_d$ Втрата напруги u_c за рахунок затримки вмикання тиристорів на кут "а" визначається величиною $\cos \alpha$.

Крутоспадні характеристики створюються за рахунок великого опору трансформатора, жорсткі - за рахунок обмеження величини X . Для розгляду процесу формування штучних зовнішніх характеристик за рахунок зворотних зв'язків за струмом і напругою необхідно подати тиристорний випрямляч як замкнену систему автоматичного регулювання режимів зварювання. На рис. 3.24 наведена функціональна схема такого випрямляча, в якій напруга мережі перетворюється трансформатором з нормальним магнітним розсіянням в напругу, необхідну для зварювання.

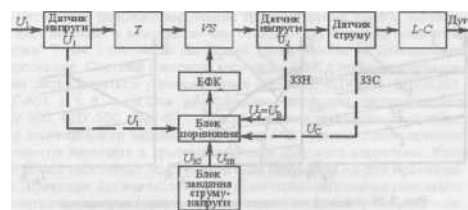


Рис. 3.24. Функціональна
схема тиристорного
випрямляча зі зворотними
зв'язками за струмом і
напругою

Після випрямлення тиристорним блоком і наступним згладжуванням фільтром, вихідна напруга подається на дугу. У схемі керування блок завдання струму БЗС або напруги БЗН формує сигнал завдання струму I_{zc} або напруги u_{zn} . Вони надходять через блок порівняння БП на блок фазового керування БФК, який і формує імпульси керування роботою силових тиристорів випрямляча. БП служить для порівняння сигналів завдання u_{zc} або u_{zn} із сигналами від датчиків випрямленої напруги, струму або напруги мережі.

Розглянемо процес формування жорстких характеристик у тиристорному випрямлячі. Випрямлена напруга u_v порівнюється в БП із заданим (опірним) I_{zn} і їх різниця $u_{zn} - u_v$ діє через БФК на кут відкриття тиристорів «а». У випадку підвищення напруги мережі або зниження навантаження, величина u_v підвищується. Внаслідок цього збільшується кут відкриття тиристорів, що

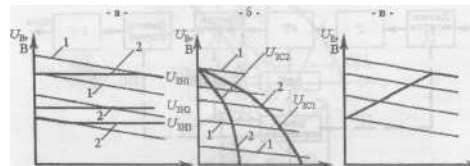
приводить до зменшення випрямленої напруги до початкової величини і, відповідно, стабілізації напруги, тобто:

$$u_{\theta} \dot{i} = (u_{3c} - u_{\theta}) I \Rightarrow \alpha \dot{i} \wedge u_{\theta} I$$

На рис. 3.25а показані природні пологоспадні-1 і штучні-2 зовнішні характеристики, положення яких залежить від значень E_{3c} .

Іноді обмежуються стабілізацією тільки при коливаннях напруги мережі. В

цьому випадку сигнал C_{3c} порівнюється з напругою мережі u_y



Ід. А Ід, А ід, А
А В С

Рис. 3.25. Зовнішні

характеристики

тиристорного випрямляча

Для отримання крутоспадної зовнішньої характеристики використовують дію від'ємного зворотного зв'язку за струмом, коли сигнал завдання u_{3c} порівнюється з напругою u_c датчика, пропорційною зварювальному струму I_d . При цьому із зменшенням струму кут відкриття тиристорів «а» зменшується, що приводить до зростання випрямленої напруги u_{θ} , тобто:

$$I_d \wedge C_{3c} \Rightarrow (C_{3c} - C_c) T \wedge \wedge_{\theta} T$$

173

На рис. 3.25б показано, як з природних пологоспадних-1 формуються штучні крутоспадні-2 характеристики.

При введенні позитивного зворотного зв'язку за струмом можна отримати пологонаростальні (оптимізовані) зовнішні характеристики, які можуть застосовуватися для механізованого зварювання у вуглекислому газі і сприяти зменшенню розбризкувань електродного металу (рис. 3.25в).

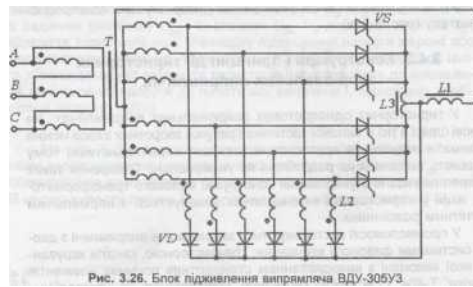
3.4.3. Конструкція і принцип дії тиристорних зварювальних випрямлячів

У тиристорних однопостових зварювальних випрямлячах на основі однієї й тієї ж силової частини за рахунок зворотних зв'язків можна отримати жорсткі та крутоспадні зовнішні характеристики, тому більшість випрямлячів розроблені як

універсальні. Створення таких джерел пов'язане з уніфікацією конструкції силового трансформатора, який у тиристорних випрямлячах виконується з нормальним магнітним розсіянням.

У промисловості застосовуються зварювальні випрямлячі з двома системами фазового керування: транзисторною, канали керування якої виконані з використанням стандартних логічних елементів “Логіка” Т-404, і системою керування, розробленою на інтегральних мікросхемах. Система фазового керування СФК з логічними елементами застосовується у випрямлячах ВДУ-305, ВДУ-504, ВДУ-1201, ВДГ-601 і т. д., а на базі інтегральних мікросхем застосовується ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-601. Обидві системи працюють за принципом вертикального керування^{А В С}. СФК на базі транзисторних логічних елементів виконана з трьома каналами фазового керування. Кожний канал забезпечує подачу імпульсів керування на два протифазних тиристори, що значно знижує їх асиметрію і забезпечує рівномірне завантаження тиристорів в усіх режимах, особливо у випрямлячів, побудованих за шестифазною схемою зі зрівняльним реактором (дроселем Кюблера). Подібна система фазового керування забезпечує отримання імпульсів шириною до 90 град. СФК спільно з колами зворотного зв'язку має достатню швидкодію і забезпечує необхідні зварювальні властивості випрямлячів.

Зварювальний випрямляч типу ВДУ-ЗОБУЗ призначений для ручного дугового зварювання штучними електродами, а також напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі і виконаний за шестифазною схемою зі зрівняльним реактором з використанням тиристорів типу Т-160. Широкі межі регулювання струму та напруги в одному діапазоні забезпечуються за рахунок використання блока підживлення, який складається із трифазного дроселя 12 з двома обмотками на кожній фазі та вентилів $\sqrt{2}$ (рис. 3.26).



Зовнішня характеристика підживлення - крутоспадна. Система імпульсно-фазового керування тиристорами виконана за “вертикальним” принципом і містить у собі три блоки фазового керування (БФК), кола завдання зварювального струму і напруги, кола зворотного зв’язку за струмом і напругою, перемикач виду характеристик. Робота протифазних тиристорів забезпечується від одного БФК, схема якого аналогічна БФК тиристорних зварювальних трансформаторів. Для отримання спадних зовнішніх характеристик застосовується зворотний зв’язок за струмом, датчиком якого є магнітний підсилювач. Зворотний зв’язок за напругою при роботі на жорстких ВАХ забезпечує стабілізацію вихідних параметрів при коливаннях напруги мережі і формування жорстких характеристик. Зовнішні характеристики випрямляча типу ВДУ-305 наведено на рис. 3.27.

Зварювальний випрямляч ВДУ-504УЗ призначений для ручного дугового зварювання, механізованого зварювання під флюсом і в середовищі захисних газів. Його спрощену принципову електричну схему наведено на рис. 3.28. Випрямляч зібраний за шестифазною схемою випрямлення зі зрівняльним реактором з використанням тиристорів типу Т-160.

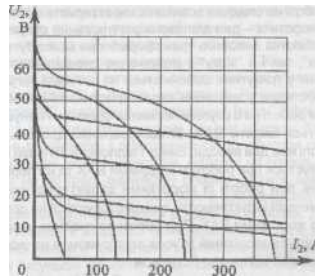


Рис. 3.27. Зовнішні характеристики випрямляча ВДУ-305УЭ

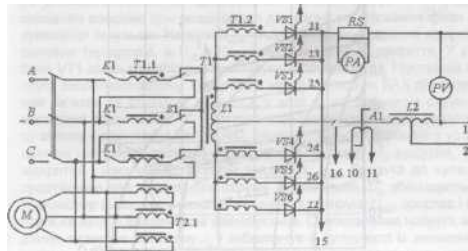


Рис. 3.28. Спрощена принципова електрична схема силової частини випрямляча ВДУ-504

При роботі на спадних зовнішніх характеристиках передбачений один, а на жорстких - два діапазони регулювання струму та напруги. Первинна обмотка силового трансформатора може бути з'єднана як у "трикутник", так і в "зірку" з допомогою спеціального перемикача в1. З'єднання у трикутник здійснюється на I ступені регулювання при роботі з жорсткими зовнішніми характеристиками і роботі зі спадними ВАХ. При роботі на II ступені первинна обмотка з'єднується в "зірку" у I формуються жорсткі ВАХ. Згладжувальний дросель L_2 у зварювальному колі має два виводи. Вивід 1 відповідає більшій індуктивності і використовується при роботі зі спадними ВАХ та на першому ступені регулювання при роботі із жорсткими характеристиками. Вивід 2 відповідає меншій індуктивності і використовується на другому ступені при роботі з жорсткими ВАХ. При роботі на спадних характеристиках використовується зворотний зв'язок за струмом, а на жорстких - зворотний зв'язок за напругою і струмом.

Зовнішні характеристики випрямляча ВДУ-504 наведено на рис. 3.29.

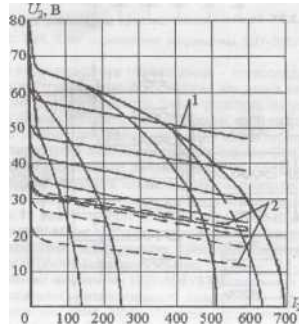


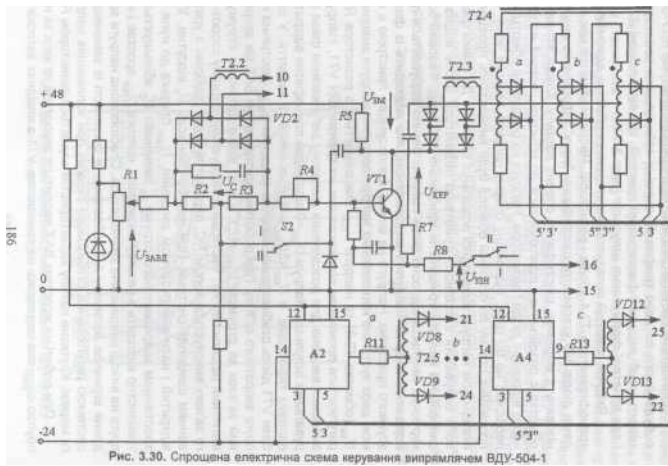
Рис. 3.29. Зовнішні характеристики випрямляча ВДУ-504УЗ. 1-діапазон великих струмів; 2-діапазон малих струмів

Триканальна система фазового керування випрямляча ВДУ-504, побудованого по двічі трифазній схемі зі зрівняльним реактором, містить у собі вхідний і фазозсувний пристрій, три підсилювачі $A2.-A4$ і три пристрої формування імпульсів (рис. 3.30).

Вхідний пристрій складається з вторинних обмоток допоміжного трансформатора 72.4, діодів і резисторів. Частини обмоток між анодами діодів UO утворюють шестифазну “зірку” і формують синхронізовану з мережею шестифазну опорну напругу. Кожна вторинна обмотка є роздільною і підключається до обмоток опорної напруги через відповідні діоди і резистори. Напруга на роздільній обмотці випереджає на 60 град, відповідну опорну напругу, завдяки чому час протікання струму по основній обмотці буде визначатись провідним півперіодом напруги відповідної роздільної обмотки. До схеми фазового керування з вхідного пристрою подаються шість відрізків синусоїдної напруги тривалістю приблизно 180 град. Фазовий зсув керуючих імпульсів відносно фази напруги мережі відбувається при порівнянні опорної напруги з випрямленою, яка надходить із фазо- зсувного пристрою. Напруга на виході фазозсувного пристрою є сумою двох зустрічно направлених напруг: постійної напруги зміщення $u_{ш}$ (обмотка 72.3) та напруги $C/_{КЕР}$, яка знімається з резистора HI і регулюється проміжним підсилювачем на транзисторі УТ1. Напруга зміщення введена для розширення діапазону регулювання фази керувальних імпульсів. Напрузі $\dot{I}/_{КЕР}=0$ відповідає повнофазне відкриття силових тиристорів, а $C/_{КЕР}=2C/_{ЗМ}$ - майже повне їх закриття. У колі бази УТ1 діють

стабілізована напруга завдання $U_{здв}$ і зустрічна напруга зворотного зв'язку. При роботі на крутоспадних ВАХ діє зворотний зв'язок за струмом $I_{ззс}$ (u_c), у колі якого датчиком струму є магнітний підсилювач АЛ. Часткове згладжування сигналу зворотного зв'язку виконується колом R/C , параметри якого підібрані з урахуванням швидкодії системи. При неробочому ході u_c відсутня, УГ1 відкритий і насичений струмом завдання, r близька до нуля. Зі зростанням зварювального струму I_d величина u_c збільшується, транзистор виходить з режиму насичення, напруга $u_{кЕР}$ зростає і напруга на виході випрямляча зменшується. Стабілізована напруга завдання визначає величину I і забезпечує в сукупності із замкненою системою регулювання стабілізацію режиму при коливаннях напруги мережі. Крутизна нахилу характеристик $U_{АВС}$ задається резистором Я4.

При роботі на жорстких ВАХ вводиться зворотний зв'язок за напругою $U_{ззн}$, яка надходить на транзистор УГ1 з вихідних затискачів



ABC

випрямляча (до згладжувального дроселя 12) через подільник Я6 та /?8. Одночасно з $C_{ззн}$ діє невеликий зворотний зв'язок за струмом, який знімається з і дозволяє задати необхідний нахил характеристик. Резистори /?3 (основний зворотний зв'язок за струмом) і Я4 при жорстких ВАХ зашунтовані. Зворотний зв'язок за напругою забезпечує і стабілізацію режиму при коливаннях напруги мережі. Негативний сигнал, що змінюється за фазою, з вихідного і фазозсувного пристроїв надходить на входи підсилювачів А2-А4 (затискачі 3, 5 рис. 3.30), які є підсилювальними елементами «Логіка» Т-404.

Враховуючи, що кожний підсилювач забезпечує роботу двох проти-тифазних тиристорів, на вхід підсилювача подаються два сигнали, утворені проти-тифазними опорними напругами. Вихідний ^{А В С} транзистор логічного елемента відкритий двічі за період, тривалість його відкриття залежить від напруги $u_{кЕР}$. Пристрій формування керувальних імпульсів містить у собі обмотки трансформатора 72.5, діоди ZDb-VD 13, струмообмежуючі резистори Я11-Я13 і транзисторний ключ, котрий використовується як вихідний транзистор підсилювача. Керування тиристорами здійснюється імпульсами, які є частиною півхвилі синусоїди. Для їх створення використовується двохпівперіодний випрямляч з нульовим виводом (вентилі М08, 1/09, обмотка трансформатора 72.5), навантаженням якого в фазних колах є керувальні електроди проти-тифазних тиристорів 1/51 та VЭ4 (рис. 3.31).

У діагональ випрямляча увімкнений емітерно-колекторний перехід вихідного транзистора логічного елемента і послідовно з ним струмообмежуючий резистор Я11. Фаза вмикання тиристорів визначається вихідним транзистором підсилювача. При подачі на один із входів логічного елемента негативного сигналу відбувається його перемикавання, відкривається вихідний транзистор, замикаючи коло навантаження двохпівперіодного випрямляча. Струм навантаження проходить через струмообмежуючий резистор і керувальний електрод тиристора.

Момент спрацьовування транзисторно-релейного елемента визначає фазу вмикання тиристорів у різні півперіоди напруги живлення. Напруга на обмотках трансформатора повинна знаходитись у фазі з анодною напругою свого

тиристора.

Зварювальні випрямлячі типу ВДУ-1201УЗ і ВДУ-1601УЗ призначені для зварювання в середовищі захисних газів та під флюсом, а також для зварювання порошковим дротом на автоматах із залежною та незалежною швидкістю подачі електродного дроту.

A B C



Рис. 3.31. Спрощена електрична схема пристрою формування керуючих імпульсів випрямляча ВДУ-504УЗ

Дворежимний випрямляч ВДГ-601УЗ використовується як джерело живлення у зварювальному автоматі типу ГІДГ-601 для зварювання у вуглекислому газі. Він забезпечує зварювання на режимах малих та великих струмів. Режим малих струмів використовується при вертикальному положенні швів та при зварюванні кратерів, режим великих струмів - ~~при~~ ^{для} горизонтальному положенні швів. При зварюванні на малих струмах швидкість подачі електродного дроту повинна бути меншою, а індуктивність лінійного дроселя у зварювальному колі - більшою. Функціональну схему випрямляча ВДГ-601 наведено на рис. 3.32.

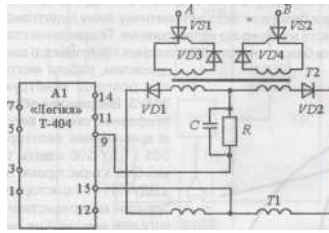
Т - трифазний силовий трансформатор з нормальним розсіянням, VS - тиристорний перетворювач, БФК - блок фазового керування тиристорами, 74 - допоміжний трансформатор, L - лінійний згладжувальний дросель, $U_2=f(I_2)$ - ВАХ трансформатора, $U=f(I)$ - ВАХ випрямляча.

Формування жорстких зовнішніх характеристик, регулювання та стабілізація випрямленої вихідної напруги здійснюються з допомогою блоку БФК за рахунок зворотного зв'язку за напругою. Блок фазового керування живиться від допоміжного трансформатора 71.

182

У зварювальних випрямлячах, побудованих за шестифазною кільцевою схемою випрямлення (ВДУ-1201, ВДГ-601), пристрій формування керуючих імпульсів має розподільний імпульсний трансформатор 72 (рис. 3.33).

**Рис. 3.32. Функціональна схема випрямляча із тиристорним керуванням
ВДГ-60УЗ**



**Рис. 3.33. Спрощена електрична схема пристрою формування керуючих
імпульсів випрямлячів ВДУ-1201УЗ і ВДГ-601УЗ**

Обмотки допоміжного трансформатора 71 і первинні обмотки 72 утворюють
двохпівперіодний випрямляч з нульовим виводом. До вторинних обмоток 72
увімкнені керувальні електроди протифазних тиристорів US1 і VS2.

Стійка робота кільцевої схеми випрямлення може забезпечуватись і при вузьких
імпульсах керування тиристорами. У зв'язку з цим для зниження потужності
керування в діагональ випрямного мосту увімкнені струмообмежуючий
конденсатор С і розрядний резистор R. Як ключ використовується вихідний
транзистор логічного елемента

підсилювача A . При відкритті транзистора коло випрямляча замикається, відбувається заряд конденсатора C й імпульси зарядного струму із вторинних обмоток трансформатора 72 подаються на керувальні електроди тиристорів.

Зварювальні випрямлячі типу ВДУ-505УЗ, ВДУ-506УЗ, ВДУ-601УЗ призначені для зварювання у вуглекислому газі та під флюсом, а також для ручного дугового зварювання штучними електродами. Вони забезпечують плавне регулювання робочої напруги і струму в одному діапазоні, можуть використовуватись для

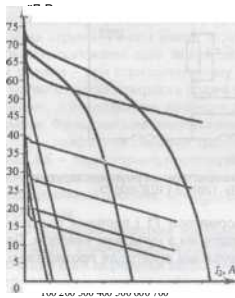


Рис. 3.34. Зовнішні характеристики випрямлячів ВДУ-505УЗ, ВДУ-506УЗ

спільної роботи з робото- технічними комплексами та автоматичними маніпуляторами, оскільки забезпечують надійне початкове запалювання дуги, стійкість процесу зварювання в усіх просторових положеннях. Випрямлячі дозволяють проводити

зварювання деталей малих товщин на струмах приблизно 60 А з використанням зварювальних дротів діаметром 1,0- 1,2 мм, а також безступінчасту автоматичну зміну індуктивності у зварювальному колі залежно від навантаження. Підвищення стабільності зварювання та безступінчасте регулювання індуктивності виконується дроселем, робота якого описана при розгляді конструкції ВДГ- 3ОЗУЗ. Випрямлячі зібрані за шестифазною схемою випрямлення зі зрівняльним реактором. ВДУ- 505 і ВДУ-506 мають тиристорний блок з тиристорами типу Т-160, а ВДУ-601 - з тиристорами ТЛ-250. Зовнішні характеристики ВДУ-505, ВДУ-506 наведені на рис. 3.34.

Аналогічний характер мають також характеристики випрямляча ВДУ-601, який є дворежимним джерелом живлення, що дозволяє проводити настроювання робочої напруги на кожен режим з допомогою двох окремих потенціометрів. Перемикання режимів здійснюється з пульта дистанційного керування півавтомата. Система керування зварювальних

випрямлячів типу ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-601 виконана з використанням інтегральних мікросхем і побудована також на зміні кута керування тиристорами. Кут регулювання їх відносно напруги мережі живлення визначається напругою керування u_{KEP} , яка подається на вхід блока формувача імпульсів керування тиристорами.

Структурну схему системи керування ВДУ-506, ВДУ-601 наведено на рис. 3.35.

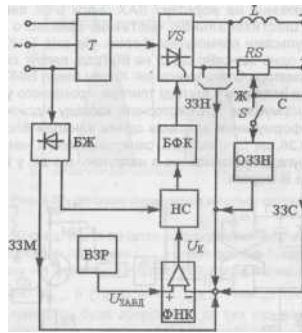
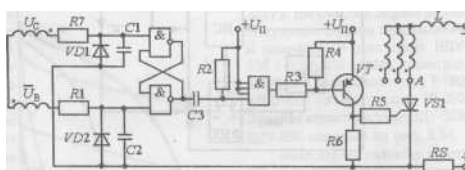


Рис. 3.35. Структурна схема системи керування випрямлячів ВДУ-506УЗ, ВДУ-601 УЗ

Випрямляч ВДУ-505 відрізняється від вказаних вище випрямлячів наявністю додаткового датчика струму, приєднаного до зварювального шунта.

Система керування являє собою систему автоматичного регулювання зі зворотними зв'язками за напругою 33Н та струмом 33С, за рахунок яких відбувається формування зовнішніх характеристик. Спадні ВАХ (С) забезпечуються зв'язком 33С, жорсткі (Ж) - увімкненням зворотного зв'язку 33Н, який діє спільно із 33С. Для покращення стабілізації режиму зварювання при коливаннях напруги мережі передбачено додатковий зворотний зв'язок за напругою мережі (33М). Напруга керування створюється блоком формування напруги керування ФНК, на вхід якого надходять напруги завдання $U_{зад}$ з вузла завдання режимів ВЗР і сигнали зворотних зв'язків. Блок фазового керування БФК формує імпульси керування, які надходять на силовий тиристорний випрямляч І/Б. Блок живлення БЖ забезпечує живлення системи керування, а ОЗЗН - вузол обмеження дії зворотного зв'язку за напругою створює умови покращення запалювання дуги при зварюванні на жорстких ВАХ. Блок БФК

виконаний за традиційною шестиканальною системою фазового керування тиристорів імпульсами прямокутної форми. На вхід БФК надходять шість зсунутих одна відносно одної на 60 град, напруг синхронізації НС з трансформатора блока живлення. Кожен канал БФК складається з формувача імпульсів у вигляді тригера, проміжного узгодженого підсилювача-формувача, транзисторного каскаду підсилення. Електричну схему формування імпульсів одним каналом блоку БФК подано на рис. 3.36, де U_C - напруга, синхронізована з напругою фази С, а U - напруга, синхронізована з напругою, що діє у протифазі з напругою фази В мережі.



**Рис. 3.36. Спрощена
електрична схема
формування імпульсів
керування випрямлячів
одним каналом БФК**

Кожна з цих напруг надходить на $UB1$ і $U02$, які зрізають напругу від'ємної полярності. Позитивні пульсуючі напруги, зсунуті на 60 град., подаються на входи тригера, зібраного на двох логічних елементах І-НІ серії К-511ЛА1. Елементи мають порогову напруг/ спрацьовування $u_{пор}=7$ В. Отже, будь-який сигнал на вході елемента, менший за це значення, відповідає логічному нулю, а більший від нього - логічний 1.

Процес формування імпульса на виході тригера для випадку $C_{\text{КЕР}}=0$ показаний на рис. 3.37. У початковий момент часу напруги u_c і u_b менші $U_{\text{пор}}$. Тоді на обох входах тригера сигнали рівні нулю, а на виході з'являється сигнал 1.

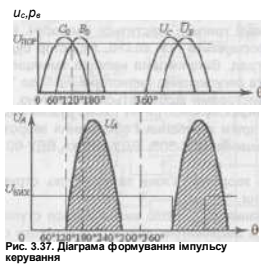


Рис. 3.37. Діаграма формування імпульсу керування

Через 60 град, після початку відрахування часу величина перевищить порогове значення $C_{\text{ПОР}}$ і стане рівною 1, однак стан тригера при цьому не зміниться. Через 120 град, (точка C_0) напруга u_c стане меншою $u_{\text{пор}}$, а $\mathcal{E}/v$ досягне $\{U_{\text{пор}}$. На виході тригера з'явиться сигнал 0. Такий стан буде зберігатися до тих пір, поки u_b не впаде нижче порогового значення (точка B_0). Це відбудеться через 180 град. Оскільки в цьому випадку на двох входах сигнал буде рівний 0, то на виході з'явиться 1. Цикл повторюється спочатку.

Нульовий рівень на виході тригера триває 60 град., що відповідає куту зсуву між фазами напруг u_c і $\mathcal{E}/v$. Отримані на виході тригера імпульси керування надходять на узгоджений підсилювач, яким є логічний елемент з відкритим колекторним входом (К511ЛІ1). Посилені імпульси подаються на кінцевий транзисторний каскад УТ (рис. 3.36), де додатково підсилюються та інвертуються. «Нульові» імпульси шириною 60 град, стають «одиничними» імпульсами керування тиристорами. Нульовий сигнал на виході тригера, а відповідно

імпульс керування тиристором, з'являється одночасно з початком позитивної півхвилі анодної напруги фази A , тому U_{vi} у фазі A відкривається одразу ж.

Кут його відкриття « α » рівний 0, що відповідає максимальному значенню випрямленої напруги. із зростанням u^p інтервал нульового сигналу на виході триггера зміститься праворуч. Імпульс вмикання тиристора сформується при « α » >0 , тиристор буде відкритий в момент « $180-\alpha$ » град. Випрямлена напруга зменшиться. Схема забезпечує зміну кута регулювання тиристорів від 0 до 180 град. Керування іншими тиристорами відбувається аналогічно.

Спрощену принципову електричну схему вузлів завдання режиму, формування напруги керування і обмеження зворотного зв'язку за напругою випрямлячів ВДУ-505, ВДУ-506 та ВДУ-601 подано ^{А В С} на рис. 3.38.

Схема містить зворотні зв'язки за напругою, струмом і напругою мережі живлення.

Напруга керування $U_{кер}$, якою визначається ступінь відкриття тиристорів та режим зварювання, знімається з виходу операційного підсилювача $A2$, що входить до вузла формування напруги керування. Значення u^p встановлюється напругою завдання $U_{завд}$, що подається на неінвертуючий вхід підсилювача $A2$. Для забезпечення мінімальної напруги на виході $A2$ з резистора R_8 знімається компенсуючий негативний потенціал. Регулюванням R_8 виконується налаштування максимального режиму при роботі випрямляча на спадних зовнішніх характеристиках (С). Зміна режиму зварювання виконується з допомогою $R1$. При збільшенні опору $R1$ відбувається підвищення позитивної напруги на неінвертуючому вході, збільшення u^p і, відповідно, зменшення параметрів режиму. Для отримання необхідного діапазону зміни $U_{здвд}$ при роботі на жорстких і спадних ВАХ при незмінному опорі $R1$ передбачено перемикання резисторів залежно від виду характеристики (перемикач 51).

Вузол формування напруги керування, побудований на операційному підсилювачі $A2$, здійснює додавання напруг завдання, всіх зовнішніх і коректуючих зв'язків. Сигнал зворотного зв'язку за струмом $U_{ззс}$ знімається з шунта $R_{ш}$ і подається на інвертуючий вхід підсилювача через резистор R_{20} .

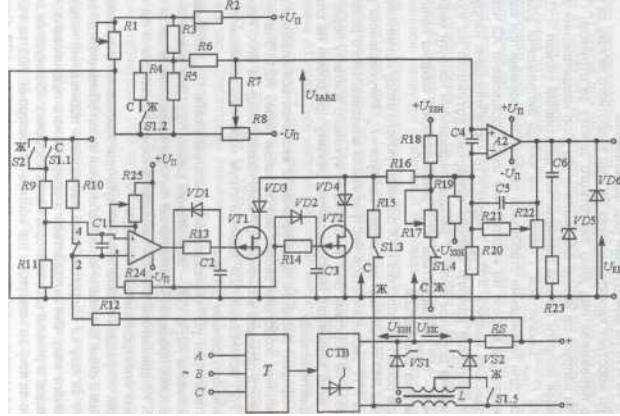


Рис. 3.38. Принципова електрична схема вузлів завдання режиму, формування напруги керування і обмеження зворотного зв'язку за напругою випрямлячів ВДУ-505УЗ, ВДУ-506УЗ, ВДУ-601УЗ

Збільшення зварювального струму призводить до зростання негативного потенціалу на вході підсилювача, відповідно збільшується $U_{КЕР}$ і знижуються параметри режиму.

А В С

Сигнал зворотного зв'язку за напругою U_{33H} знімається з виходу блока тиристорів і додатково подається при роботі на жорстких ВАХ через R15 та R16 на інвертуючий вхід підсилювача.

При жорстких характеристиках (Ж) дія зворотного зв'язку за напругою переважає над дією зворотного зв'язку за струмом. При зниженні напруги на виході випрямляча під дією навантаження або зменшенні напруги мережі зменшується негативний сигнал - U_{33H} . Напруга $U_{КЕР}$ знижується, і напруга на виході випрямляча збільшується. Для підвищення стабілізації режиму зварювання при коливаннях напруги мережі на інвертуючий вхід підсилювача A2 через R19 подається напруга - C/U_{33M} і через R18 - стабілізована напруга. При номінальній напрузі мережі сумарний потенціал на вході підсилювача дорівнює нулю. У випадку підвищення напруги мережі значення - U_{33M} збільшується, $t_{КЕР}$ зменшується, і вихідна напруга випрямляча знижується.

При роботі на жорстких ВАХ до інвертуючого входу підсилювача A2 через R17 подається додаткова напруга $+U_n$. Регулюванням резистора R_M забезпечується настроювання максимального режиму при роботі на жорстких ВАХ у положенні рухомого контакту резистора R^* , який відповідає максимальному режиму при роботі на спадних характеристиках.

Коефіцієнт передачі підсилювача $A2$ визначається власним регулювальним жорстким зворотним зв'язком через $R21$. Значення коефіцієнта передачі визначає крутизну нахилу спадних ВАХ. Резистором $R2^*$ встановлюється заданий струм короткого замикання при номінальному режимі роботи.

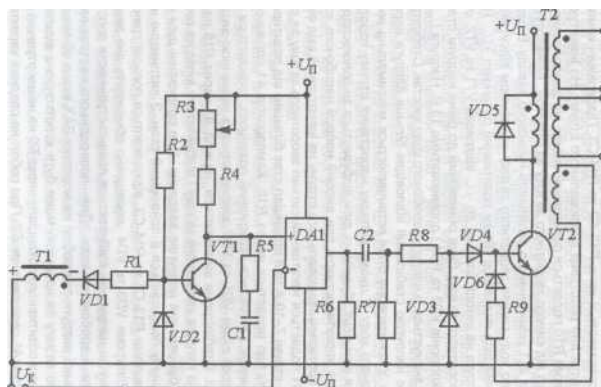
Стабілітрон $VD5$ обмежує максимальний рівень U_{KEP} , отриманої з підсилювача $A2$, а $VD6$ - мінімальний рівень p . Для виключення коливальних процесів $A2$ охоплений гнучким зворотним зв'язком через $C5$. Конденсатори $C1$ і $C4$ захищають входи підсилювача від випадкових електромагнітних наводок.

Для покращення запалювання дуги при зварюванні у вуглекислому газі в схемі випрямляча передбачений вузол обмеження дії зворотного зв'язку за напругою, який забезпечує підвищення напруги U_{ABC} неробочого ходу. Він складається з операційного підсилювача A' , що працює в режимі компаратора, і двох керуючих обмежувачів зворотного зв'язку за напругою, що містять стабілітрони $VD3$ та $VD4$ і послідовно увімкнені з ними польові транзистори $VT1$ та $VT2$. Стабі

літрони і транзистори увімкнені паралельно зворотному зв'язку за напругою. Керування транзисторами виконується компаратором через часозадавальні кола R13-C2 та R14-C3. Підсилювач-компаратор >41 слугує для реєстрації зварювального струму. На інвертуючий вхід A1 через R10 подається позитивний сигнал від джерела живлення і сигнал від'ємного зворотного зв'язку за струмом, неінвертуючий вхід через Я11 увімкнений до загального нульового виводу В режимі неробочого ходу сигнал зворотного зв'язку за струмом відсутній. На інвертуючий вхід подається тільки позитивний потенціал $+t/n$. Негативна напруга на виході, близька до $-U_m$, відкриває VT1 та VT2, отже, сигнал зворотного зв'язку буде обмежений до рівня напруги стабілізації стабілітронів VD3 та VD4 і дорівнюватиме 13 В. Напруга U_p на виході A2 знижується, а напруга неробочого ходу зростає. Стабілітрон з меншою напругою стабілізації відповідає більша напруга неробочого ходу. У початковому стані встановлюється максимальна напруга неробочого ходу. У цьому випадку наростання струму короткого замикання в момент збудження дуги відбувається за пологоспадною зовнішньою характеристикою при високій напрузі неробочого ходу.

При протіканні зварювального струму на інвертуючий вхід підсилювача A1 подається негативний сигнал зворотного зв'язку за струмом. При струмі 7-10 А цей потенціал стає більшим від позитивного потенціалу, що подається через R10. Компаратор A1 спрацьовує, на його виході з'являється позитивний потенціал, транзистори VT1 та VT2 через діоди VU1 та VD2 закриваються з незначною затримкою у часі. Стабілітрони вимикаються, на вхід A1 через R15 надходить повна напруга зворотного зв'язку і відбувається вихід на режим роботи, обумовлений напругою завдання. При розриванні дуги компаратор знову повертається в початковий стан. З витримкою часу, заданою колами R13-C2 та R14-C3, відкриваються польові транзистори, стабілітрони VD3 та VD4 послідовно обмежують дію зворотного зв'язку за напругою, відбувається плавно-ступінчасте зростання напруги неробочого ходу. Для попереднього налаштування зварювальної напруги при роботі на жорстких ВАХ вузол обмеження зворотного зв'язку за напругою може бути короткочасно відключений подачею позитивного

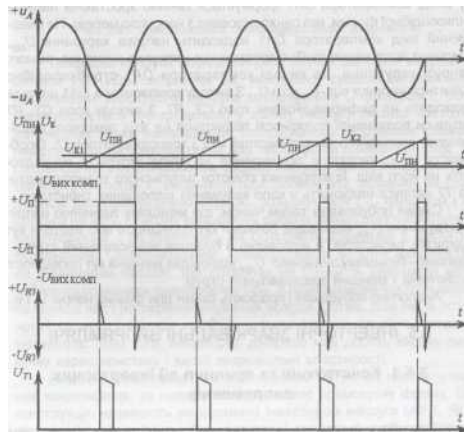
потенціалу через $R9$ на неінвертуючий вхід компаратора A перемикачем $S2$. При роботі на спадних характеристиках A^* вимикається подачею позитивного потенціалу на його вхід перемикачем $S1.1$.



**Рис. 3.39. Схема вертикального
керування випрямляча на основі
компаратора**

Технічні дані тиристорних випрямлячів наведені у табл. 3.2.

У багатьох випрямлячах (зокрема й у ВДУ-1202) широке розповсюдження одержала схема вертикального керування на основі компараторів, на один вхід якого подається пилоподібна напруга u_m , синхронізована, як правило, з напругою мережі (відповідною фазною напругою), а на інший - напруга керування, яка являє собою сигнал, пропорційний сумі сигналів завдання зварювального струму (чи напруги) та сигналів зворотного зв'язку за струмом чи за напругою. Приклад такої схеми наведений на рис. 3.39. На рис. 3.40 зображені часові діаграми, які пояснюють роботу схеми. Схема працює таким чином:



**Рис. 3.40. Часові діаграми
роботи схеми
вертикального керування
випрямляча 199**

У позитивний півперіод фазної напруги u_d діод $У01$ закритий, транзистор $УТ1$ відкритий за рахунок протікання базового струму через резистор $Я2$, в результаті чого на виході компаратора $ОА1$ підтримується напруга, яка практично рівна $-u_n$. На початку негативного півперіоду напруги u_d транзистор $ІГ1$ закривається, в результаті чого починається заряд конденсатора $С1$ через резистори $Я3, Я4, Я5$. При цьому постійна заряду в декілька разів перевищує тривалість півперіоду фазної напруги, внаслідок чого забезпечується лінійність зростаючої на конденсаторі $С1$ напруги. У кінці негативного півперіоду діод $УИ1$ закривається, що знову приведе до повного відкриття транзистора $УТ1$ і швидкого розряду конденсатора $С1$ через резистор $Я5$ та відкритий транзистор $УТ1$. Таким чином, на неінвертуючому вході компаратора $ОД1$ формується лінійно зростаюча напруга пілкоподібної форми, яка синхронізована з напругою мережі. На інвертуючий вхід компаратора $ОД1$ надходить напруга керування $U_{КЕР}$. У момент досягнення лінійно зростаючою напругою значення, рівного напрузі керування, на виході компаратора $ОД1$ стрибкоподібно зміниться напруга від $-u_n$ до $+u_n$. З виходу компаратора $ІА1$ напруга надходить на диференційоване коло $С2, Я7$. З виходу кола $С2, Я7$ імпульси позитивної полярності подаються на вхід вихідного підсилювача, виконаного на транзисторі $УТ2$ і трансформаторі $Т2$.

Особливістю цього каскаду є “розширення” на виході імпульсів, які надходять на його вхід. Із вторинних обмоток імпульсного трансформатора 72 напруга надходить у коло керування відповідних тиристорів.

Схема побудована таким чином, що меншому значенню напруги керування $U_{кер}$ відповідає більший кут провідності або менший кут відкриття тиристорів, а відповідно, і більший зварювальний струм, і навпаки - більшому значенню $U_{кер}$ відповідає менший кут провідності тиристорів і менший зварювальний струм.

Аналогічно побудовані і працюють схеми для фазних напруг U_{ϕ} і U_{κ} .

ЛЕКЦІЯ 9. ІНВЕРТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

Конструкція та принцип дії інверторних випрямлячів

Широке застосування у зварювальній техніці знайшли інверторні (високочастотні) джерела живлення, які при добрих масо-габаритних характеристиках дозволяють забезпечувати стійку і надійну роботу в різних зварювальних режимах. Функціональну схему інверторного випрямляча подано на рис. 3.41.

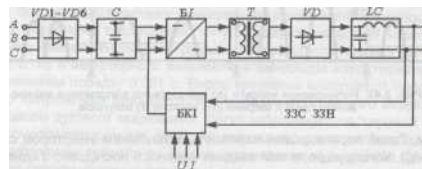


Рис. 3.41.

Функціональна схема
інверторного
випрямляча

Трифазна напруга мережі випрямляється силовим випрямним блоком У01-У06, зібраним за мостовою схемою випрямлення. Випрямлена однофазна напруга згладжується С фільтром і потім перетворюється (інвертується) у змінну напругу високої частоти з допомогою блока інвертора БІ, побудованого за різними схемами інвертування на транзисторній або тиристорній елементній базі. Високовольтна високочастотна змінна напруга знижується силовим

трансформатором T , випрямляється блоком УЦ зібраним за однофазною двохпівперіодною схемою, згладжується L - C фільтром і подається на дугу. У такому випрямлячі енергія зазнає декількох ступенів перетворення, і не дивлячись на складність схеми він є достатньо економічним і перспективним. Трансформація напруги здійснюється на підвищеній частоті, що дозволяє на 60-80 % зменшити масо-габаритні показники трансформатора. З підвищенням частоти потрібно менше часу на перемагнічування осердя і, отже, для тієї ж потужності трансформатора необхідно мати меншу кількість активних матеріалів. Крім того, інверторне джерело має досить високу динамічну характеристику і якісні зварювальні властивості.

Якщо на вході інвертора встановлено ^{А В С} потужний накопичувальний конденсатор, то напруга інвертора має прямокутну форму. Таку конструкцію називають автономним інвертором напруги (АІН). Якщо на вході інвертора встановити потужний дросель і, а обмотку трансформатора T шунтувати конденсатором, то згладженим буде уже

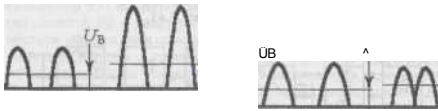


Рис. 3.42. Регулювання напруги (а) інверторного випрямляча зміною амплітуди (б), ширини (в) і частоти (г) імпульсів

струм. Такий перетворювач називають автономним інвертором струму (*AIC*). Конструкцію, в якій завдяки наявності послідовно з'єднаних індуктивності та ємності створюється коливальний контур із синусоїдним струмом, називають резонансним автономним інвертором (*AIP*).

Інвертор - це пристрій, який перетворює постійну напругу у високочастотну змінну. Конвертор - пристрій для зниження або підвищення постійної напруги з проміжною високочастотною ланкою.

Регулювання режиму зварювання здійснюється декількома способами. При збільшенні напруги випрямляча мережі збільшується і амплітуда високочастотної напруги, і, відповідно, середнє значення випрямленої напруги. З тією ж метою змінюють ширину імпульсів інвертора. Однак більш поширеним способом є зміна частоти імпульсів. При цьому $f T \Rightarrow U_B T$. В інверторному випрямлячі використовується амплітудне, широтне та частотне регулювання режиму (рис. 3.42).

Зовнішні характеристики інверторного випрямляча залежать головним чином від конструктивних особливостей інвертора та трансформатора. Природна зовнішня характеристика інвертора $^{100}A_{IH}$ майже жорстка. Але оскільки індуктивний опір трансформатора X_m , пропорційний частоті інвертування f , великий навіть при невеликому магнітному розсіянні, то характеристика випрямляча в цілому виходить спадною. Зазвичай зовнішні характеристики формуються штучно з допомогою системи керування. Для отримання крутоспадних характеристик вводиться від'ємний зворотний зв'язок за струмом, при якому зі збільшенням зварювального струму частота інвертування знижується, що призводить до зменшення випрямленої напруги.

Подібним чином для отримання жорстких характеристик вводиться зворотний зв'язок за випрямленою напругою:

$$u_a i = \gamma \Rightarrow u_a = \cos \alpha$$

Зварювальні властивості інверторних випрямлячів кращі порівняно із джерелами традиційного типу за рахунок швидкодії інвертора. Якщо у звичайних джерел тривалість перехідного процесу близько 0,02 с, то в інверторного випрямляча швидкодія характеризується значеннями порядку 0,001 с. Високі динамічні властивості інверторного випрямляча виявляються у випадку програмного керування процесом дугового зварювання. Легко забезпечується “гарячий пуск” на початку зварювання, швидкий перехід від одного із заздалегідь налагоджених режимів до іншого, зварювання пульсуючою дугою з регульованою формою імпульсу і т. Д.

До переваг інверторного випрямляча належить його економічність. Осердя високочастотного трансформатора має малі масо-габаритні показники, оскільки його маса пов’язана з частотою співвідношенням $m \propto 1/f$. Тому осердя важить майже у 8-10 разів менше, ніж осердя трансформатора частотою у 50 Гц. Крім того, випрямляч має високі масо-енергетичні характеристики, що становлять 0,1-0,3 кг на 1А зварювального струму та 4-8 кг на 1 кВт споживаної потужності.

Інверторні випрямлячі рекомендують використовувати там, де необхідно застосовувати джерела з малими масо-габаритними показниками - при зварюванні на монтажі, в побуті, в робототехнічних комплексах. В експлуатації таке джерело дуже економічне. Його коефіцієнт потужності $\cos \phi$ його наближений до 1, ККД 0,7-0,9. Головним недоліком інверторного випрямляча є складність його будови, відповідно, низька надійність та висока вартість. Крім того, при роботі він створює підвищений шум, що генерується високочастотним трансформатором, вихідним фільтром та дугою.

ІНВЕРТОРИ ТИРИСТОРНОГО ТИПУ

Паралельний інвертор, зібраний за двопівперіодною схемою з нульовою точкою трансформатора, наведено на рис. 3.43 (вторинна обмотка трансформатора не зображена). Перший півперіод високочастотного струму

починається при увімкненні тиристора V_{31} . З цього моменту по первинній обмотці трансформатора T йде струм,

$A B C$

зображений тонкою суцільною лінією. Одночасно йде заряд конденсатора C полярністю “+” та Другий півперіод починається при відмиканні тиристора V_{B2} ,

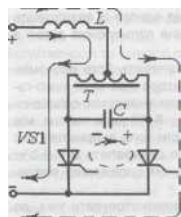


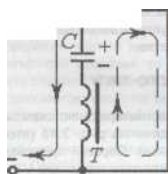
Рис. 3.43. Схема паралельного тиристорного інвертора

в результаті чого по трансформатору йде струм в іншому напрямку, зображений пунктиром. Але відмикання тиристора U_{B2} призводить ще й до розряду конденсатора C на тиристор U_{B1} у зворотному напрямку так, як показано пунктирною лінією. Це призводить до запирання тиристора U_{B1} , тому конденсатор C у такій схемі

називають комутуючим (перемикаючим). Паралельний інвертор з великою індуктивністю L на вході є автономним інвертором струму $\{A/C\}$. Він стійко працює в режимі навантаження, гірше - в режимі короткого замикання, а в режимі неробочого ходу на його елементах виникають великі перенапруження, що обмежує його використання.

Послідовні інвертори частіше використовуються у зварювальних

$U_{B1} U_{B2}$



випрямлячах. Принцип роботи інвертора такого типу, зібраного на двох тиристорах за несиметричною півмостовою схемою, показано на рис. 3.44. У першому півперіоді при відпиранні тиристора U_{B1} по

первинній обмотці трансформатора T йде струм по колу, вказаному суцільною лінією. Цей струм заряджає конденсатор C полярністю “+” та Коли напруга максимального заряду конденсатора досягне величини напруги живлення від мережевого випрямляча, анодна напруга на тиристорі U_{B1} зменшиться до 0, і він закривається. У другому півперіоді при відпиранні тиристора V_{B2} по трансформатору піде струм розряду конденсатора в напрямку, вказаному пунктирною лінією. Робо- **Рис. 3.44. Схема послідовного** та симетричного послідовного інвер-

несиметричного інвертора зрозуміла 3 рис. 3.45.

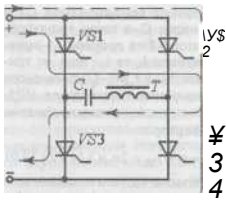


Рис. 3.45. Схема послідовного симетричного інвертора

Резонансний послідовний інвертор, зібраний за симетричною

півмостовою схемою (рис. 3.46), є найбільш поширений.

Порівняно з мостовою схемою тут не лише досягається економія тиристорів, але й спрощується система керування. В L - C коливальному контурі під час роботи інвертора виникає синусоїдний струм та резонанс напруг, тому такий інвертор називають резонансним (AIP). Моменти відпирання тиристорів та частота інвертування задаються системою керування, а параметри синусоїдного струму визначаються параметрами силових елементів коливальних контурів.

З моменту t_1 при відпиранні тиристора 1/51 по первинній обмотці трансформатора T піде струм, зображений тонкою суцільною лінією. Одночасно конденсатор $C2$, раніше заряджений полярністю, вказаною знаками “+” та (без дужок), спочатку розряджається на трансформатор по колу, вказаному тонкою лінією, а потім за інерцією перезаряджається так, що його полярність змінюється на протилежну, вказану знаками “+” та (з дужками). До моменту t_2 конденсатор $C1$, що комутує коло тиристора $U51$, зарядиться полярністю, вказаною знаками “+” та що призведе до зникнення струму (рис. 3.466). На осцилограмі струму первинної обмотки трансформатора 71 в проміжку спостерігається крива i_{y51} , близька до синусоїди. З моменту t_2 , як тільки закриється тиристор 1/51, відкривається раніше шунтований діод 1/01, а конденсатор $C2$ розряджається на первинну обмотку трансформатора по колу, вказаному пунктиром. Таким чином, зворотний діод $U11$ запобігає надмірному накопиченню заряду на конденсаторі $C2$, що при резонансі може призвести до небезпечних перенапруг. Отже, у проміжку t_2 - t_3 до трансформатора проходить зворотна півхвиля струму i_{y01} , і на цьому перший цикл роботи інвертора завершується. З моменту t_4 схожі процеси відбуваються в іншому плечі інвертора, починаючи з відпирання $U52$. Тривалість проміжку t_1 - t_2 увімкненого стану тиристора 1/51 рівна півперіоду вільних коливань для контуру, складеного з комутатором

туючого конденсатора $C1$ з ємністю C , а також трансформатора T та дроселя $X1$ індуктивністю L_m та і. Така ж тривалість і $\Gamma_{3д} = t_{3-2}$ увімкненого стану зворотного діода $U01$. Отже, період вільних коливань інвертора:

$$T_0 = t_T + t_{3д} = 2\pi \sqrt{L/C} (i_T + I_0) \quad (3.6) \quad \text{а власна частота коливань контуру}$$

$$f_0 = 1/T_0 =$$

Але частота змінного струму f інвертора задається системою керування і вона завжди менша за частоту коливального контуру f_0 , а період інвертування T , навпаки, більший за період вільних коливань T_0 . Справа в тому, що вмикати тиристор $V_{Э2}$ безпосередньо в момент i_2 вимикання $I_{1/51}$ не можна, доки в останнього ще не поновилися запірні властивості, щоб не сталося внутрішньо короткого замикання в інверторі. Обов'язковим є виконання умови, щоб тривалість затримки $\Gamma_{зв}$ між періодами роботи двох тиристорів була більша часу відновлення їх запірних властивостей. У той же час цілком припустиме вмикання тиристора $V_{Э2}$ до моменту t_3 , тобто у проміжку роботи діода $M01$. При накладанні ім-

пульсів струму через тиристор $Ув2$ та діод $УОІ$ виникає режим неперервного струму інвертора, що полегшує згладжування зварювального струму (рис. 3.46в).

Плавне регулювання режиму резонансного інвертора виконується зміною частоти інвертування f ; тобто частоти запуску тиристорів від системи керування. Як уже було зазначено, зі зростанням частоти f збільшується середнє значення зварювального струму I_d . Ступінчасте регулювання часто виконується зміною ємності комутуючих конденсаторів. Наприклад, при збільшенні ємності C збільшується струм коливального контуру i_c а з рівняння (3.6) збільшується і період вільних коливань T_0 , що призводить до збільшення зварювального струму I_d :

$$I_d \propto \sqrt{C}$$

Зовнішня характеристика послідовного резонансного інвертора крутоспадна. Резонансний інвертор, на відміну від AIH та AIC , стійко працює в режимі короткого замикання. У режимі неробочого ходу інверторного випрямляча власне інвертор все ж навантажений, хоч і невеликим намагнічувальним струмом первинної обмотки трансформатора, тобто може працювати стійко. Однак у цьому випадку в інверторі виникають небезпечні перенапруги.

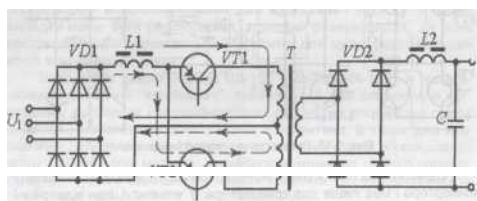


Рис. 3.47. Спрощена електрична схема випрямляча із транзисторним інвертором

Процес інвертування в інверторі транзисторного типу представлений на рис. 3.47.

При подачі сигналу на базу транзистора УТ1 він відкривається і по первинній обмотці трансформатора T проходить струм, напрямом якого вказаний суцільною лінією. При зніманні сигналу проходження струму припиняється. З деякою затримкою, що визначається блоком керування, відкривається 172 і струм навантаження проходить по обмотці трансформатора вже у протилежному напрямку, що позначено пунктиром. Таким чином, по первинній обмотці T проходить змінний струм, форма кривої якого залежить від параметрів кола інвертора. При достатній індуктивності вона може мати синусоїдну форму. Тривалість періоду T або частота змінного струму τ залежать від частоти вмикання транзисторів, що визначається системою керування і може встановлюватися від 1 до 60 кГц.

Випрямляч із транзисторним інвертором

Двотактний мостовий інвертор зображено на рис. 3.48а. У першому півперіоді (такті) система керування запускає транзистори УГ1 VT4, струм іде по первинній обмотці трансформатора в напрямку, вказаному тонкою лінією. У другому півперіоді шлях струму через транзистори УГ2 та 173 показано пунктирною лінією.

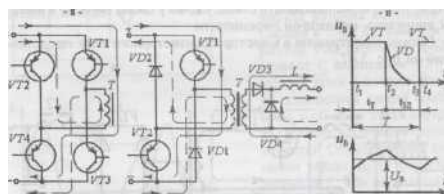


Рис. 3.48. Схеми транзисторних інверторів

Однотактний півмостовий інвертор (рис. 3.48) входить до складу конвертора і має лише два транзистори. У момент t_1 при відпиранні транзисторів VT1 і VT2 по первинній обмотці трансформатора проходить імпульс струму, напрямом якого вказано тонкою лінією. Потім іде пауза t_2 - після чого в тому ж напрямку проходить

такий

самий

імпульс струму (рис. 3.48в). Таким чином, в одноканальному інверторі струм виявляється змінним тільки за величиною, але не за напрямком. Недоліком схеми є значні перенапруги на транзисторах у момент їх увімкнення. Для усунення такого недоліку встановлюються діоди $VD1$, $VD2$, в результаті чого з моменту t_2 вимикання транзисторів енергія, що накопичена в індуктивності первинного кола, повертається в мережу. При цьому по первинній обмотці через діоди проходить струм (пунктирна лінія), поступово знижуючись до моменту t_3 .

Імпульс струму, трансформований у вторинній обмотці з моменту t_1 , передається навантаженню через діод $VD3$. З моменту t_2 струм у навантаженні підтримується в основному завдяки енергії, накопиченій в індуктивності L . З цією метою використовується зворотний діод $VD4$. При достатньо великій індуктивності L випрямлена напруга U_B може бути згладжена до рівня, прийняттого за умовами технічного процесу.

Надійність транзисторного інвертора невелика, оскільки най-вразливішим елементом є транзистори. При конструюванні випрямляча прагнуть знизити кількість вентилів, струм та напругу на них. При недостатньо припустимому струмі потрібно в кожне плече встановлювати декілька паралельно з'єднаних транзисторів. При цьому ускладнюється система керування і виникає проблема підбору вентилів з близькими характеристиками. Тому раціональним є паралельне з'єднання не транзисторів, а транзисторних модулів, кожен з яких споряджений власними елементами керування і захисту. У цьому випадку може бути реалізовано і принцип резервування, за яким несправні модулі відмикаються без збитку для загальної працездатності всього випрямляча.

Випрямляч зварювальний ВД-150 "MiniSELMA-ieO", в подальшому йменованій "випрямляч", призначений для зварювання вуглецевих, легованих і корозійностійких сталей на постійному струмі (MMA-DC) металевими електродами з покриттям, а також для зварювання неплавким електродом на постійному струмі в середовищі агону (TIG-DC) всіх металів, за винятком алюмінію та його сплавів. Випрямляч має спадні зовнішні характеристики. Він

виготовлений за технічними умовами ТУ У 20732066.063-99.

Працездатність випрямляча забезпечується при коливаннях напруги живильної мережі від мінус 10 % до плюс 10 % від номінального.

Охолодження випрямляча здійснюється з допомогою вмонтованого вентилятора. На охолоджувачі силових транзисторів встановлено датчик контролю температури з метою захисту випрямляча від перегрівання. При спрацьовуванні датчика запалюється індикатор у режимі блимання.

Випрямляч в режимі *ММА* має автоматичні функції: “гарячий старт” і “протиприлипання”.

“Гарячий старт” - для покращення запалювання дуги на початку зварювання джерело формує імпульс струму ^{АВС} тривалістю 0,3 секунди. Величина імпульсу перевищує на 30 % величину попередньо встановленого зварювального струму.

“Протиприлипання” - за 1-2 секунди після виникнення короткого замикання між електродом і деталлю зварювання випрямляч припиняє подавання струму в зварювальне коло. Працездатність випрямляча відновлюється автоматично після зняття короткого замикання.

Спосіб збудження дуги при зварюванні в режимі ТИГ-ОС- контактний. Тобто на початку зварювання необхідно короткочасно доторкнутися вольфрамовим електродом до зварювальної деталі, після чого відвести пальник від основного металу. Технічні характеристики ВД-150 “Мп/5£:£.М4-150” наведено у табл. 3.

Інверторний випрямляч *III-315* шведської фірми ЕСАБ призначений для ручного дугового зварювання покритими електродами і має крутоспадну зовнішню характеристику, сформовану системою керування. Він має два однакових паралельно з’єднаних конвертори. Інвертор у складі конверторів зібраний за однотактною півмосто-вою схемою, при цьому в кожне плече встановлено по шість швидкодіючих МДГ і-транзисторів.

Конструкція випрямляча *IIIС-500* фірми ЕСАБ із транзисторним інвертором універсальна тому, що придатна для ручного дугового зварювання, механізованого в захисних газах та імпульсно- дугового зварювання. У джерелі використовується інвертор з частотою 48 кГц на потужних МОП-транзисторах. З

випрямлячем постачається мікропроцесорний прилад, що реалізує принцип синергетичного керування, тобто автоматичного налагоджування режиму за математичною моделлю. Із запропонованого приладом меню, зварювальник обирає тип переносу електродного металу (з короткими замиканнями крапель, струменевим чи керованим імпульсами), марку та діаметр дроту і тип захисного газу, а мікропроцесор за програ-

210

A B C

мою обчислює і передає джерелу задані значення напруги неробочого ходу, індуктивності, частоти, амплітуди та тривалості імпульсів і пауз. Передбачено, щоб зварювання завжди закінчувалося потужним імпульсом, який скидає останню краплю з електрода. Мікропроцесор забезпечує індикацію та зберігання інформації про режими. Зварювальник може вручну скоректувати параметри процесу, а підібраний режим зберігати в пам'яті мікропроцесора.

Випрямляч 75-330 “Транссинергетик” австрійської фірми «Фроніус» із транзисторним інвертором на 60 кГц також є універсальним синергетичним джерелом. Установка режиму виконується з допомогою регуляторів, на яких вказано марку зварюваного металу та діаметр електродного дроту. У пам'яті машини є широкий вибір варіантів програмного керування процесом зварювання. Та ж фірма виготовляє компактне джерело TP-200 “Транспокет” для ручного дугового зварювання з транзисторним інвертором з частотою 30 кГц.

Гарними зварювальними властивостями володіє також інверторний випрямляч “Мастер-3500” фінської фірми “Кемппі”, призначений для ремонтних та монтажних робіт з використанням покритих електродів. У ньому застосовуються біполярні транзистори з покращеним охолодженням, що значно підвищує їх надійність.

Із джерел з транзисторним інвертором слід також відзначити випрямлячі ДС140.3 та ДС250.3. Останній зібраний за однократною півмостовою схемою із широтно-імпульсним регулюванням та призначений для ручного дугового зварювання, в тому числі на імпульсному режимі. Він має, окрім плавного регулювання зварювального струму, ще й незалежне налагоджування струму, короткого замикання. Передбачено також форсування режиму при запалюванні дуги та зниження напруги неробочого ходу до безпечного значення.

Конструкція і робота джерела живлення з тиристорним інвертором

Джерело містить у собі вхідний випрямляч, зібраний за трифазною мостовою схемою випрямлення (V01...1/06), вхідний фільтр (F1, 01), який слугує для згладжування пульсацій випрямленої напруги (рис. 3.49).

Як ланка високої частоти застосовується півмостовий послідовний інвертор. З наявних схем тиристорних інверторів найбільш доцільною є півмостова схема з резонансною комутацією та діодами зворотного зв'язку. Вона має мінімальне число елементів, здатна працювати в широкому діапазоні зварювальних навантажень і здійснювати глибоке регулювання зварювального струму за рахунок зміни частоти вмикання тиристорів. Інвертор складається з комутувальних конденсаторів C2 і C3, тиристорів U_{B1} і U_{B2} , навантаженням є первинна обмотка трансформатора 7. Для підвищення комутаційної стійкості U_{B1} і U_{B2} , а також виключення їх з ланки в момент комутації через велику швидкість наростання напруги використовуються дроселі L2, L3, резистори R2, R3 і конденсатори C6, C7. У схему введені зворотні діоди $VD9$, $VD10$, які забезпечують повернення реактивної енергії, що накопичується у зварювальному трансформаторі 7, і усувають резонансні процеси в колі робочих конденсаторів C2, C3, завдяки чому напруга на конденсаторах не перевищує припустимих значень у режимах неробочого ходу і короткого замикання. L2, C6, R2 і L3, C7, R3 виконані чисто реактивними, оскільки L2, R3 шунтовані у прямому напрямку діодами $VD11$, $VD12$ і слугують для стікання зарядів з конденсаторів C6, C7 у проміжках часу між комутаціями тиристорів. Резистори R2, R3 регульовані для забезпечення згасаючого процесу в резонансному контурі схеми. Малогабаритний трансформатор 7 слугує для зниження напруги до 30-40 В, необхідної для зварювання. Вторинна обмотка трансформатора через вихідний випрямляч $VD7$, $VD8$ і вихідний фільтр L4, C4, C5 увімкнута до зварювальної дуги. Осердя лінійного дроселя L4 має повітряний проміжок, що запобігає його насиченню при значних величинах зварювального струму. Дросель знижує швидкість наростання струму і його максимальне значення при збудженні дуги, а також згладжує пульсації випрямленого зварювального струму. Регулювання електричних режимів джерела виконується блоком керування БКІ, який живиться від мережі через спеціальний трансформатор. Для підтримання потужності живлення, що підводиться до дуги, слугує зворотний зв'язок за струмом і за напругою. Сигнали надходять до блока керування із шунта і з дугового проміжку. Для примусового

охолодження силових елементів схеми джерела слугує вентилятор. Захист елементів схеми від перенапруги здійснюється автоматичним вимикачем а захист двигуна вентилятора і блока керування БКІ - з допомогою запобіжників.

Плавне регулювання зварювальної напруги здійснюється за рахунок зміни частоти вмикання тиристорів інвертора. Можливе також

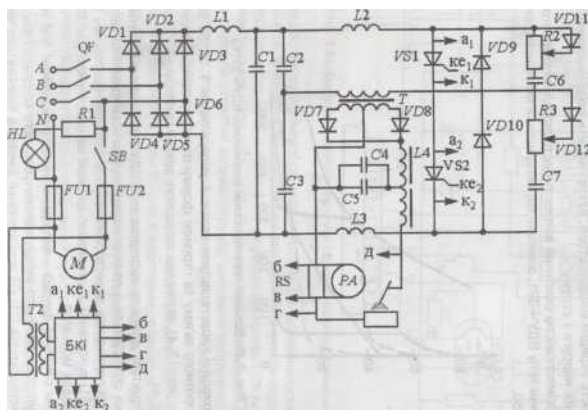


Рис. 3.49. Спрощена електрична схема інверторного випрямляча

і ступінчасте регулювання шляхом зміни ємності комутувальних конденсаторів. При збільшенні ємності зростає зарядний струм і тривалість зарядки конденсатора, що приводить до збільшення випрямленої напруги і струму.

Промисловістю освоєний випуск тиристорного інверторного випрямляча типу ВДУЧ-301, зовнішні характеристики якого наведені на рис. 3.50.

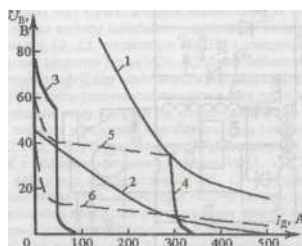


Рис. 3.50.

Зовнішні
характеристики
випрямляча
ВДУЧ-301 УЗ

Природні характеристики спадні й увігнуті (криві 1, 2). За рахунок зворотного зв'язку за струмом формуються крутоспадні характеристики (криві 3,4), за рахунок зворотного зв'язку за напругою - жорсткі (криві 5, 6).

Структуру джерела живлення типу ВДУЧ-301 можна подати такою, яка складається з двох основних вузлів - випрямляча мережі (ВМ) і конверторного перетворювача (КП). Вхідний випрямляч ВМ (рис. 3.51) виконаний за мостовою схемою на оптотиристорах Уві- УвЗ і діодах $VD^{\wedge}$ -VDЗ.

Крім основної функції - випрямлення напруги мережі, ВМ згладжує пульсації плавного заряду накопичувального конденсатора. Заряд конденсаторів С1, С2 при вмиканні джерела виконується через допоміжний оптотиристор 1/84 і резистор Я1. Напруга на конденсаторах ^{А В С} контролюється оптотранзистором 1/71, струм вхідного кола - датчиками струму 741-743. Блок керування випрямлячем (БКВ) ге-

214

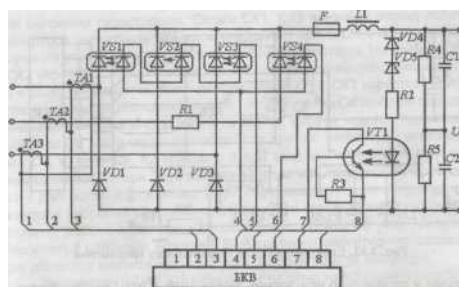


Рис. 3.51. Спрощена
електрична схема силової
частини випрямляча
ВДУЧ-301УЭ

нерує послідовність імпульсів частоти 10 кГц для вмикання тиристорів V81...V84. Із вмиканням джерела послідовність імпульсів надходить на оптотиристор V84, а після 3 с і за умови вмикання VT1 перемикається на тиристори 1/81...УвЗ. Якщо порушується нормальна робота джерела (стрибки вхідних струмів, зниження напруги на накопичувальних конденсаторах, зникнення фази), то генерація послідовності імпульсів припиняється.

Вимоги до припустимого рівня пульсацій випрямленої напруги $u_{ц}$, які висуваються з боку КП, не є жорсткими, тому вони обмежуються тільки допустимими нормами для вибраного типу накопичувального конденсатора. КП здійснює перетворення напруги $\mathcal{E}_d$ в напругу зварювального контуру з гальванічною розв'язкою контурів. До складу КП, як правило, входять високочастотний регульований інвертор, трансформаторно-випрямний пристрій (ТВП), що працює на високій частоті, і вихідний згладжувальний дросель.

Півмостовий тиристорний інвертор з резонансною комутацією і діодами зворотного струму (рис. 3.52) містить конденсатори $C3$, $C4$, котушки індуктивності $L2$, $L3$, тиристори $V85$, $V86$ і діоди УОБ, 1/07. ТВП виконаний на трансформаторі 71 із феритовим осердям ^{А В С}. Схема з'єднання обмоток дозволяє забезпечити рівномірний розподіл

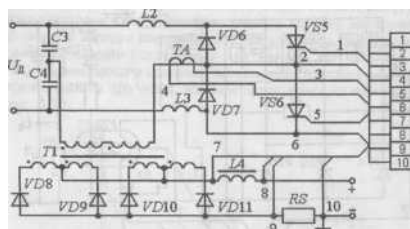


Рис. 3.52. Електрична схема конверторного випрямляча

струмів у паралельно працюючих діодах VD8-VD11 і секціях вторинної обмотки, певний електромагнітний зв'язок між секціями вторинної обмотки, що працюють у даний момент, і всієї первинної обмотки, повну компенсацію намагнічувальних сил на стрижнях. Блок керування конвертором (БКК) у джерелі ВДУЧ-301 виконує такі функції:

А В С

- формування послідовності частотно-модульованих імпульсів керування тиристорами;
- симетрування режиму роботи інвертора (силового трансформатора);
- регулювання електричних режимів у процесі зварювання.

На БКК надходить інформація про вихідну напругу до і після дроселя 14 (рис. 3.52), випрямлений струм із шунта змінює полярності струму в первинній обмотці силового трансформатора з датчика ТА.

Тригером ТС (рис. 3.53) робота БКК синхронізована з моментом зміни полярності первинного струму трансформатора. Через логічну схему (ЛС) тригер ТС задає початок роботи формувача пілкоподібної напруги (ФПН). Крутизна нахилу пилки залежить від величини сигналу, що надходить зі схеми формування зовнішніх характеристик (ФХ). На суматори С1, С2 подаються опорна напруга із джерела напруги (ДН), логічна 1 або 0 з тригера ТС і напруга зі схеми корекції СК1, СК2. Порівняння пілкоподібної напруги з ФПН і напругою суматорів С1 і С2 виконується на компараторах К1, К2, які керують роботою підсилювачів П1, П2, що формують імпульси керування силовими тиристорами. Схеми СК1, СК2 в кожний період роботи інвертора коректують моменти вмикання тиристорів з метою симетрування режиму роботи силового трансформатора. На схеми СК1, СК2 через амплітудний селектор (АС) подається випрямлена напруга з виходу

випрямляча. Цикл роботи схеми C/CI , $CK2$ керується напівпровідниковими ключами схеми ЛС. Кожна схема CK вимірює середнє значення випрямленої напруги за період роботи «свого» тиристора, зберігає цю інформацію на час роботи другого тиристора і через схеми $C1$, $/CI$ або $C2$, $K2$ враховує її при завданні моменту наступного вмикання тиристора. При вмиканні тиристора інформація стирається і далі записується знову. Поріг спрацьовування амплітудного селектора вибраний так, щоб початок роботи схеми корекції відповідав початку роботи інвертора в режимі безперервних струмів, де поява несиметрії найбільш можлива. Використання амплітудного селектора дозволяє виявити несиметричні режими роботи інвертора.

Випрямляч ВДУЧ-301 забезпечує ^{А В С}надійне запалювання і стабільне горіння дуги в усіх просторових положеннях як при механізованому зварюванні в CO_2 , так і при ручному дуговому зварюванні. В основному він призначений для оснащення промислових зварювальних роботів.

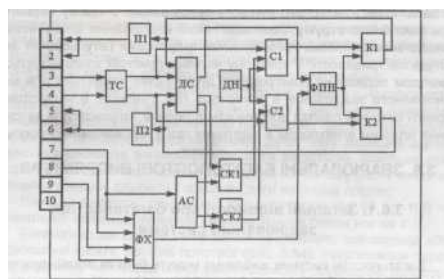


Рис. 3.53. Структурна схема блоку керування конверторного перетворювача

Інші конструкції випрямлячів, як ²¹⁷правило, також мають тиристорний резонансний інвертор, зібраний за симетричною півмосто-вою схемою. Технічні характеристики цих джерел наведені в табл. 3.2. Випрямляч ВДЧ-122 призначений для ручного дугового зварювання і може використовуватися для живлення пульсуючої дуги. Випрямляч ФЕБ-160 є універсальним джерелом, призначеним для ручного та механізованого зварювання у вуглекислому газі. Його схемою передбачена можливість живлення приводу шлангового апарата, а також пуск двигуна внутрішнього згорання. Випрямлячі ПИРС-160, ВДУЧ-161, ДС-250 У, ВДУЧ-315, ФЕБ-350 та ПИРС-500 також є універсальними. Випрямлячі ВДУЧ-16, ДС-140 та ТИР-ВЧ-125 РС призначені для ручного

дугового зварювання, але можуть використовуватись і для зварювання неплавким електродом. Джерело ТИР-МАГ-500 призначене для зварювання у вуглекислому газі.

Високі ступені досконалості притаманні універсальним джерелам РВ-2800 та Р8-5000 фінської фірми "Кемппі". Вони покладені в основу так званої мультисистеми, в якій на базі загального джерела можуть комплектуватися зварювальні установки чотирьох різних типів. У найпростішому випадку одне тільки джерело використовується для ручного дугового зварювання. У другому варіанті джерело доповнюється блоком циклу з осцилятором, а також газової апаратури та пальником для аргоно-дугового зварювання. У цьому варіанті, крім постійного струму, можливе також зварювання алюмінієвих сплавів знакозмінними прямокутними імпульсами регульованої амплітуди та тривалості. У третьому варіанті пристрій комплектується приводом подавання електродного дроту і стає придатний для механізованого зварювання в захисному газі. Нарешті, в четвертому варіанті останній прилад доповнюється блоком імпульсів для зварювання плавким електродом в інертному газі з керованим переносом.

3.4. ЗВАРЮВАЛЬНІ БАГАТОПОСТОВІ ВИПРЯМЛЯЧІ

3.6.1. Загальні відомості про багатопостові зварювальні системи

Багатопостові системи живлення можуть бути як постійного, так і змінного струму. Серійно випускаються тільки системи для живлення постів постійним струмом від багатопостових випрямлячів, розрахованих на струм 1000, 1600, 5000 А і призначених для ручного дугового і механізованого зварювання у вуглекислому газі.

У багатопостових системах постійного струму зварювальне джерело постачає енергією декільком постам, число яких можна розрахувати із співвідношення:

,

де $I_{\text{ном}}$ - номінальний струм випрямляча, А;

$I_{\text{п}}$ - номінальний струм зварювального поста, А; κ - коефіцієнт
неодночасної роботи постів.

При визначенні числа постів слід враховувати, що не всі вони працюють одночасно в однакових режимах (неробочий хід, навантаження, коротке замикання), і тому до формули (3.7) вводиться коефіцієнт k . Для ручного і механізованого зварювання під флюсом $k=0,5...0,7$, для зварювання у вуглекислому газі $k=0,7...0,9$.

Багатопостові випрямлячі доцільно застосовувати там, де на відносно невеликих виробничих площах доводиться зосереджувати значне число однопостових джерел. Застосування таких випрямлячів створює умови для підвищення продуктивності праці, більш раціонального використання виробничих площ, зниження капітальних вкладень і витрат на обслуговування джерел, покращення умов праці зварників^{АВС}. Крім цього, відбувається значна економія електроенергії, оскільки джерело практично не працює в режимі неробочого ходу. До недоліків можна віднести низький коефіцієнт корисної дії системи за рахунок теплових втрат у баластових реостатах, небезпеку масового простою постів у випадку виходу із ладу випрямляча.

Основною вимогою до багатопостових установок є незалежність роботи кожного поста як в усталених, так і в перехідних режимах. При цьому напруга неробочого ходу на кожному посту повинна бути достатньою для початкового збудження дуги. Тому зовнішня характеристика джерела живлення має бути жорсткою, оскільки при спадній характеристиці коротке замикання на одному посту викличе зниження напруги джерела і згасання дуги на інших постах.

Вихідна напруга при зміні навантаження від 50 до 100 % номінальної величини повинна змінюватись не більш ніж на 4 В.

Багатопостова система має загальне джерело, шинопровід або зварювальні кабелі, постові пристрої (рис. 3.54). Регулювання параметрів режиму на постах може виконуватися з допомогою баластових реостатів або дроселів, а також постових тиристорних випрямних пристроїв.

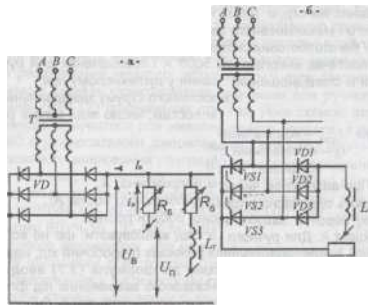


Рис. 3.54. Спрощені
електричні схеми

багатопостових випрямлячів
з баластовими реостатами
(а) і випрямними постовими
пристроями (б)

А В С

Більш поширеною є система, що складається з багатопостового випрямляча постійного струму і постових баластових реостатів $Я_6$, які виконують функції розв'язки, регулятора струму, напруги і створення спадних характеристик на посту (рис. 3.54а).

Рівняння зовнішньої характеристики на окремому посту і принцип регулювання струму можна вивести з умов роботи зварювального поста в режимі навантаження.

$$U_0 = U^+_{Ц} = U_0^{\text{п.}} \quad (3.8)$$

З рівняння (3.8) бачимо, що зі зростанням струму I_d спад напруги U_0 на баластовому опорі збільшується, а напруга u_n поста знижується, тобто:

$$U_0 = U^+_{Ц} = U_0^{\text{п.}} + I_d R_0$$

Якщо в системі застосовується баластовий реостат з малим опором, то на посту створюються пологоспадні зовнішні характеристики, необхідні для механізованого зварювання у вуглекислому газі. При ручному дуговому зварюванні для створення крутоспадних характеристик застосовуються реостати з великим опором.

При навантаженні падіння напруги на посту $u_n = u_a$. Тоді з рівняння (3.8)

$$U_0 = (U_{\text{в}} - U_0) / Y_0 \quad (3.8)$$

Регулювання зварювального струму на посту здійснюється за рахунок зміни опору баластового реостата. При зварюванні в CO_2 баластовим опором змінюють напругу на дузі.

Конструкцією випрямляча передбачено також ступінчасте регулювання напруги U .

Система багатопостового живлення з постовими пристроями у вигляді тиристорно-діодного випрямного блоку (рис. 3.546) забезпечує роздільне регулювання струму та напруги. За рахунок 33Н і 33С можливо створювати різні за формою види зовнішніх характеристик.

Конструкції багатопостових зварювальних випрямлячів

Для ручного дугового зварювання застосовуються багатопостові зварювальні випрямлячі типу ВДМ-1001УХЛ4, ВДМ-1201УХЛ4 і ВДМ- 1601 УЗ, технічні характеристики яких наведені в табл. 3.2.

Спрощену принципову електричну схему ВДМ-1201 подано на рис. 3.55.

Випрямляч складається із трифазного знижувального трансформатора, випрямного блоку, вентилятора, пускової і захисної апаратури. Первинні обмотки трансформатора I , I_b , I_c з'єднані у “зірку”, вторинні II , II_b , II_c і III , III_b , III_c - в дві “зірки” з виведеними нулями. Випрямний блок U_0 , зібраний за шестифазною кільцевою схемою, складається з шести вентилів у кожній фазі. Живлення випрямляча здійснюється від мережі через автоматичний вимикач ОГ. ВДМ-1201 вмикається при вимкненому навантаженні кнопкою $в1$. При цьому вмикаються пускачі $K1$, $K2$, електродвигун вентилятора M і трансформатор T . Для виключення помилкових спрацьовувань і максимального захисту автоматичного вимикача у коло первинної обмотки трансформатора введенні додаткові резистори $Я2$ і $Я3$. Послідовність вмикання апаратури обрана такою, що спочатку контактами пускача $K1$ вказані опори вмикаються в первинній обмотці, а далі шунтуються головними контактами $K2.2$ пускача $K2$. Випрямляч зупиняється натисканням кнопки 52 . Трансформатор захищений від

перевантажень тепловими реле *KK2*, вмонтованими в магнітний пускач *K2*, які вимикають ВДМ від мережі при перевантаженнях. Кола керування захищені плавкими запобіжниками ЯУ1-Я73. Вентилі випрямного блоку мають захист від перенапруг у вигляді /?-С кіл. Для контролю роботи передбачені амперметр *РА* з шунтом /?5,

А В С

вольтметр *PY* і сигнальна лампочка *НБ*. Отримання спадних характеристик і регулювання струму на зварювальних постах здійснюється баластовими реостатами типу РБ, які підключаються до навантаження з допомогою рубильників. При різних комбінаціях увімкнених рубильників реостат може змінювати опір від 0,1 до 5 Ом. Випрямляч ВДМ-1601УЗ має таку ж електричну схему, але його випрямний блок зібраний з 12 вентилів, тобто по два вентиля в кожному плечі паралельно. Джерела типу ВДМ нестабілізовані, однак у них передбачено можливість підвищення вихідної напруги на 5 % з метою отримання номінальної випрямленої напруги при зниженні напруги мережі.

Для зварювання у вуглекислому газі до багатопостового випрямляча висуваються більш жорсткі вимоги.^{АВС} Оскільки при зварюванні в CO_2 , виходячи з технологічних вимог, не допускається коливання робочої напруги більш, ніж на 1,5 В, вихідна напруга випрямляча повинна бути стабілізована з точністю не нижче 5 %, а зовнішня характеристика повинна мати нахил не більш 0,002 В/А. Крім цього, глибина регулювання напруги повинна складати порядку 2, постовий пристрій має обмежувати розбризкування електродного металу.

Для механізованого зварювання у вуглекислому газі застосовуються випрямлячі типу ВМГ-5000 і ВДГМ-1602, технічні характеристики яких подані в табл. 3.2.

Багатопостовий зварювальний випрямляч ВМГ-5000 призначений для механізованого зварювання в CO_2 на 30 постах з номінальним струмом на посту 315 А. Він має жорстку зовнішню характеристику і зібраний за шестифазною схемою випрямлення зі зрівняльним реактором і використанням некерованих вентилів В 200. Багатопостова система має розподільні шинопроводи низької і підвищеної напруги. На кожній автономній системі шинопроводів можна змінювати напругу незалежно від напруги на іншій, що досягається за рахунок зміни вихідної напруги випрямляча. Для цього первинна обмотка трансформатора з нормальним розсіянням з'єднана в "зірку", секціонована, що дозволяє отримати п'ять значень фазних ЕРС вторинних обмоток (низького 30, 35, 40, 50 В і високого 60 В). При зварюванні в CO_2 дротом діаметром менше 2 мм рекомендується вмикати пости на шинопроводи з низькою напругою, більше 2 мм

- на шинопроводи з підвищеною напругою.

A B C

Формування пологоспадної зовнішньої характеристики і регулювання напруги на посту здійснюється баластовими реостатами типу РБГ. Від настроювання опору баластового реостата залежить надійність запалювання дуги і стійкість процесу зварювання. Для забезпечення надійного запалювання і стійкості процесу при великокрапельному переносі металу $I_{\text{ф}}$ повинне бути не меншим за 0,12 Ом, для обмеження розбризкувань - не менше 0,07 Ом. При зварюванні у вертикальному і стельовому положеннях з метою забезпечення направлено перенесення електродного металу величину $I_{\text{ф}}$ доводиться зменшувати. Тому в цьому випадку для зменшення розбризкувань постовий пристрій доповнюється дроселем.

Для зварювання плавким електродом ABC у вуглекислому газі застосовуються також багатопостові випрямлячі серії ВДГМ, у яких електричні схеми силових кіл і системи фазового керування тиристорами такі ж, як і у випрямляча типу ВДУ-1601. Вони забезпечують сталість випрямленої напруги з точністю ± 1 В як при змінах навантаження, так і при коливаннях напруги мережі живлення в діапазоні від +5 % до -5 % номінального значення U_n . Регулювання режимів зварювання при використанні цих випрямлячів виконується як баластовим реостатом типу РБГ, так і зміною швидкості подавання електродного дроту.

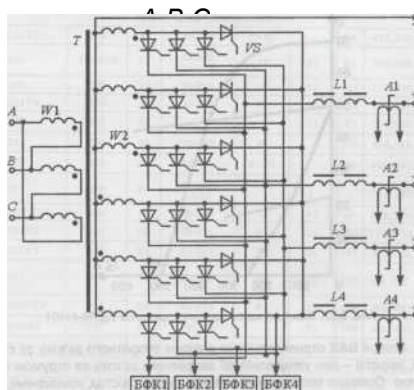
Поряд із багатопостовими системами живлення, розглянутими вище, у промисловості застосовуються і багатопостові універсальні зварювальні випрямлячі з тиристорним регулюванням струму і напруги на кожному посту. Такі установки можуть розміщуватися на різних зварювальних ділянках, утворюючи при необхідності місцеві системи багатопостового живлення. До них належать випрямлячі типів ВДУМ-2х301 і ВДУМ-4х401, розраховані на живлення двох і чотирьох постів. Технічні характеристики їх наведені в табл. 3.2.

Універсальні тиристорні випрямлячі з безреостатним регулюванням режиму постів мають загальний зварювальний трансформатор і незалежні тиристорні випрямні блоки із самостійними пристроями фазового керування.

Постовий блок формує як крутоспадні, так і жорсткі зовнішні характеристики і може застосовуватись при ручному і механізованому зварюванні в CO_2 . Система з

паралельно працюючими тиристорними блоками накладає додаткові вимоги на вибір схеми випрямлення зварювального посту, оскільки працюючий тиристор одного випрямного блоку не повинен шунтувати тиристор іншого. Рационально використовувати шестифазну нульову або несиметричну трифазну 224 мостову схему, у якій тиристори встановлені тільки в катодній групі. Випрямлячі можуть бути також виконані за простою шестифазною схемою випрямлення або двічі трифазною зі зрівняльним реактором. Недоцільне застосування трифазної мостової і шестифазної кільцевої схем випрямлення.

Спрощену принципову електричну схему силової частини ВДУМ-4х401 подано на рис. 3.56.



Випрямляч складається із трансформатора Т, чотирьох незалежних силових тиристорних випрямлячів, блоків фазового керування БФК з датчиками струму на магнітних підсилювачах А і дроселів І, увімкнених у коло випрямленого струму. Дросельна котушка призначена не тільки для згладжування і обмеження піків струму в процесі зварювання, але й виконує роль розподільного дроселя, що забезпечує незалежність роботи постів і тиристорних випрямних блоків. Схема випрямлення виконана за простою шестифазною схемою з нульовою точкою. Схема фазового керування тиристорами кожного поста працює за вертикальним принципом. У випрямних блоках застосовуються тиристори типу Т-160.

Зовнішні характеристики випрямляча подані на рис. 3.57.

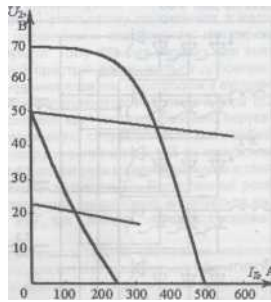


Рис. 3.57.

Зовнішні
характеристики
джерела ВДУМ-
4х401

А В С

Спадчі ВАХ отримуються за рахунок зворотного зв'язку за струмом, жорсткі - при узгодженій дії зворотного зв'язку за струмом і напругою. Оскільки охолодження тиристорів на постах ускладнене, всі постові пристрої встановлені в загальному корпусі. Це дещо збільшує витрати зварювальних кабелів і обмежує кількість постів. Випрямляч забезпечує стабілізацію параметрів при коливаннях напруги мережі. Регулювання струму і напруги кожного посту здійснюється дистанційним пультом керування. Охолодження трансформатора і тиристорів – повітряне примусове.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики
зварювальних
випрямлячів

а 1 ^	я и а I.н	регу	1 	Ном	Xi ^{и*} 1p ^и а
ВЛ-	125	2	40	4	2470
ВЛ-	180	2	38-	70	136330
ВЛ-	200	5	30	65	13730
ВЛ-	200	6	30	71	13730
ВЛ-	250	4		21	7260
ВЛ-	250	6	10	80	1610
ВЛ-	250	2	80	6	1610
ВЛ-	300	6	45-		825
ВЛ-	300	4	60	12	6560
ВЛ-	215	6	50	65	241200
ВЛ-	215	6	45	70	241785
ВЛ-	315	3	80-	60	251360
ВЛ-	215	6	80	65	221760
ВЛ-	215	6	50	21	1260
ВЛ-	215	7	45	67	2005
ВЛ-	220			7	075
ВЛ-	400	6	50	80	1820
ВЛ-	400	6	50	80	22772
ВЛ-	500	4	215	06	492005
ВЛ-	500	4		05	21300
ВЛ-	500	6	50	05	261300
ВЛГ	100	2	65	65	82470
ВЛГ	100	2	65	65	82410
ВЛ-	315	6	50		
ВЛ-	300	8	30		2610

600,650, 900

700,650, 1030 720, 530, 655 600, 850, 775

1000,700, 1450

Тиристорне регулювання 790, 600, 950 515,260,400

680,320,865

460,175,375

975,635. 760

830,620, 1080 740,600,920

Таблиця 3.2 (продовження)

740, 600,920

1400,850, 1250

1090, 780, 950

1450,850, 1200

	1	2	3	4	5	6	7	8
ИЛИУ	315	2	50	75	2	1	720	
ИЛИУ	500	1	50	85	4	2	700	
ИЛИУ	125	1	50	85	1	5	660	
ВЛГ	160	2	50	1	7	5	500	
ВЛГ	315	6	50-	60	2	2	735	
ВЛГ	315	1	50	50	1	1	700	
ВЛГ	400	6	80-	60	2	1	595	
ВЛГ	500	1	50	65	2	2	1100	
ВЛГ	500	1	80-	2	3	2	730	
ВЛГ	630	6	10	90	6	5	250	
ВЛ	160	2	25	26	6	2	600	
ВЛ	160	3	10-	-	-	2	200	
ВЛ	315	6	50-	80	1	7	600	
ВЛ	315	3	30-	42		4	250	
ВЛ	315	4	50	70	1	5	500	
ВЛ	150		5	24	6		115	
ВШ	125		20			4	470	
ВШ	140	2	5	70	5	7	240	
ВШ	160	2	5	70	6	8	240	
ВШ	315	2	10	70	1	1	425	
ВШ	315	4	40	70	1	4	450	
ВШ	315	4	10	70	1	5	500	
ДС	140	6	25			1	200	
ДС	250	7	25	65		1	200	
ПИР	160	6	5-	65		1	675	
ПИР	500	6	25-	80		1	710	

Таблица 3.2 (продовження)

ВСК-303УЗ

200,450,350

61600,300,520

Багатопостові випрямлячі

750,700, 900

1350,700, 800

(продовження)

1100,620,850

965001050,700,900

317 1900 1500,115,1685

Випрямлячі з дроселем насичення

720,

590,

938

4. ЗВАРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ, ПЕРЕТВОРЮВАЧІ І АГРЕГАТИ

4.1. ПРИЗНАЧЕННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ І ВИМОГИ, ЯКІ ВИСУВАЮТЬСЯ ДО ГЕНЕРАТОРІВ

Зварювальний генератор є електричною машиною, яка забезпечує легке збудження дуги і утворення якісного зварного з'єднання шляхом перетворення механічної енергії обертання якоря в електричну енергію постійного струму.

Перетворювач являє собою комбінацію зварювального генератора, якір якого приводиться в обертання з допомогою трифазного асинхронного двигуна змінного струму і застосовується в основному для ручного дугового й механізованого зварювання в захисних газах і під флюсом у цехових умовах.

Зварювальний агрегат відрізняється від перетворювача тим, що для обертання ротора генератора замість електричного привода застосовується бензиновий або дизельний двигун. Агрегати застосовуються в основному для ручного дугового зварювання в умовах відсутності живлення електричної мережі.

Оскільки генератор є основним електроапаратом, який створює умови для живлення зварювальної дуги, то детально розглядаються конструктивні особливості, принцип дії, характеристики тільки зварювальних генераторів.

Генератори поділяються на колекторні (мотор-генератори) і вентильні (індукторні).

Колекторні генератори складаються з частин що обертаються (якір з колектором), і нерухомих (статор з магнітними полюсами, щітки для знімання струму і т. п.).

Вентильні генератори складаються із трифазного генератора змінного струму і силового випрямного блоку, зібраного за мостовою схемою випрямлення.

Колекторні генератори однопостової системи класифікують у залежності від способу збудження і вольт-амперних характеристик.

Генератори із самозбудженням і спадною ВАХ:

- поперечного магнітного кола;

- із розщепленими полюсами;
- з паралельною намагнічувальною і послідовною розмагнічувальною обмотками збудження.

Генератори із самозбудженням і жорсткою ВАХ:

- з несиметричною або різнонасиченою магнітною системою.

Генератори з незалежним збудженням і спадною ВАХ:

- з незалежною обмоткою збудження і послідовною розмагнічувальною обмоткою.

Генератори з незалежним збудженням і жорсткою ВАХ:

- з незалежною обмоткою збудження і послідовною підмагнічувальною обмоткою.

Універсальні зварювальні генератори:

- в яких спадна і жорстка ВАХ створюється за рахунок обмотки незалежного збудження і послідовної обмотки, що працює як в режимі розмагнічування, так і підмагнічування.

Колекторні генератори багатопостової системи застосовуються в основному як генератори із самозбудженням і послідовною підмагнічувальною обмоткою, що створює жорстку ВАХ.

У процесі роботи в промисловості з'явився основний тип зварювальних генераторів зі спадними і жорсткими характеристиками, технологічні властивості яких відповідають сучасним вимогам технології дугового зварювання. Такими виявилися генератори з незалежним збудженням і самозбудженням з послідовною розмагнічувальною і підмагнічувальною обмотками, а також вентильні генератори. Крім них, у менших обсягах застосовуються універсальні, багатопостові та генератори з несиметричною магнітною системою. Зварювальні генератори поперечного магнітного поля і з розщепленими полюсами, в силу гірших технологічних властивостей, докладно подані у спеціальній літературі і в цьому посібнику не розглядаються.

Технічні характеристики зварювальних обертальних джерел живлення порівняно низькі. Крім того, вони займають значну виробничу площу, створюють

при роботі сильний шум та вібрацію.

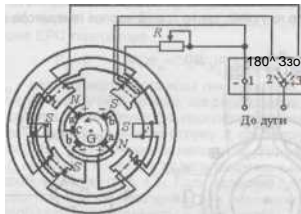
4.2. КОЛЕКТОРНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ

4.2.1. Генератори з паралельною намагнічувальною і послідовною розмагнічувальною обмотками збудження

Конструктивні особливості та принципова електрична схема.

Генератори входять до складу агрегатів і перетворювачів. Вони мають спадну зовнішню характеристику і призначені для ручного дугового зварювання, наплавлення, різання та частково для зварювання під флюсом.

На рис. 4.1 показано будову магнітної системи генератора із самозбудженням у



вигляді чотирьох основних полюсів зі звичайним чергуванням полярності Л/-5-Л/-5 і двох додаткових полюсів південної полярності 5-5 для покращення

Рис. 4.1. Конструкція генератора із самозбудженням

комутації і зменшення іскроутворення.

Намагнічувальна обмотка НО розміщена тільки на основних полюсах полярності $N-N$, а послідовна розмагнічувальна обмотка ПР - на полюсах 5-5. Генератор має п'ять щіток, з яких дві з'єднані щітки "а" утворюють додатний, а дві щітки "б" - від'ємний вихід генератора. Між основними щітками "а" і "б" є додаткова щітка "с", яка використовується для живлення обмотки НО. Для полегшення розуміння принципу дії джерела розглядається робота у вигляді двополюсного

генератора (рис. 4.2а). Він має паралельну намагнічувальну обмотку НО на полюсі полярності А/ і послідовну розмагнічувальну обмотку ПР на полюсі в. Магнітні потоки обмоток НО і ПР у вигляді потоків Φ_n і Φ_p направлені назустріч, а потік реакції якоря Φ_a направлений за правилом “буравчика”. Додаткова щітка “с” ніби ділить якір генератора на дві симетричні частини, ліву “ас” і праву “сб”. У полюсах непрацюючого генератора завжди існує залишковий магнетизм у вигляді потоку $\Phi_{здл}$. Після запуску генератора у витках якірної обмотки під дією $\Phi_{ЗЛЛ}$ виникає залишкова ЕРС 3-5 В, яка і створює в намагнічувальній обмотці намагнічувальний струм I_n . У свою чергу I_n викликає створення поступово наростаючого потоку намагнічування Φ_n . Процес самозбудження закінчується при повному насиченні полюсів генератора. Для цього необхідно, щоб потоки Φ_n і $\Phi_{ЗЛЛ}$ збігалися з напрямком обертання якоря генератора.

Робота генератора і створення спадної зовнішньої характеристики.

Для аналізу роботи в різних режимах розглядається взаємодія магнітних потоків як у лівій, так і в правій частині генератора (рис. 4.26).

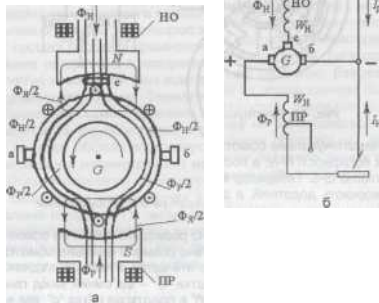


Рис. 4.2.

Електромагнітна схема
(а), електрична схема
(б) генератора із
самозбудженням та
послідовною
розмагнічувальною
обмоткою

Умови роботи генератора у даному режимі:

$I_n \neq 0$, $I_d = 0$, тоді $\Phi_n \neq 0$, $\Phi_p = 0$, $\Phi_a = 0$ ЕРС в лівій частині генератора (рис. 4.26)

визначається як:

$$E = \frac{C}{p} \Phi_n$$

де C - постійна генератора, яка дорівнює $\frac{N}{2\pi}$, де

p - число пар полюсів;

n - число обертів генератора на хвилину;

N - число активних проводів обмотки якоря;

a - число пар паралельних гілок якірної обмотки;

I_n - струм у паралельній обмотці збудження, А;

I/U_n - число витків паралельної обмотки збудження;

λ/p - число витків послідовної розмагнічувальної обмотки;

λ - магнітний опір на шляху проходження магнітного потоку Φ_n .

У правій частині генератора $\mathcal{E}_{сб} = C\Phi_n/2 = C/I_n U_n/2\lambda$.

Сумарна ЕРС генератора

$$E = E_{сб} + E^* = C I_n^* = u_{ю}, (4.2)$$

де u_{20} - напруга неробочого ходу генератора, В.

Виходячи з виразу (4.2) бачимо, що регулювання u_{20} можна проводити за рахунок зміни струму I_n в паралельній обмотці збудження. При насиченні полюсів зі зміною струму I_n одночасно змінюється і магнітний опір λ , тому залежність напруги u_{20} від намагнічувального струму I_n нелінійна, і її можна подати графічно у вигляді характеристики неробочого ходу (рис. 4.3). Коли величина $I_n < I_{н\text{тп}}$, тобто коли магнітопровід полюсів не насичений, при невеликих коливаннях I_n напруга неробочого ходу коливається дуже сильно, і самозбудження не надійне. Після насичення полюсів самозбудження проходить надійно, а при невеликій зміні I_n напруга неробочого ходу змінюється незначно. Тому кратність регулювання $C/20$ в генераторі із самозбудженням порівнянно невелика, тобто $u_p \approx 1.4$

$u_{20\text{тп}}$

НАВАНТАЖЕННЯ

Умови роботи генератора в режимі навантаження:

$$I_n \neq 0, I_d \neq 0, \text{тоді } \Phi_n \neq 0, \Phi_p \neq 0, \Phi_y \neq 0.$$

235

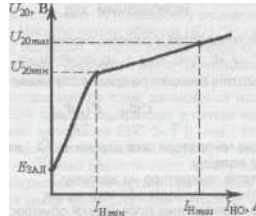


Рис. 4.3.

**Характеристи
ка неробочого
ходу
генератора із
самозбудженн
ям**

ЕРС у лівій частині генератора:

$$E_{ac} = C(\Phi_n - \Phi_p - \Phi_y)^2 = C \left(\frac{W}{2R} - C I_R \frac{W_p}{2R} - C I_R \frac{W_y}{2R} \right)^2 \quad (4.3)$$

ЕРС в правій частині генератора

$$E_{cb} = C(\Phi_n - \Phi_p + \Phi_y)^2 = C \left(\frac{W}{2R} - C I_R \frac{W_p}{2R} + C I_R \frac{W_y}{2R} \right)^2 \quad (4.4)$$

При розрахунку генератора число витків розмагнічувальної обмотки I_p і число витків якірної обмотки I_y добирають таким чином, щоб магнітні потоки цих обмоток Φ_p і Φ_y компенсували один одного, тобто $I_p \ll I_y$. Тоді сумарний магнітний потік на ділянці між щітками “с-б” залишається таким, як і при неробочому ході, і отже, ЕРС E_{cb} практично не змінюється порівняно з ЕРС в режимі неробочого ходу. При цьому забезпечується незалежність збудження від струму навантаження.

Сумарна ЕРС на основних щітках генератора буде рівна

$$E_{\Sigma} = E_{ac} + E_{cb}$$

$$E_{\Sigma} = C \left(\frac{W}{2R} - C I_R \frac{W_p}{2R} - C I_R \frac{W_y}{2R} \right)^2 + C \left(\frac{W}{2R} - C I_R \frac{W_p}{2R} + C I_R \frac{W_y}{2R} \right)^2 = U_{20} - C \frac{W_p}{2R} I_R \frac{W_y}{2R} \quad (4.5)$$

де $I_a R_a$ - спад напруги за рахунок активних опорів генератора (провідників якоря, колекторно-щіткових пристроїв, з'єднувальних проводів). Тоді

$$U = U_{20} - C I_R W_p I_2 R - C I_R W_{\Sigma} I_2 R - I_R R = U_R \quad (4.7)$$

236

НЕРОБОЧИЙ ХІД

З рівняння (4.7) бачимо, що зі зростанням струму навантаження I_{Σ} напруга генератора u_2 зменшується, що свідчить про спадну зовнішню характеристику. Спадна характеристика утворюється за рахунок розмагнічувальної дії магнітних потоків серієсної (розмагнічувальної) та якірної обмоток, а також частково за рахунок падіння напруги ΔU_A генератора.

Із співвідношення (4.7) за умови визначається струмна навантаження:

$$I_{\Sigma} = \frac{U_{\Sigma}}{C I U_P / L_{\Sigma} + L_A} \quad (4.8)$$

Плавне регулювання струму виконується за рахунок зміни напруги неробочого ходу генератора U_{20} , рівень якої в основному визначається величиною струму намагнічування I_H у паралельній обмотці збудження з допомогою реостату Я. Оскільки кратність регулювання I_{20} обмежена умовами надійного самозбудження, то і кратність плавної зміни зварювального струму $I_{\Sigma} \text{ тах} / I_{\Sigma} \text{ min}$ невелика і становить приблизно 2,-2,5. Ступінчасте регулювання струму забезпечується за рахунок зміни числа витків послідовної розмагнічувальної обмотки W_p . Якщо $I_p=100\%$ - ступінь малих струмів, при $I_p=40\%$ - ступінь великих струмів.

КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ

Виходячи з того, що вольт-амперна характеристика генератора спадна, то $u_2 = I_{\Sigma} \gg 0$. Тому

$$I_{\Sigma} = \frac{U_{20}}{C I U_P / L_{\Sigma} + L_A} \quad (4.9)$$

В режимі короткого замикання так само, як і в режимі навантаження плавне регулювання струму I_{Σ} здійснюється зміною U_{20} з допомогою реостата Я за рахунок регулювання струму збудження I_H . Ступінчасте регулювання струму I_{Σ} виконується шляхом зміни числа **ВИТКІВ I_p** послідовної обмотки.

Графіки зовнішніх характеристик генератора наведені на рис. 4.4.

При невеликих значеннях струму навантаження сумарний магнітний потік Φ_p і

$\Phi_{\text{я}}$ буде менше потоку $\Phi_{\text{н}}$. Тоді з рівняння (4.3) $\mathcal{E}_{\text{ac}} > 0$, отже, ЕРС E_{a6} між основними щітками “а-б” буде більше 0. При визначеній величині зварювального струму настає момент, коли $\Phi_{\text{р}} + \Phi_{\text{я}}$ стає рівною (за абсолютною величиною) потоку $\Phi_{\text{н}}$. При цьому ЕРС на щітках “а-с” спадає до нуля, а $\mathcal{E}_{\text{a6}} = E_{\text{с6}}$ (точка В, рис. 4.4).

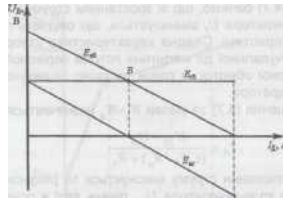


Рис. 4.4.
Зовнішні
характеристики
генератора із
самозбудження
м

З подальшим зростанням струму навантаження коли $\Phi_{\text{р}} + \Phi_{\text{я}} > \Phi_{\text{н}}$, напруга на щітках “а-с” змінює свій знак і $E_{\text{a6}} = E_{\text{с6}} - \mathcal{E}_{\text{ac}}$.

4.2.2. Конструкція зварювальних генераторів, агрегатів і перетворювачів

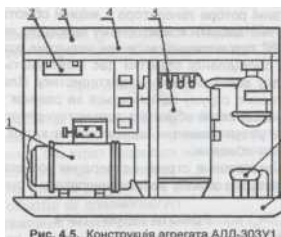
Генератори із самозбудженням використовуються у складі зварювальних агрегатів, перетворювачів. Їх технічні характеристики наведені в табл. 4.1.

Розглянемо конструкцію одного з агрегатів на прикладі АДД- 303У1 (рис. 4.5).

Він складається з генератора-1 типу ГСО-300-12У2 і дизельного двигуна-5 типу Д-144-80, з'єднаних в єдиний блок з допомогою фланцевого з'єднання. Генератори та двигуни закріплені на металевій рамі-7 на гумових амортизаторах. Генератор має дві пари основних $\Lambda/\text{в}$ і пару додаткових полюсів в. Паралельна намагнічувальна обмотка НО розміщена на $\Lambda/$ полюсах, а послідовна розмагнічувальна ПР - на полюсах в, завдяки чому зменшується взаємна індуктивність обмоток і значно покращуються динамічні властивості генератора.

Агрегат має металевий кожух-3, паливний бак-2, який забезпечує безперервну

роботу агрегата протягом 4,5 годин. Для нормальної роботи передбачена апаратура керування, контрольно-вимірювальні прилади, які розміщені на пульті керування-4. Двигун чотири- ціліндровий з повітряним охолодженням, з генератором, стартером і електричними датчиками. Двигун запускається з допомогою двох акумуляторних батарей-6.



7

За такою самою схемою працюють генератори у зварювальних перетворювачах для ручного дугового зварювання типу ПСО-300-5У2, ПСО-315-МУ2 і ПС-500, який випускався раніше.

4.2.3. Зварювальний генератор системи незалежного збудження з послідовною розмагнічувальною обмоткою. Конструкція і принцип дії

Генератори даної системи широко застосовуються у вигляді зварювальних перетворювачів, оскільки незалежна обмотка збудження живиться від тієї ж мережі, що підводиться до електродвигуна. Вони призначені в основному для ручного дугового зварювання і різання плавленням, а також частково і для зварювання під флюсом.*

Генератор має нерухому частину - статор²³⁹ із чотирма головними полюсами і обертову частину - ротор - якорі із колектором з двома спареними щітками. На двох геометрично протилежних одно- іменних N полюсах вкладається обмотка незалежного збудження НО, на двох інших в полюсах - послідовна розмагнічувальна обмотка ПР.

Обмотка НО живиться від мережі через знижуючий трансформатор та випрямний блок, який змонтовано в корпусі генератора. Обмотка ПР увімкнена послідовно з якорем і навантаженням. Магнітні потоки Φ_H і Φ_P , які створюються цими обмотками, замикаються на полюси, залізо якоря, корпуси генератора і

направлені зустрічно (рис. 4.6).

При обертанні ротора генератора в якірній обмотці утворюється змінна ЕРС, яка завдяки колекторному пристрою перетворюється в постійну ЕРС при незмінній величині магнітних потоків. Розмагнічувальна дія послідовної обмотки дає можливість отримати в генераторі спадну вольт-амперну характеристику. Плавне регулювання зварювального струму здійснюється за рахунок зміни струму збудження I_n в незалежній обмотці з допомогою регулятора струму Я1, ступінчасте регулювання - зміною числа витків послідовної розмагнічувальної обмотки.

Принцип регулювання струму і створення зовнішньої характеристики визначається з аналізу роботи генератора в різних режимах.

РОБОТА ГЕНЕРАТОРА

Аналіз роботи генератора проводиться у трьох режимах: неробочий хід, навантаження та коротке замикання.

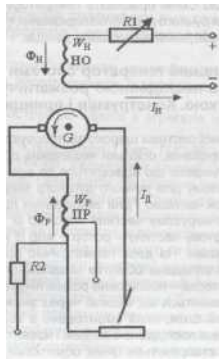


Рис. 4.6.
Спрощена
електрична
схема
генератора
незалежного
збудження з
послідовною
розмагнічув
альною
обмоткою

Неробочий хід. Умови роботи генератора $I_d=0, I_n \neq 0, \Phi_n \neq 0, \Phi_c, \Phi_j=0$.

Струм намагнічування I_n , проходячи по обмотці **НО**, створює магнітний потік Φ_n , завдяки чому в якірній обмотці утворюється ЕРС генератора E_g

$$E_g = C\Phi_n = \xi \cdot I_n \cdot U_n = u_{20} \quad \langle 4.10 \rangle$$

де C - постійна генератора, U_n - число витків незалежної обмотки збудження, - магнітний опір на шляху потоку Φ_n .

Величина E_g без втрат подається на клеми генератора і дорівнює напрузі неробочого ходу генератора (U_{20}). З виразу (4.10) випливає, що u_{20} можна плавно регулювати зміною струму збудження I_n в незалежній обмотці за допомогою [?].

Навантаження. Умови роботи генератора $I_d \neq 0, \Phi_n, \Phi_p, \Phi_j \neq 0$.

В режимі навантаження по зварювальному колу, по якірній та розмагнічувальній обмотках проходить струм I_d , який створює магнітні потоки Φ_p і Φ_j . Потік Φ_p направлений назустріч потоку Φ_n , а потік реакції якоря Φ_j замикається по тілу якоря та полюсного башмака і направлений перпендикулярно Φ_n та Φ_p . Тому результуючий магнітний потік $\Phi_\Sigma = \Phi_n - \Phi_p$. Сумарний потік Φ_Σ створює ЕРС генератора E_g

$$E_g = C\Phi_\Sigma = C(\Phi_n - \Phi_p) = C\Phi_n - C\Phi_p \quad (4.11)$$

$$I_{\text{ГВ}} \cdot \Phi_n - I_d \cdot L_A = C \cdot I_n - C \cdot I_d \cdot L_A = a_{\text{ао}} \cdot I_d + L_A \cdot I_d \quad (4.12)$$

де $I_p \Gamma^3 d$ - спад напруги за рахунок втрат в активному опорі генератора (опір провідників якоря, колектора, щіток і т. п.).

Остаточний вигляд виразу (4.12) характеризує рівняння зовнішньої характеристики генератора незалежного збудження з послідовною розмагнічувальною обмоткою. З виведеного рівняння бачимо, що зі зростанням струму навантаження I_d напруга генератора u_g спадає за рахунок магнітного потоку послідовної розмагнічувальної обмотки і часткового спаду напруги в середині генератора.

Фізичний зміст формування спадної вольт-амперної характеристики полягає в тому, що зі збільшенням зварювального струму I_d потік Φ_p зростає, що призводить до зменшення результуючого магнітного потоку Φ_Σ , до зниження ЕРС E_g і напруги

u_z генератора, тобто:

$$\partial \Phi_p \Phi_m i \Rightarrow E_z \Rightarrow u_z \quad i$$

Із виразу (4.12) за умови рівності напруги дуги і генератора $\{u_z = u_a\}$ можна визначити величину зварювального струму:

$$u \quad i \quad (4.13)$$

$$^d (C^p / D_{\text{ц}}) + L_A$$

З наведеної формули бачимо, що при постійній величині E/d струм навантаження можна регулювати шляхом зміни напруги неробочого ходу генератора (плавне регулювання) або зміною числа витків послідовної обмотки I/p (ступінчасте регулювання).

Основний спосіб регулювання - плавна зміна струму навантаження регулятором струму Я1 в колі незалежної обмотки збудження. При цьому за рахунок регулювання струму намагнічування I_n відбувається зміна напруги $C/20$. Фізичне пояснення цього способу полягає в наступному. Зі збільшенням струму намагнічування I_n зростає Φ_n , а отже - і результуючий потік Φ_r . В результаті цього збільшується ЕРС E_r , напруга u_z і струм I_d генератора.

$$I_n \Rightarrow \Phi_n \Rightarrow \Phi_r \Rightarrow E_r \Rightarrow u_z \Rightarrow I_d$$

Кратність плавного регулювання зварювального струму $I_{\text{дтах}} / I_{\text{дгп}}$ невелика і складає приблизно 2...3. Це пояснюється тим, що зі зростанням I_d збільшується і напруга неробочого ходу генератора, яка обмежена вимогами техніки безпеки і становить 60-100 В.

Ступінчасте регулювання струму здійснюється зміною числа витків послідовної розмагнічувальної обмотки. При 100 % увімкненні числа витків I/p -ступінь малих струмів, при 40 %-ступінь великих струмів.

На рис. 4.7 наведено графічне зображення спадної зовнішньої характеристики генератора. Зі зростанням струму I_d (при зміні опору навантаження) напруга генератора u_z спадає:

$$I_d \Rightarrow u_z \quad 4$$

Спадна зовнішня характеристика у генераторі з послідовною обмоткою створюється завдяки її розмагнічувальній дії.

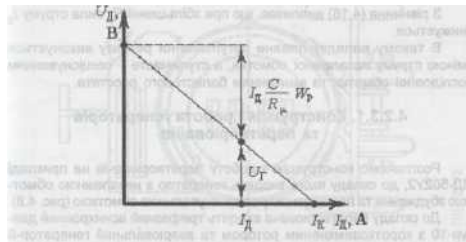


Рис. 4.7. Зовнішня характеристика генератора з незалежним збудженням

Коротке замикання. Режим к. з. можна розглядати як випадок режиму навантаження. При спадній ВАХ в режимі короткого замикання $u = u^0$. Тоді з рівняння (4.13) струм $I_{кз}$ буде дорівнювати:

$$I_{кз} = \frac{U_0}{(O_{ГР}/Y_{ц}) + Y_A} \quad (4.14)$$

В режимі короткого замикання, так само як і в режимі навантаження, плавне регулювання струму $I_{кз}$ здійснюється за рахунок зміни напруги неробочого ходу u_{20} , а ступінчасте - шляхом зміни числа витків обмотки I_p . Рідше ступінчасте регулювання виконують з допомогою баластового реостата $Y_{БЗ}$ опором $Y_{Б2}$, встановленого послідовно з дугою.

Рівняння зовнішньої характеристики генератора з баластовим реостатом має вигляд:

з рівняння регулювання зварювального струму $I_{Д}$ виглядає так:

$$I_{Д} = \frac{U_0}{(O_{ГР}/Y_{ц}) + Y_A + i_{ГБ}} \quad (4.16)$$

З рівняння (4.16) випливає, що при збільшенні $Y_{Б}$ сила струму $I_{ц}$ знижується.

В такому випадку плавне регулювання режиму виконується зміною струму незалежної обмотки, а ступінчасте - секціонуванням послідовної обмотки та вмиканням баластового реостата.

Конструкція і робота генераторів та перетворювачів

Розглянемо конструкцію і роботу перетворювачів на прикладі ПД-502У2, до складу якого входить генератор з незалежною обмоткою збудження та послідовною розмагнічувальною обмоткою (рис. 4.8).

До складу перетворювача входить трифазний асинхронний двигун-10 з короткозамкненим ротором та зварювальний генератор-9 типу ГСО-500. Колектор генератора закрито щитками-1, щіточний пристрій встановлено на щиті-4. На розподільчій коробці-5 кріпляться дошки затискувачів двигуна-3 і генератора-2, амперметр-7 та пакетний вимикач двигуна-6. Пристрій для регулювання зварювального струму у вигляді реостата-8 може бути винесено на відстань до 20 метрів. Магнітна система має чотири головних полюси. На двох N полюсах розміщена незалежна обмотка збудження НО, на двох 5 полюсах - послідовна розмагнічувальна обмотка ПР. У зв'язку з тим, що ці обмотки рознесені на різних полюсах, зменшується їх взаємна індуктивність, що приводить до значного покращення запалювання зварювальної дуги та динамічних властивостей самого генератора. Є також два додаткових полюси ДП з обмотками для поліпшення комутації, що, у свою чергу, зменшує іскроутворення і збільшує термін роботи генератора. Для ступінчастого регулювання струму послідовна обмотка секціонована перестановкою перемикача на дошці затискачів (рис. 4.9).

Роботу генератора можна розглядати за його принциповою електричною схемою (рис. 4.10).

Конденсатори С1-С3 являють собою фільтр для зменшення перешкод радіоприйому. Пакетний перемикач $ОГ$ слугує для запуску двигуна М в роботу. На дошці Х2 передбачено з'єднання обмоток двигуна в "зірку" напругою 380 В. Обмотка збудження генератора НО живиться від мережі через трансформатори 72 і 73 і випрямний міст VD5-VD8 . Для живлення підмагнічувальних обмоток трансформаторів 72 і 73 застосовується трансформатор 71 та випрямний блок Ш1-Ш4,

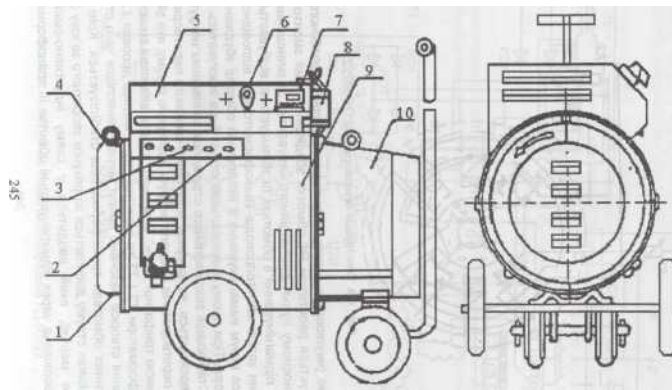


Рис. 4.8. Зовнішній вигляд перетворювача
ПД-502У2

Плавне регулювання струму зварювання і напруги неробочого ходу виконується реостатом Я1 обмотки збудження, який змонтований на виносному пульті дистанційного керування. Зі зменшенням Я1 струм підмагнічування в обмотках III збільшується, відбувається насичення заліза магнітопроводів трансформаторів і, відповідно, знижується струм намагнічування в незалежній обмотці збудження генератора. При цьому зварювальний струм буде знижуватись.

Стабілізація зварювального струму при коливаннях напруги мережі досягається за рахунок індуктивно-ємнісного перетворювача, тобто перетворювача джерела напруги у джерело струму, яке зібране за схемою трифазної “зірки”. Для цього у фази ввімкнені ємність С4, трансформатори 72 і 73 та індуктивність у вигляді дроселя *Б*. Таке з’єднання створює резонанс напруг мережі, внаслідок чого струм у первинних обмотках трансформаторів стабілізується. Крім того, стабілізація струму досягається за рахунок зворотного зв’язку за напругою мережі, який вводиться у схему індуктивно-ємнісного перетворювача через підмагнічувальні обмотки

III

трансформаторів

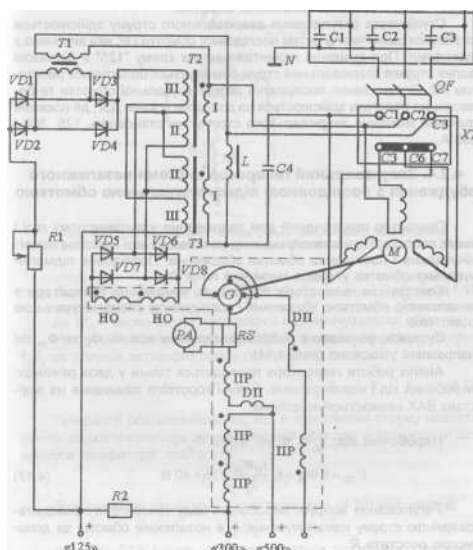


Рис. 4.10. Електрична схема
перетворювача ПД-502У2^с

247

72 і 73. При збільшенні напруги мережі струм у підмагнічувальних обмотках трансформаторів зростає, що перешкоджає збільшенню струму намагнічування незалежної обмотки.

Ступінчасте регулювання зварювального струму здійснюється за рахунок зміни числа витків послідовної обмотки ПР, яка виконана з відводами. При вмиканні навантаження на клему “125” в діапазоні малих струмів зварювальний струм обмежується баластовим реостатом Я2. Перемикання послідовної розмагнічувальної обмотки та баластового реостата здійснюється на дошці затискачів ДЗГ, де показані граничні значення зварювального струму, які становлять 125, 300 і 500 А.

4.2.4. Зварювальний генератор системи незалежного збудження з послідовною підмагнічувальною обмоткою

Генератор призначений для зварювання у вуглекислому газі і являє собою чотирьохполюсну машину на полюсах якої намотані намагнічувальна і послідовна обмотки збудження. Послідовна підмагнічувальна обмотка утворює магнітний потік $\Phi_{\text{п}}$.

Конструкція генератора подібна до конструкції генератора з незалежною

обмоткою збудження і послідовною розмагнічувальною обмоткою.

Суттєвою різницею є напрямки магнітних потоків Φ_n та Φ_{π} , які направлені узгоджено (рис. 4.11).

Аналіз роботи генератора проводиться тільки у двох режимах: неробочий хід і навантаження. Режим короткого замикання на жорстких ВАХ вважається аварійним.

Неробочий хід: $I_d=0$, $\Phi_n \neq 0$, $\Phi_{\pi}=0$, $\Phi_{\gamma}=0$.

IV

$$u_{20} - C\Phi_n = C \frac{d\Phi_n}{dt} = 16-40 \text{ В} \quad (4.17)$$

Регулювання напруги неробочого ходу генератора проводиться зміною струму намагнічування I_n в незалежній обмотці за допомогою реостата Я.

Навантаження: $I_d \neq 0$, $\Phi_n \neq 0$, $\Phi_{\pi} \neq 0$, $\Phi_{\gamma} \neq 0$.

Оскільки магнітні потоки Φ_n і Φ_{π} направлені узгоджено, а Φ_{γ} - перпендикулярно до них, то сумарний потік Φ_{Σ} буде дорівнювати сумі Φ_n та Φ_{π} .

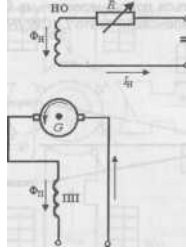


Рис. 4.11.
Спрощена
електрична
схема
генератора
з
послідовно
ю
підмагнічу
вальною
обмоткою

(4.18)

$$\mathcal{E}_Г = C\Phi_{\mathcal{E}} = C(\Phi_{\text{н}} + \Phi_{\text{п}}) = C\Phi_{\text{н}} + C\Phi_{\text{п}}$$

де W_n - число витків послідовної підмагнічувальної обмотки. Напруга u_2 відрізняється від ЕРС $E_{\text{Г}}$ на величину спаду напруги $\Delta u_{\text{А}}$ за рахунок активного опору генератора.

$$u_{\text{Г}} = u_{20} + \Delta u_{\text{А}} \quad (4.19)$$

Генератор розрахований так, що зі зростанням струму навантаження підмагнічувальна дія послідовної обмотки компенсує втрату напруги генератора, тобто:

$$\Delta u_{\text{А}} = C_{\text{Ж}} \Phi_{\text{п}} / W_n$$

Тоді рівняння зовнішньої характеристики (4.19) має вигляд:

$$u = u_{20} + \Delta u_{\text{А}} \quad (4.20)$$

Жорстка ВАХ-1 (рис. 4.12) утворюється за рахунок підмагнічувальної дії

послідовної незалежної обмотки збудження завдяки компенсації спаду напруги всередині генератора. У випадках, коли спад напруги, який утворюється потоком послідовної обмотки, перевищує, перекомпенсує ($\cos \phi < 1$), спад напруги в середині

генератора, створюється пологонаростаюча ВАХ-1. Коли створюються умови недокомпенсації, тобто $I_d (C_{11} / R_{11} - I_d R_d) < I_d R_d$ - ВАХ полого-спадна-3.

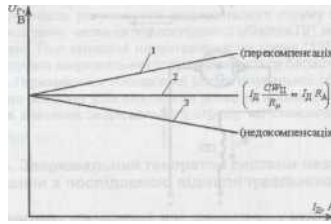


Рис. 4.12. Зовнішня характеристика генератора з підмагнічувальною обмоткою

У промисловості застосовувались зварювальні генератори із жорсткою ВАХ типу ГСГ-300, ГСГ-500-1 у перетворювачах ПСГ-300, ПСГ-500-1.

4.2.5. Зварювальний генератор з несиметричною (різнонасиченою) магнітною системою

Генератор призначений для дугового автоматичного та півавто-матичного зварювання у вуглекислому газі плавким електродом з незмінною швидкістю подачі дроту і має чотири головних та чотири допоміжних полюси. Головні полюси $S_{НАС}$ і $L_{ндс}$ знаходяться поруч і мають вирізи, що зменшує їх поперечний перетин, тобто полюси сильно насичені при будь-яких режимах роботи. Два інших полюси S і N мають розвинений перетин і мале насичення. На них намотана паралельна основна намагнічувальна обмотка Н02 (рис. 4.13).

На полюсах із насиченою магнітною системою намотана обмотка Н01, котра, як і Н02, підімкнена до головних щіток генератора. Таким чином, генератор побудований за системою самозбудження і для початку роботи повинен мати залишковий магнетизм. Обмотки збудження допоміжних полюсів призначені для поліпшення комутації.

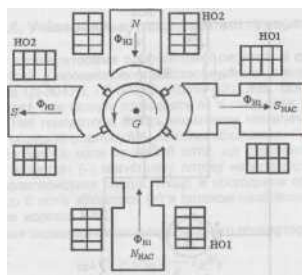


Рис. 4.13.

Електромагнітна
схема з
різнонасиченою
магнітною
системою

Намагнічувальний струм I_{H1} обмотки H01 не регулюється і розрахований так, щоб уже при мінімальній напрузі генератора було забезпечено насичення сильнонасичених полюсів. Отже, в процесі роботи в різних режимах потік Φ_{H1} , який утворюється намагнічувальними силами $I_{H1}W_{H1}$ (де W_w - число витків обмотки H01), залишається приблизно постійним та рівним Φ_{HAC} . Тому у витках якоря під насиченими полюсами утворюється постійна ЕРС $E1 = C\Phi_{HAC}$, яка стабільно живить обмотки H01 та H02, що забезпечує стійке самозбудження генератора. У коло обмотки збудження розвинених полюсів S і N увімкнтий регулятор напруги R1. Потік Φ_{H2} , відповідно і ЕРС $E2$, яка наводиться в обмотці під ненасиченими полюсами, прямо залежний від струму I_{H2} (рис. 4.14).

Тоді

(421)

де W_{H2} - число витків обмотки H02.

Сумарна ЕРС генератора, яка рівна напрузі неробочого ходу U_{20} , має вигляд:

$$C/_{20} = E1 + E2 = C(\Phi_{H1} + \Phi_{H2}) = C(\Phi_{HAC} + I_{H2}W_{H2}/\wedge) \quad (4.22)$$

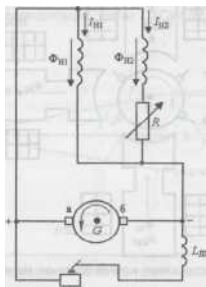


Рис. 4.14.
Спрощена
електрична
схема
генератора з
різнонасиче
ною
магнітною
системою

HO1 HO2

і складається з постійної величини $\mathcal{E}_1$, яка гарантує необхідний нижній рівень напруги, та змінної - $\mathcal{E}_2$, котра залежить від струму намагнічування I_{H2} . При цьому забезпечується необхідна кратність регулювання напруги. Напруга генератора u_2 завжди залишається постійною, оскільки магнітні потоки Φ_{H1} та Φ_{H2} не залежать від зварювального струму, а потік реакції якоря не впливає на напругу. Зовнішня характеристика генератора „іайже жорстка, тобто $u = u_{20}$. Вихідна напруга генератора може змінюватись від 16 до 40 В. Обмотки допоміжних полюсів $I_{дп}$ знижують іскроутворення та поліпшують комутацію. У промисловості застосовується перетворювач типу ПСГ-500-1У3 з генератором ГСГ-500-1 із несиметричною магнітною системою. Перетворювач зовні схожий на перетворювачі типу ПД-502У2 та ПСО- 300-2У2 з незалежною намагнічувальною і послідовною розмагнічувальною обмотками збудження. Пускова та регулювальна апаратура змонтована у розподільному пристрої, який встановлено на корпусі перетворювача. В ньому розміщені вольтметр, пакетний вимикач електродвигуна, регулювальний резистор, перешкодозахисний фільтр та дошки

4.2.6. Універсальні зварювальні генератори

Рівняння характеристики універсального генератора має наступний вигляд:

$$u_2 = u_{20} \pm I_A I Y_P (4.23)$$

C

$$u^{\wedge}u_20 \quad (4.24)$$

иаростальна характеристика, при нгдокомпенсації ($-\partial''p < 7_{\text{ДГ}}$) - пологоспадна.

Розглянемо конструкцію та роботу генератора типу ГД-304УЭ (рис. 4.15).

генераторі колектор зі щіточним пристроєм відсутній, що значно спрощує його конструкцію і робить його більш надійним порівняно з колекторним.

Класифікація вентильних генераторів пов'язана в основному з конструкцією генератора змінного струму. У складі вентильного генератора може застосовуватись синхронний генератор із ротором явно-полюсної конструкції. Він легший за індукторний та більш простий у виготовленні, але менш надійний через наявність ковзного струмопідводу. Більш широке розповсюдження одержав індукторний одноіменно-полюсний генератор підвищеної частоти (до 400 Гц), який має кращі зварювальні властивості порівняно з колекторним генератором.

Характеристики вентильного генератора залежать від типу і кількості фаз генератора змінного струму. Однофазна мостова схема випрямлення використовується тільки в малопотужних генераторах струмом до 125 А і доповнюється дроселем для згладжування випрямленого струму та зменшення швидкості наростання струму в часі. Вона застосовується також для розробки універсального генератора. Трифазний мостовий випрямний блок забезпечує добре згладжений струм.

Вентильний генератор може бути універсальним за родом струму, оскільки його можна використовувати у вигляді джерела постійного або змінного струму. Для зварювання на змінному струмі необхідно використовувати клєми, розміщені перед випрямним блоком. У вентильного генератора є також ряд інших переваг, порівняно з колекторним, коли йдеться про технічні характеристики. Саме тому вентильний генератор широко застосовується у зварювальних агрегатах. Але, поряд з цим, він має і ряд недоліків. Одним з них є велика, порівняно з випрямлячами, тривалість відновлення напруги після короткого замикання, тобто гірші динамічні властивості, що трохи ускладнює збудження дуги. Крім цього, у вентильних генераторів значно більше відношення пікового струму короткого замикання до сталого, ніж у колекторних. Тому, щоб зменшити викликане цим сильне розбризкування металу, необхідно використовувати індуктизм у вигляді дроселів великих габаритів, що не має сенсу. Відомо, що одним із засобів зниження розбригтусанкя є підвищена частота зварювального струму, в

результаті чого закінчення короткого замикання припадає не на пік, а на спад пульсацій випрямленого струму. Це призводить до того, що крапля розплавленого металу переходить у зварювальну ванну зі значно меншою швидкістю і розбризкуванням.

Підвищення частоти зварювального струму у вентильному генераторі досягається за рахунок числа зубців двопакетного ротора-індуктора, набраного з електротехнічної сталі, та числа обертів ротора.

Однофазний індукторний генератор (рис. 4.16) має зубчастий ротор-індуктор-1, обмотку збудження-3, що живиться постійним струмом і розміщена на статорі-2. Обмотка збудження створює постійну намагнічувальну силу, але потік збудження $\Phi_{ЗБ}$, що пронизує силову статорну обмотку-4, має пульсуючий характер, оскільки магнітний опір на його шляху змінюється при обертанні ротора. Потік набуває максимального значення при збіганні осі силовій обмотки із зубцем ротора і мінімального - при збіганні із западиною ротора. Тому в силовій обмотці утворюється змінна напруга u_2



Рис. 4.16. Конструктивна схема індукторного генератора

4.3.2. Вентильний зварювальний генератор зі спадною зовнішньою характеристикою

6.Зам.7530

257

Вентильний зварювальний генератор типу ГД-312-У1 - це генератор із самозбудженням, який використовується в агрегаті АДБ-318У1 для ручного дугового зварювання і різання (рис. 4.17).

На валу-10 у масивній втулці-9 закріплені два пакети заліза ротора-2,11, які набрані з листів електротехнічної сталі. На станині-12 встановлено два пакети заліза статора-4,13 із трифазною робочою (статорною) обмоткою-3. Між пакетами ротора кріпиться до станини обмотка збудження-5, яка і створює магнітний потік збудження Φ . Генератор фланцем-1 і гнучкою муфтою з'єднаний з двигуном. Трифазний мостовий випрямний блок-8 охолоджується

вентилятором-7. У коробці-6 знаходиться пускорегулювальна апаратура. Індуктований магнітний потік направлений аксіально і замикається через пакети заліза ротора, статора, станину. Зубці одного пакета ротора, залежно

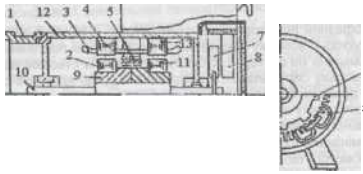


Рис. 4.17. Конструкція вентильного генератора ГД-312

від напрямку струму в обмотці збудження, утворюють N полюс, а зубці іншого - в. Полюси одного пакета зсунуті просторово на 180 електричних градусів відносно полюсів другого. При обертанні ротора кожний виток статорної обмотки пронизується пульсуючим магнітним потоком, миттєве значення якого цілком залежить від кута повороту зубців ротора. В результаті цього у кожній фазі трифазної статорної обмотки утворюються змінні ЕРС, зсунуті на 120 електричних градусів. Величина магнітного потоку періодично змінюється із частотою f , яка визначається за формулою:

$$f = \frac{nZ}{60}$$

(4.25)

де n - число обертів ротору за хвилину, Z - число зубців ротора. При навантаженні змінний струм статорної обмотки наводить потік реакції якоря, який індуктує в ній проти ЕРС, що пропорційна струму. Завдяки цьому вентильний генератор має спадну вольт-амперну характеристику. Для отримання жорсткої ВАХ вводиться додатний зворотний зв'язок за струмом у коло збудження, в результаті чого зі зростанням зварювального струму збільшується струм збудження і ЕРС генератора. Все це компенсує зростання проти ЕРС, що викликана потоком реакції якоря, і забезпечує сталість напруги.

Роботу генератора можна розглянути за принциповою електричною схемою на рис.

4.18а.

При роботі в режимі неробочого ходу поле залишкового магнетизму полюсів ротора індуктує у статорній обмотці ЕРС у 5-7 вольт. Трансформатор TU підвищує цю напругу, яка через UO^* подається на обмотку збудження $O3$. Генератор самозбуджується до напруги неробочого ходу, величина якої регулюється реостатом $/\rho 1$. При навантаженні обмотку $O3$ через $UO3$ починає живити одночасно з TU трансформатор струму TA . У ті півперіоди змінного струму, коли полярність двох трансформаторів змінюється на зворотну, струм по обмотці збудження через $UП2$ йде за рахунок енергії, яка нагромаджується у магнітному полі обмотки $O3$, коли по ній проходив струм в попередній півперіод. Це і забезпечує неперервність збудження. Трифазна змінна ЕРС, яка індуктується у статорних обмотках CO , випрямляється силовим випрямним блоком $UOA-UO\delta$, зібраним за трифазною мостовою схемою випрямлення. Плавне регулювання зварювального струму і крутизни BAX генератора виконується резистором $И2$. Крутизна зовнішньої характеристики залежить від величини індуктивних опорів фаз статорної обмотки, які, в свою чергу, залежать від ступеня насичення магнітного кола пакетів-індукторів ротора. Ступінчасте регулювання струму здійснюється з допомогою перемикача $ЭА$. При вмиканні однієї статорної обмотки в кожні фази генератор працює в режимі малих струмів від 40 до 180 А. Коли обмотки працюють у паралельному режимі - створюються великі струми, які становлять 160-350 А.

Конструкція та принцип дії такого генератора подібні до вентильного генератора типу ГД-316-У2. На рис. 4.186 показано зовнішні характеристики ГД-312У1, де суцільними лініями подані BAX генератора при паралельному вмиканні статорних обмоток, пунктирними - при використанні тільки однієї обмотки.

У промисловості широко застосовуються вентильні генератори у складі зварювальних перетворювачів, агрегатів.

Інші конструкції вентильних генераторів мало відрізняються від генератора, який описано вище. Вони відрізняються лише типом привідного двигуна, номінальним струмом, частотою обертання та способами регулювання струму.

Винятком є лише перетворювач УДЗ-ЮЗУ2 з вентильним генератором, до складу якого входить ще й прилад для заряду акумуляторних батарей. Генератор ГД-4003 завдяки введенню додатного зворотного зв'язку за струмом має, окрім крутоспадних, ще й пологоспадні та жорсткі зовнішні характеристики.

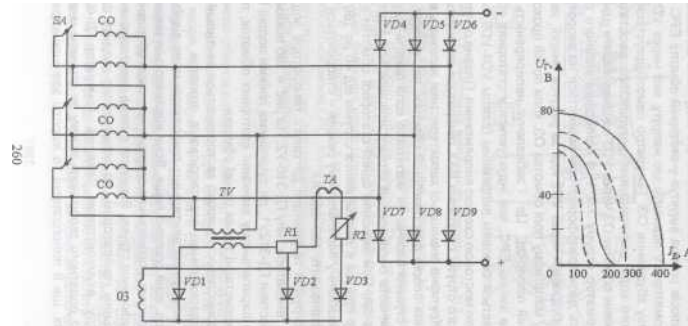


Рис. 4.18. Зовнішні характеристики генератора ГД-312У1

Агрегати АС-2 та АС-3 мають асинхронний генератор, у якого обмотка збудження вбудована в маховик дизельного двигуна, а силові обмотки розміщені на статорі, що охоплює маховик. Двох- та чотирьох- постові агрегати являють собою механічне об'єднання двох- або чотирьох вентильних генераторів, подібних за конструкцією до генератора ГД-312. Багатопостові джерела розроблені для зварювання магістральних трубопроводів, до їхнього складу входить допоміжний генератор для живлення переносного електроінструмента. Деякі агрегати типів: АДД-3115, АДД-3116, АДБ-3123, АДБ-3128, АДД-4002, АДД-4003, АДД-2Х2501, АДБ-4х2501²⁶¹, АДД-4х2502, АДД-502, АДД-504 встановлено на автомобільному причепі (табл. 4.6).

4.4. БАГАТОПОСТОВІ ЗВАРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ

Багатопостові зварювальні генератори, які укомплектовані у складі перетворювачів або агрегатів, призначені в основному для одночасного живлення декількох зварювальних постів ручного дугового зварювання через послідовно увімкнені в коло дуги регульовані баластові реостати. Вони мають ряд переваг порівняно з однопо- стовими генераторами, основними з яких є більш високий ККД та совф, менша вартість і значне заощадження виробничої площі. До

недоліку можна віднести великі втрати потужності в баластових опорах, низький коефіцієнт корисної дії зварювального поста і т. д.

Кількість постів n , які живляться від багатопостового перетворювача, можна визначити за формулою: $n = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}}$. Де

$$I_{\text{п}} - \text{номінальний зварювальний струм перетворювача, А;}$$

$I_{\text{н}}$ - номінальний струм зварювального поста, А;

$K_{\text{с}}$ - коефіцієнт використання поста, який дорівнює 0,5 - 0,7 залежно від виду зварювання.

Зовнішня характеристика багатопостового генератора повинна бути жорсткою, оскільки при невиконанні цієї умови одночасна робота декількох постів неможлива. У разі зміни напруги зварювальної дуги на одному з постів відбулась би зміна напруги генератора, що призвело б до зміни режиму зварювання на інших постах.

Зварювальні пости підключаються між собою паралельно. Для створення спадної ВАХ на посту послідовно з дугою вмикається баластовий реостат. Напруга генератора, яка подається на пост, поділяється між реостатом та дугою, тобто:

$$U_{\text{с}} = U_{\text{г}} + U_{\text{д}} \quad (4.26)$$

де $U_{\text{г}}$ - спад напруги на баластовому опорі, $U_{\text{д}}$ - напруга, яка подається на дугу.

Спад напруги на баластовому опорі пропорційний зварювальному струму $I_{\text{д}}$ та опорі реостата $R_{\text{б}}$, тобто $U_{\text{г}} = I_{\text{д}} R_{\text{б}} + U_{\text{д}}$. Тоді:

$$U_{\text{с}} = I_{\text{д}} R_{\text{б}} + U_{\text{д}} \quad (4.27)$$

З рівняння (4.27) бачимо, що зі зростанням зварювального струму спад напруги на баластовому опорі збільшується, напруга на дузі спадає, а на посту створюється спадна характеристика, нахил якої залежить від $R_{\text{б}}$ (рис. 4.19).

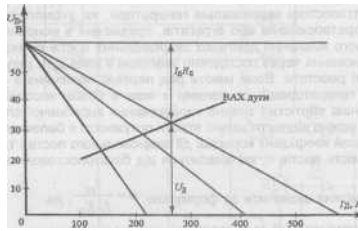


Рис. 4.19. Зовнішні
характеристики
багатопостового
генератора

Регулювання зварювального струму на посту здійснюється за рахунок зміни опору Я.:

$$\Gamma_{\sim Я} \sim U_{\sim Я} \quad (4.28)$$

Багатопостові зварювальні генератори належать до генераторів системи із самозбудженням з паралельною намагнічувальною та послідовною підмагнічувальною обмотками збудження. На магнітних полюсах ці обмотки розміщені так, що їхні магнітні потоки діють узгоджено. Оскільки ВАХ генератора жорстка, то він може працювати тільки в режимах неробочого ходу та навантаження. Допускати його роботу в режимі короткого замикання не можна, оскільки при постійній напрузі струм різко зростає, що може призвести до псування генератора.

Аналіз роботи багатопостового генератора в режимі неробочого ходу та навантаження проводиться аналогічно генератору одно- постової системи з незалежним збудженням та послідовною підмагні- чувальною обмоткою.

Раніше у промисловості використовувалися зварювальні перетворювачі типу ПСМ-1000-4 з генератором ГСМ-1000-4. Це шести- полюсні машини зі змішаним збудженням, тобто, крім паралельної на полюсах, міститься і послідовна обмотка, яка забезпечує незмінну напругу генератора 60 В.

Промисловістю також випускається чотириполіусний генератор ГСМ-500У2, що входить до складу агрегата типу АСДП-500Г, який одночасно живить два

зварювальних пости для ручного дугового зварювання сталевих труб
магістральних трубопроводів у польових умовах.

Тип	Звар	Но	Межі	Нап	Н	Габар	М
1	2	3	4	5	6	7	8
Зварювальні перетворювачі агрегати 2							
ГСО	200	22	100	80	0.6	620.5	2
ГЛ	215	22	15	80	0.8	675.6	2
ГЛ	500	40	15	80		050.5	4
ГСМ	215	55	50	70	27	1017	6
ГЛ	215	22	45	100		682	2
ГЛ-	315	32	30-	100		690.6	2
ПСО-	315	32	115-	90	10	1030	4
ПЛ	500	40	75	80	20	1065	5
ПЛ	500	42	75	80	20	1010	4
ПЛ	215	22	45	80	10	1200	2
ПСГ	500	40	60	45	20	1050	4
ПСО	215	22	100	80	10	1225	2
ПСУ	500	40	120	48	20	1075	5
УЛЗ	125	25	15	80	705	1140	2

Зварювальні перетворювачі агрегати 2							
1	2	3	4	5	6	7	8
АСБ	200	22	115	80	22	1015	6
АСБ	250	30	100	80	15	1070	5
АЛЕ	215	22	115	80	20	1015	6
АЛЕ	215	22	15	80	20	1042	6
АЛП	215	22.6	45	100	20	1015	0
АЛП	215	22	100	85	18	1000	8
АЛП	215	22.6	45	100	20	1850	8
АСУ	400	70	100	100	42	1660	8
АСЛП	500	55	50		27	6600	5
ПАС-	500	40	120		48	2050	1
АЛП-	315	32.6	30-	100	20	1860	8

Зварювальні перетворювачі агрегати 2							
1	2	3	4	5	6	7	8
ПЛ	215	22	45	80	10	1200	2
АЛЕ	215	22	15	80	20	1000	6
АЛЕ	215	22.6	15	100	20	1000	6
АЛЕ	215	22.0	45	80	20	1000	7
АЛД-	315-	32.0	60-	100	37	2550	1
АЛП	400	36.0	60	80	37	3400	1
80-180	180		30			430	5
ГЛ	200		40	100		640	4
ГЛ	250	20	35	100	*	845	5
ГЛ	215	22.6	25	100		846	5
ГЛ-	300	32.6	70-	100	-	845	5
ГЛ	400	36.6	35	80		780	4
ПЛ	160	26.4	15			1080	

Значення у чисельнику відповідають

жорстким ВАХ, у знаменнику -

спадним ВАХ.

1	2	3	4	5	6	7	8
АЛП-	315	32,6	15-	100	17	1900	6
АС-2	315	32,6	60	100	V	1620	5
АС-3	315	ш	40-	25	-	1180	4
АЛП-	250х	-	50-	-	-	2000	8
АЛП-	250х	30	60	100	-	2250	3
АЛБ-	250х	30	70	100	-	2350	5
АЛП-	315х	32,6	40	100	-	2230	2
АДЦ-	315х	32	40-	100	-	2600,	1
АЛЛ	315х	32	60	-	-	6200	3
АЛЛ	315х	32,6	40	100	-	2500	2
ГЛ	250х	-	40	90	-	845	4
ГЛ	250х	30	60	100	-	170	4
ГД-	250х	30	60-	100	-	740,7	7

Таблица 4.6 (продовження)

ГД-4x2502У2

ГД-4x2503У2

1820,950,1300

6600,2350,2740

Таблица 4.6 (продовжения)

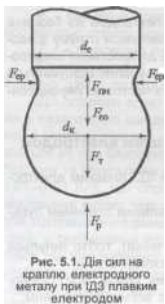
5. СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

5.1. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ (ІДЗ) ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ

5.1.1. Призначення та особливості ІДЗ плавким електродом

При імпульсно-дуговому зварюванні плавким електродом здійснюється кероване перенесення електродного металу, що дозволяє у 3-8 разів підвищити продуктивність праці, значно знизити зварювальні напруження і деформації порівняно зі зварюванням неплавким електродом. Цей метод може застосовуватись для зварювання конструкцій відповідального призначення із різних марок сталей, алюмінієвих, нікелевих сплавів і титану товщиною 1 мм і більше при накладанні швів у всіх просторових положеннях.

При зварюванні плавким електродом на краплю електродного металу діють такі сили: (рис. 5.1):



де F_{ep} - радіальна складова електродинамічної сили

, F_{pn} - сила поверхневого натягу;

- реактивна сила;

- сила тяжіння;

F_{eo} - осьова складова електродинамічної сили F_e .

Електродинамічна сила F_{ed} виникає в результаті радіального стиснення краплі електромагнітним полем, її радіальна складова F_{ep} , пропорційна квадрату сили струму, намагається перетиснути шийку краплі, а осьова складова F_{eo} - відкинути краплю до зварювальної ванни. Сила поверхневого натягу F_{pn} викликана молекулярним зчепленням краплі з електродом і заважає її відокремленню так само, як і реактивна сила F_{re} , що утворюється в результаті реакції випаровування металу краплі. Сила тяжіння

залежно від просторового положення зварювального шва може сприяти (нижнє положення) або заважати (стельове положення) відокремленню краплі. Вона проявляє свою дію тільки при великокрапельно-му перенесенні металу, яке не знайшло практичного застосування через низьку стійкість процесу зварювання і неякісне формування шва.

За характером горіння дуги розрізняють зварювання при безперервному горінні дуги і зварювання з періодичними короткими замиканнями дугового проміжку. Зварювання з короткими замиканнями можливе як на великих, так і на малих струмах. Як захисне середовище може застосовуватись газ CO_2 або аргон. Однак перенесення металу в такому випадку характеризується значним розбризкуванням і несплавленнями, які створюють умови для зародження тріщин. Тому зварювання з короткими замиканнями не застосовується для конструкцій відповідального призначення.

Імпульсно-дугове зварювання плавким електродом застосовується в основному при безперервному горінні дуги з використанням захисного середовища аргону або аргоноокислювальних сумішей. Застосування таких газів обумовлено тим, що зварювання при безперервному горінні дуги можливе за умови

середовищівуг

лекислового газу ІДЗ не застосовується.

При імпульсному зварюванні плавким електродом на базовий (постійний) струм періодично накладаються імпульси струму з частотою в декілька десятків герц, що призводить до зростання електродинамічної сили і, відповідно, до відокремлення краплі. Відбувається кероване перенесення електродного металу з частотою перенесення рівною або кратною частоті імпульсів.

5.1.2. Вимоги до джерел для ІДЗ плавким електродом

На рис. 5.2 зображена крива струму при ІДЗ плавким електродом з такими основними параметрами:

де I_6 - базовий (постійний) струм з невеликим ступенем пульсації;

I - імпульсний струм (заштриховані ділянки), тобто імпульси струму, середнє

значення яких перевищує базовий струм;

$I_{кр}$ - критичний струм, тобто рівень струму, нижче якого без накладання імпульсів перенесення металу стає великокрапельним;

I



I - зварювальний струм, котрий визначається як середнє значення струму $I = I_0 + I_{им} \cdot t_2 / T$;

$I_{им}$ - амплітуда імпульсів струму;

t_2 - тривалість імпульсів струму, мс;

T - час перенесення, або проміжок часу, протягом якого струм або імпульс струму більший I_0 , мс;

f - відповідно період і частота проходження імпульсів.

Базовий струм I_0 обирається залежно від товщини виробу, положення шва у просторі і створюється джерелом постійного струму.

ІДЗ плавким електродом здійснюється в основному пристроями з незалежною швидкістю подачі електродного дроту. При зварюванні великих товщин оплавлення кінця електродного дроту відбувається як при базовому, так і при імпульсному струмі. Тому ВАХ за базовим та імпульсним струмами повинні бути жорсткими з нахилом 0,01-0,03 В/А, що сприяє саморегулюванню довжини дуги. При зварюванні малих товщин базовий струм незначний і слугує тільки для підтримання горіння зварювальної дуги в проміжку між імпульсами, а оплавлення електродного дроту і скидання краплі відбувається під час імпульсу. Для запобігання обривів базового струму необхідна його стабілізація шляхом застосування крутоспадних ВАХ базового струму з нахилом 0,5-1,5 В/А при збереженні імпульсних ВАХ жорсткими. При зварюванні на великих струмах основну частину становить базовий струм I_0 . Зі зниженням зварювального струму і швидкості подачі дроту розмір крапель зменшується. При цьому зростає сила

поверхневого натягу γ , що ускладнює перенесення крапель електродного металу. Тому необхідна енергія імпульсів, і, отже, значення імпульсного струму суттєвих змін не зазнають, а зниження зварювального струму відбувається в основному за рахунок зменшення базового струму. Якщо подальше зниження базового струму неможливе, переходять на меншу частоту імпульсів, що дозволяє зменшити імпульсний струм I . Імпульсний струм, призначений для надійного скидання краплі, повинен перевищувати $I_{кр}$. При механізованому зварюванні дротом діаметром 0,8-2,5 мм струм становить від 300 до 1500 А.

Тривалість імпульсу τ має регулюватися від 1 до 10 мс. Імпульс повинен круто наростати зі швидкістю до 2000 кА/с і мати більш плавний спад. Це забезпечує відрив краплі на спаді імпульсу з невеликою швидкістю її руху, що приводить до зменшення розбризкування. Основним параметром, що визначає швидкість краплі після її скидання, є енергія імпульсу A , яка визначається за наступним рівнянням:

$$A = k \int_0^{\tau} (i^2 - I_{кр}^2) dt,$$

о

де i - миттєве значення струму, А; k - коефіцієнт пропорційності. Якщо діаметр краплі перевищує діаметр шийки, що з'єднує її з електродом, то з моменту, коли електродинамічна сила яка виникає під час імпульсу, набуває переважного значення, крапля починає рухатися до зварювальної ванни. При цьому вона витягується в напрямку виробу, а діаметр шийки зменшується. Зі зниженням струму імпульсу з моменту, коли i стає меншою за силу утримання P_y , що дорівнює $P_m + P_p$, швидкість переміщення центру тяжіння краплі починає зменшуватись. Однак за рахунок нагромадженої кінетичної енергії крапля продовжує переміщення в попередньому напрямку до моменту обриву шийки. Після скидання крапля рухається з незмінною швидкістю через дуговий проміжок і потрапляє у зварювальну ванну. Такий режим перенесення вважається оптимальним.

У випадку перевищеної енергії імпульсу крапля відокремлюється від електрода

раніше, ніж стане меншою за P_y . Тоді вона має дуже велику швидкість, що супроводжується сильним розбризкуванням.

При зниженій величині A швидкість краплі знижується раніше, ніж відбувається обрив шийки, і крапля знову притягується до кінця електрода.

Другим важливим параметром імпульсів є їхня частота/ Частота імпульсів (величина зворотна періоду проходження імпульсів $f=1/T$) може становити 100, 50, 33 і 25 Гц. При незмінній швидкості подачі електродного дроту маса крапель збільшується пропорційно періоду T . Для отримання крапель однакового розміру необхідно змінювати частоту імпульсів пропорційно швидкості подачі. Однак при дрібно- крапельному перенесенні частота імпульсів мало впливає на формування шва, глибину і форму проплавлення. У достатньо широкому діапазоні зміни зварювального струму її можна залишити незмінною і застосовувати від двох до чотирьох ступенів частоти.

5.1.3. Способи формування струму при ІДЗ плавким електродом

Формування струму при імпульсно-дуговому зварюванні плавким електродом може здійснюватись за рахунок імпульсних приставок з ємнісним нагромаджувачем енергії, тиристорних джерел, джерел із транзисторним комутатором.

Імпульсні приставки типу ИИП-2 містять конденсаторну батарею C , яка живить дугу паралельно з основним джерелом живлення ДЖ (рис. 5.3а).

Протягом одного з півперіодів мережі живлення батарея нагромаджує енергію від трансформатора T через діод $УО$. Протягом другого півперіоду схемою керування відкривається тиристор $УБ$ і батарея імпульсом розряджається нг. дугу. Форма імпульсу має вигляд згасаючої синусоїди або експоненти з частотою 50 Гц (рис. 5.3б). Енергія імпульсу встановлюється ступінчасто з допомогою зміни ємності конденсаторної батареї або напруги зарядного трансформатора.

Найбільш досконалими є приставки (генератори імпульсів) з тиристорним випрямним блоком типу ГИД або ГИ-ИДС, які живлять дугу паралельно з основним джерелом живлення. При цьому способі дуга живиться базовим струмом I_6 від джерела постійного струму ϵ , а імпульсами струму I_X від генератора імпульсів (рис. 5.4).

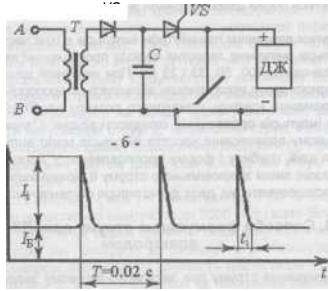


Рис. 5.3. Спрощена електрична схема (а) і осцилограма імпульсного струму (б) при використанні пристрою із сумісним нагрівачем енергії

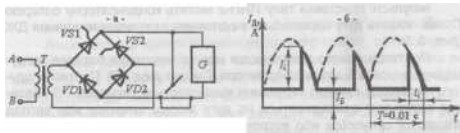


Рис. 5.4. Спрощена електрична схема (а) і осцилограма імпульсного струму (б) при використанні тиристорного блоку

Протягом одного півперіоду змінного струму імпульсний струм проходить по колу $T-\sqrt{8}-\text{дуга}-\sqrt{02}-T$.

Тиристор

Уві

відкривається

на спаді півхвилі, тому імпульс має форму відрізка синусоїди. При зменшенні кута керування тиристором амплітуда і тривалість імпульсу збільшуються. При вмиканні одного тиристора частота імпульсів становить 50 Гц, при почерговому вмиканні двох тиристорів - 100 Гц (рис. 5.46). Перевагою цього способу є можливість використання достатньо простого генератора імпульсів із джерелами постійного струму, що виробляються серійно. До недоліків можна віднести комутацію

базового струму, тобто його зниження після закінчення імпульсу до неприпустимо малого значення, що часто призводить до обриву дуги. Комутація пов'язана з тим, що під час накладання імпульсу напруга генератора перевищує напругу джерела живлення, і базовий струм I_B зменшується (рис. 5.5).

I_A

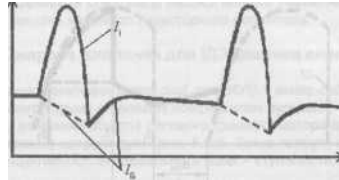


Рис. 5.5. Крива струму при зварюванні від паралельно з'єднаних джерел

Інший спосіб формування струму полягає в шунтуванні згладжувального дроселя (рис. 5.6).

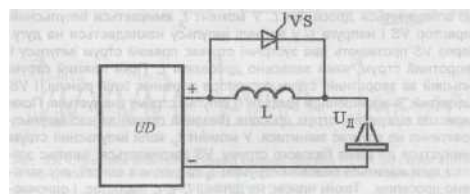


Рис. 5.6. Схема формування струму з допомогою тиристорного регулятора при ІДЗ плавким електродом

Силова частина джерела живлення містить у своєму складі тиристорний регулятор згладжувальний дросель L і тиристор $Ув$, що формує імпульси.

Тиристорний регулятор складається з однофазного зварювального трансформатора і двопівперіодного тиристорного випрямляча. Криву напруги u зображено на рис. 5.7 у вигляді штрихової лінії. Середнє значення напруги

визначається кутом вмикання тиристорів регулятора.



Рис. 5.7. Крива напруги, що сформована тиристорним регулятором

З моменту t_1 , починається наростання зварювального струму, що згладжується дроселем L . У момент t_2 , вмикається імпульсний тиристор УЭ і напруга u у вигляді імпульсу накладається на дугу. Через U_B протікають два зустрічні струми: прямий струм імпульсу i і зворотний струм, який запасено дроселем L . Поки прямий струм більший за зворотний, струм тиристора дорівнює їхній різниці, і УЭ відкритий. Зі зменшенням напруги u імпульс струму знижується. Поки тиристор відкритий, струм дроселя (базовий струм) за час імпульсу практично не встигає змінитися. У момент t_3 , коли імпульсний струм знижується до рівня базового струму, УЭ закривається, імпульс згасає і дуга живиться базовим струмом I_B за рахунок енергії, яку запасено дроселем. Таким чином, на ділянці t_2-t_3 I_B наростає, і одночасно дросель запасався енергією. В інтервалі t_2-t_3 I_B залишається незмінним, енергія L не витрачається. З моменту t_3 до моменту появи чергової ділянки синусоїдної напруги на виході тиристорного регулятора базовий струм знижується, і енергія дроселя віддається до зварювального кола. Таким чином, при зміні кута керування тиристора УЭ відбувається перерозподіл значень базової та імпульсної напруг (струмів) при незмінній напрузі дуги. Розглянений спосіб формування струму реалізований в імпульсних випрямлячах типу ВДГИ, що випускаються серійно. Він, зокрема, має такі переваги:

- відсутня комутація базового струму, тому що дросель під час імпульсу зашунтовано;
- значно знижені масо-габаритні показники, тому що джерело виготовлено в однокорпусному виконанні;
- є можливість стабілізації базової напруги і зміни нахилу базових ВАХ завдяки наявності тиристорного регулятора.

5.1.4. Джерела живлення для ІДЗ плавким електродом

Джерело живлення імпульсної дуги ИУП-1 являє собою джерело постійного струму з великим коефіцієнтом пульсації, містить тиристори у вторинній обмотці силового трансформатора для плавного регулювання напруги дуги (рис. 5.8а). Зміна напруги неробочого ходу та індуктивності зварювального кола - ступінчаста.

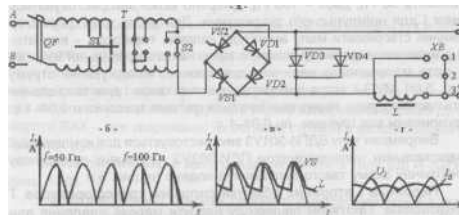


Рис. 5.8. Спрощена
електрична схема силової
частини ИУП-1 (а) і криві
струму, при роботі ИУП-1
як імпульсного пристрою
(б), імпульсного джерела
(в), джерела постійного
струму (г)

Джерело містить трансформатор T і діодно-тиристорний блок $VD1$, $VD2$, $VS1$, $VS2$. В колі випрямленого струму є згладжувальний дросель L і зворотні вентиля $VD3$, $VD4$. При зварюванні на струмах менше 350 А джерело працює в автономному режимі, оскільки забезпечує і базовий, й імпульсний струми. Для цього дросель вмикається перемикачем XB у положення 2. Протягом імпульсу при увімкненому тиристорі L запасасться енергією, а під час паузи - повертає цю енергію дузі, підтримуючи базовий струм, який замикається через $VD3$, $VD4$ (рис. 5.8в). При зварюванні на струмах, вищих за 350 А, ИУП-1 використовується як імпульсна приставка, котра послідовно з'єднана із серійними джерелами живлення постійного струму. В такому випадку приставка не створює протиструму в колі основного джерела, тому після завершення імпульсу у кривій

основного струму немає провалу, що підвищує стійкість процесу. Для створення імпульсу крутої форми індуктивність дроселя знижують до нуля шляхом перемикання XB в положення 1. Імпульсний струм отримують при вмиканні $VS1$ і $VS2$ на спаді півхвилі змінної напруги (рис. 5.8.6). Параметри імпульсів налагоджуються за рахунок фазового керування тиристорами, а також за рахунок виткового регулювання трансформатора за допомогою пакетного перемикача $S1$ і пластинчатого $S2$. Частота імпульсів при вмиканні одного тиристора становить 50 Гц, двох - 100 Гц. Джерело може використовуватись також і для неімпульсного зварювання. Для цього трансформатор повинен створювати малу амплітуду напруги, тиристори - вмикатися з невеликим кутом відкриття, а індуктивність дросельної котушки

мати максимальну величину для якісного згладжування струму (рис. 5.8г). ИУП-1 може використовуватися також і для зварювання пульсуючою дугою, генеруючи імпульси групами тривалістю 0,04-1 с, з розривами між групами по 0,04-1 с.

Випрямляч типу ВДГИ-3ОІУЗ використовується для комплектації зварювальним напівавтоматом ПДИ-3ОЗУЗ. Спрощену принципову електричну схему такого випрямляча подано на рис. 5.9.

Первинна і вторинна обмотки силового трансформатора T секціоновані. Протягом півперіоду напруги мережі живлення при увімкнених тиристорах $VS1$ або $VS2$ струм через вентиль $VD1$ та індуктивність L подається на зварювальну дугу, тобто джерело працює в базовому режимі. Протягом другого півперіоду базовий струм проходить по колу T - $VS2$ -дуга- T . При імпульсному режимі $VS5$ ($VS6$) вмикаються із запізненням відносно моменту вимикання $VS1$ ($VS4$), а кут їх відкриття визначає амплітуду і тривалість імпульсу. Якщо з $VS5$ ($VS6$) вмикається $VS2$ ($VS3$) із одночасним вимиканням $VS1$ ($VS4$), то створюються імпульси крутої форми з великою амплітудою. Коли $VS2$ ($VS3$) не увімкнені, працюють $VS1$ ($VS4$), випрам-

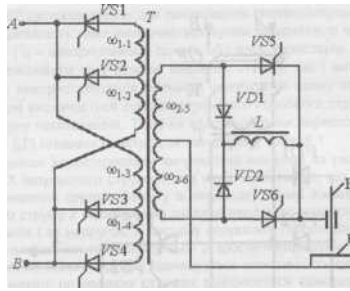


Рис. 5.9. Спрощена
електрична схема
силової частини
джерела ВДГИ-301

ляч формує пологі імпульси з малою амплітудою. При роботі джерела в базовому режимі у схемі керування передбачено можливість нахилу зовнішніх характеристик. Крутоспадні ВАХ можна отримати при зварюванні на малих струмах з метою запобігання обривів дуги, жорсткі ВАХ - при зварюванні на великих струмах з метою саморегулювання дуги.

Більш досконалою є конструкція випрямляча типу ВДГИ-302УЗ (рис. 5.10).

Напруга вторинної обмотки силового трансформатора T з нормальним магнітним розсіянням випрямляється блоком вентилів 1/01, У02, VS1-VS6 з двома дроселями 11,12. Базовий струм створюється У53, Ув4 і згладжувальним дроселем 11. Фазове керування тиристорами використовується для налагодження середнього значення базового струму. Однак при глибокому керуванні у кривій базового струму з'являються провали. Тому для отримання невеликого, але добре згладженого струму в схемі передбачене коло підживлення у складі оптотиристорів УЗ6, У86 і дроселя $B2$ з великою індуктивністю. Оптотиристори забезпечують також незалежність роботи кіл керування від дії високочастотних перешкод зварювального кола.

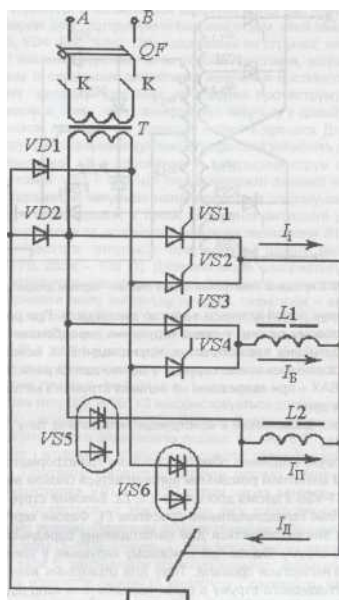


Рис. 5.10. Спрощена
електрична схема
силової частини
джерела ВДГИ-302

280

$VS1$ і $VS2$ застосовуються для генерування пікових імпульсів, амплітуда і тривалість яких визначається кутом відкриття, а частота 50 або 100 Гц - використанням одного або двох тиристорів. ВДГИ-302 може працювати як у режимі базового струму, так і імпульсного. Частіше використовується спільний режим, при якому зварювальний струм визначається сумою імпульсного і базового струмів, а також струму підживлення. Технічні характеристики тиристорних джерел для ІДЗ плавким електродам наведено в табл. 5.1.

Зовнішні характеристики випрямляча наведені на рис. 5.11.

ВАХ імпульсного струму 1 має невеликий нахил, що необхідно для отримання крутого фронту в імпульсів струму. Характеристика базового струму 2 сформована завдяки введенню зворотних зв'язків за струмом і за напругою в систему керування тиристорів $VS3$, $VS4$ та її нахил автоматично знижується зі зростанням струму. При крутому нахилі на малих струмах підвищується еластичність дуги, при пологому нахилі на великих струмах здійснюється

саморегулювання дуги. Для поліпшення запалювання дуги створюється характеристика запалювання 3, яка забезпечує постійний рівень напруги при будь-яких струмах. Характеристика відсічки 4 обмежує максимальну величину зварювального струму, а підживлення 5 гарантує мінімум струму, достатній для стійкого горіння дуги.

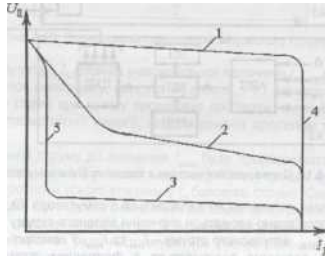


Рис. 5.11. Зовнішні
характеристики
тиристорного
випрямляча

Останнім часом застосовуються розробки транзисторних імпульсних джерел, в яких силовий транзистор керує зварювальним струмом і забезпечує необхідний струм протягом імпульсу і паузи. На рис. 5.12 подано схему джерела такого типу, яке складається із силового трансформатора T і випрямного блока Yy].

Для створення імпульсного режиму передбачено комутатор, який складається із силового транзистора V_T , дроселя L і зворотного діода $VD2$.

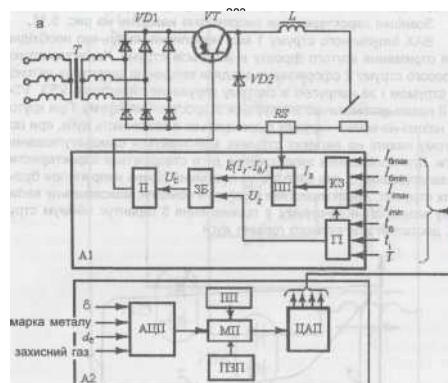


Рис. 5.12. Схема силової
частини з транзисторним
комутатором

Система керування А1 складається з комутатора КЗ, з допомогою якого послідовно вводяться значення заданого струму I_z , базово-го $\sim 4\text{тм}$ та $I_{\text{бmax}}$, імпульсного струму - I_{Mn} та I_{imax} . У пристрої порівняння ПП задана величина порівнюється з фактичним струмом що знімається з датчика струму У схему збігання ЗБ поряд із різни-

[illegible]

Зниження струму до значення $I_{\text{бmin}}$ буде продовжуватись до моменту після чого VI увімкнеться знову. Такий процес буде повторюватись протягом усього інтервалу $I_{\text{в}}$ базового струму. Середнє значення $I_{\text{ср}}$ може бути достатнім для плавлення електродного дроту і нижчим за критичний струм $I_{\text{кр}}$. У момент часу, що перевищує $T_{\text{в}}$, струм навантаження буде підтримуватись уже на рівні імпульсного $I_{\text{р}}$ з тривалістю імпульсу яка гарантує скидання краплі на спаді

точному настроюванні всіх наведених вищеперерахованих параметрів, що при частій зміні режиму являє значну складність. Тому раціонально проводити керування процесом з допомогою математичної моделі, так зване “синергетичне”, тобто одночасне керування декількома параметрами. Для цього в систему керування вводиться мікропроцесорний пристрій А2 (рис. 5.12). Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) перетворює аналогову форму подання початкових даних у вигляді товщини і марки металу, що зварюється, діаметру електродного дроту і т. д. в дискретну форму, і передає їх до мікропроцесора МП для обробки. Рівняння моделей, які зберігаються в пристрої ПЗП, будуть використовуватись МП для розрахунку оптимальних величин параметрів режиму ІДЗ плавким електродом. Ці величини за допомогою цифро-аналогового перетворювача ЦАП набувають вигляду рівнів напруг і використовуються як задані значення в системі керування транзисторного джерела. Програмний пристрій ПП може забезпечувати різке наростання струму на початку зварювання для надійного запалювання дуги і плавне зниження його в кінці зварювання з метою заварювання кратера. Транзисторні джерела забезпечують можливості широкого регулювання параметрів як в базовому, так і в імпульсному режимах, але мають обмежену потужність.

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблено імпульсне джерело живлення И-169, параметри якого плавно регулюються за рахунок керованої примусової комутації тиристорів. У ньому здійснюється програмування форми імпульсу струму, зображеного на рис. 5.14, з якого видно, що імпульс струму можна розділити на дві частини.

Першу (від t_0 до t_1 - з більш низьким значенням струму I_n - призначено для розплавлення на торці електрода краплі рідкого металу. Змінюючи час від t_0 до t_1 і значення струму I_n , можна регулювати розмір цієї краплі і ступінь її нагріву. Другу частину імпульсу (від t_1 до t_2)

з більшим значенням струму I_d - призначено для скидання цієї розплавленої краплі з торця електрода. Регулюючи для різних матеріалів і діаметрів електродного дроту значення струмів I_n , I_d і t_1 , t_2

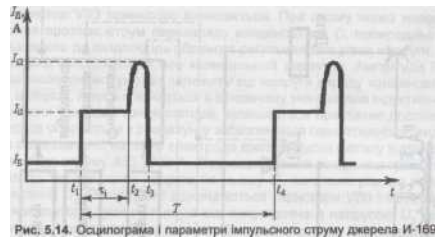


Рис. 5.14. Осцилограма і параметри імпульсного струму джерела И-169

час їх протікання, можна досягти оптимального керування перенесення електродного металу, коли за один імпульс відривається одна крапля необхідного діаметру. Між імпульсами від $I_{\text{б}}$ до протікає базовий струм $I_{\text{б}}$, значення якого знаходиться в межах 50... 100 А. Цей струм повинен підтримувати стабільне горіння дуги між імпульсами. Роботу спрощеної електричної схеми джерела подано на рис. 5.15.

Живлення силової частини схеми здійснюється від двох трифазних випрямних пристроїв: з напругою u_1 для живлення кіл імпульсного струму і u_2 для живлення кіл базового струму. При відкриванні тиристора У83 в момент часу t за сигналом таймера напруга формування імпульсу струму $U_{\text{с}}$, підводиться до відпайки 2 дроселя І. Відбувається швидке наростання струму в колі частини дроселя і навантаження до рівня, який визначається з виразу:

де $I_{\text{б}}$ - базовий струм; $N_{\text{б}}$, $N_{\text{д}}$ - кількість витків усієї обмотки дроселя (1-4) та її частини між відпайками 2-4 відповідно.

Після наростання струму до значення $I_{\text{п}}$ при t_2 його стрімке зростання припиняється. Подальше збільшення струму відбувається під дією напруги u_2 і обмежене індуктивністю частини дроселя між відпайками 2-4 і навантаженням.

По закінченні часу t_1 відкривається пара тиристорів Ув1, УБб або УБ2, Ув4 (залежно від полярності заряду конденсатора С) 285

im



Рис. 5.15. Спрощена електрична схема джерела И-169

і тиристор $VS3$ примусово вимикається. При цьому через навантаження протікає струм перезаряду конденсатора C , попередньо зарядженого до зазделегідь обраного регульованого рівня напруги. Перезаряд конденсатора має коливальний характер. Амплітуда його при інших рівних умовах залежить від напруги заряду конденсатора C , а період, який визначається в основному значеннями індуктивності дроселя і ємності конденсатора, залишається практично постійним. Період обирається з розрахунку забезпечення гарантованого скидання розплавленої на торці електрода краплі рідкого металу в діапазоні амплітуд струму 450...800 А. Перезарядження конденсатора C триває до тих пір, поки напруга на ньому U_c не стане рівною напрузі завдання U_3 . Після цього відкриваються тиристори $VS6$ і $VS7$, заряд конденсатора зупиняється, а від випрямляча з напругою U_2 через дросель і навантаження протікає базовий струм I_B . Наступний силовий імпульс струму формується через час T_7 за сигналом таймера на відкривання тиристора $VS3$. Період проходження імпульсів регулюється плавно із завданням часу T_7 роботи таймера. Таким чином, в імпульсному джерелі живлення И-169 здійснюється плавне незалежне регулювання частоти проходження імпульсів струму в межах 30...300 Гц, тривалості - $1,5 \cdot 10^{-3}$... $5 \cdot 10^{-3}$ с і амплітуди - 450...800 А. При цьому забезпечується плавне регулювання середнього значення струму в межах 50...315 А і напруги на дузі - 16...40 В.

Порівняно з існуючими імпульсними джерелами живлення И-169 має такі нові можливості:

289

- плавне регулювання частоти проходження, тривалості, амплітуди і форми імпульсів струму, що дозволяє програмувати процеси розплавлення електрода і перенесення крапель електродного металу з оптимальними значеннями їхньої маси і температури. Все це приводить до покращення складу і якості металу шва зварного з'єднання;

- плавне і рівномірне регулювання середніх значень зварювального струму і напруги на дузі, що дає можливість легше і точніше задавати і підтримувати необхідні оптимальні режими зварювання;

- дистанційне керування роботою і параметрами джерела з допомогою

стандартного сигналу, що дозволяє використовувати його в системах програмного керування процесом зварювання конструкцій;

- більш широкий діапазон регулювання параметрів режимів;
- просте поєднання системи керування джерела і роботизованих комплексів, а також просте використання його в комплексах із “синергетичним” керуванням.

а

$V + \sqrt{I_1 T} \quad T_1 \quad I_A$

i

Рис. 5.16. Інверторне імпульсне джерело: а - спрощена схема, б - імпульсний змінний струм, в - амплітудна модуляція струму, г - частотна модуляція струму

Такий спосіб імпульсного дугового зварювання плавким електродом може широко застосовуватись для зварювання виробів зі сплавів алюмінію, титану, міді, низьковуглецевих, легованих сталей і сталей підвищеної міцності в аргоні, гелії та їх сумішах.

Високочастотні імпульсні джерела (рис. 5.16) створюються на базі інверторних джерел. Високочастотний змінний струм створюється за рахунок почергового вмикання транзисторів УТ1 і УТ2. При цьому на дугу може подаватись як змінний струм від трансформатора T (рис. 5.16б), так і незгладжений випрямлений з блока VD (рис. 5.16в і г). Пульсуючий струм може бути отриманий також із постійного за допомогою високочастотного напівпровідникового комутатора.

5.2. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ НЕПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ В ІНЕРТНИХ ГАЗАХ

5.2.1. Основні вимоги до джерел живлення

Джерела живлення для зварювання неплавким електродом призначені для ручного дугового або автоматичного зварювання в інертних газах виробів з високоміцних, корозійно-стійких і жароміцних сталей, кольорових, легких і титанових сплавів невеликої товщини як

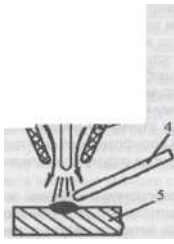


Рис. 5.17. Схема зварювання неплавким електродом в інертних газах

на постійному, так і на змінному струмі в безперервному й імпульсному режимах. Широко застосовуються джерела для аргано-дугового зварювання вільною (нестиснутою) дугою неплавким вольфрамовим електродом, нерухомо закріпленим у зварювальному пальнику (рис. 5.17).

Інертний газ аргон захищає зону зварювання і електрод від впливу повітря. Характерною рисою таких джерел є створення крутоспадної зовнішньої характеристики, за рахунок чого забезпечується стабільність струму при коливаннях довжини дуги і стійкість процесу зварювання. Це пов'язано з тим, що глибина проплавлення при зварюванні неплавким електродом дуже чутлива до коливань струму. Ступінь стабілізації залежить від товщини зварювального матеріалу. При зварюванні металів середніх товщин (2-5 мм) достатньо підтримувати зварювальний струм з точністю до 5 %, при зварюванні дуже тонких матеріалів - до 2 %. Створення крутоспадної ВАХ досягається за рахунок більшого індуктивного опору джерела або зворотного зв'язку за струмом.

Джерелом живлення для зварювання неплавким електродом в основному є випрямляч, який складається з трифазного понижуючого трансформатора і силового випрямного блока на керованих або некерованих вентилях з широким діапазоном регулювання струму.

Широкий діапазон регулювання викликаний необхідністю зниження струму дуги в кінці зварювання для заварювання кратера. З цієї причини не використовуються джерела зі ступінчастим або механічним регулюванням струму. При плавноступінчастому регулюванні діапазони повинні перекриватись так, щоб забезпечувати необхідне для заварювання кратера зниження струму в одному діапазоні. Крім цього, джерела зварювального струму цілого ряду установок повинні забезпечувати плавне наростання струму на початку



зварювання, що дозволяє уникнути руйнування вольфрамового електрода і перенесення його у шов через різкі стрибки струму при холодному електроді.

Джерела живлення повинні забезпечувати режими зварювання пульсуючою дугою, які широко застосовуються в технології зварювання неплавким електродом. Час імпульсу і паузи повинні змінюватися від 0,01 до 1-3 с, глибина модуляції - до 10-12 разів. Характер модуляції (імпульсний уніполярний, імпульсний різнополярний, високочастотний) залежить від марки і товщини зварюваного матеріалу.

Початкове запалювання дуги має виконуватися безконтактним способом з допомогою осцилятора або збуджувача, оскільки при контактному способі запалювання спостерігаються забруднення шва вольфрамом і підвищене руйнування електрода.

Джерела живлення постійного струму застосовуються для ар-гоно-дугового зварювання усіх перелічених матеріалів, за винятком алюмінієвих сплавів (рис. 5.18).

Мережа

Регулятор

Рис. 5.18. Функціональна схема джерела постійного струму

Зварювання ведеться дугою прямої полярності, оскільки більша частина тепла дуги, розподіляючись на зварюваний виріб (анод), дозволяє збільшити струмове навантаження на електроді і, відповідно, збільшити продуктивність процесу. Як джерела живлення постійного струму, за винятком спеціальних джерел, можуть застосовуватися зварювальні випрямлячі з крутоспадною зовнішньою характеристикою типу ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-601. Також можуть застосовуватися і багатопостові випрямлячі з постовими регуляторами струму. Використання таких випрямлячів доцільне там, де зосереджено велику кількість зварювальних постів.

Джерела живлення змінного струму використовують при зварюванні алюмінієвих сплавів (рис. 5.19а).

При горінні дуги змінного струму необхідно враховувати різницю у фізичних властивостях тугоплавкого вольфрамового електрода і легкоплавкого основного металу-алюмінію. Протягом півперіоду прямої полярності, коли катодом є нагрітий вольфрамовий електрод, потужна термоелектронна емісія забезпечує значний струм $I_{пр}$ та інтенсивне плавлення основного металу (рис. 5.19б). Напруга запалювання приблизно дорівнює напрузі дуги $U_{дп}$ і при короткій дузі в аргоні може становити 10 В. У півперіоді зворотної полярності для запалювання дуги потрібна висока напруга, яка сягає 200 В, оскільки термоелектронна емісія з холодного алюмінієвого катода незначна.

Напруга горіння дуги зворотної полярності $U_{звор}$ вища від U і складає більше 20 В, а величина струму зворотної полярності нижча за $I_{пр}$ на 20-50 %. Однак в півперіоді цієї полярності йде процес руйнування оксидної плівки алюмінію завдяки бомбардуванню виробу позитивними іонами, що значно покращує процес зварювання. Для надійного повторного запалювання дуги при переході до півперіоду зворотної полярності необхідно надіслати імпульс, який перевищує напругу $U_{згор}$ в 2-3 рази. Це досягається застосуванням імпульсного стабілізатора горіння дуги (ІСГД), який складається із силової частини і електронної схеми керування.

У зв'язку з великою різницею напруг горіння дуг прямої і зворотної полярності

виникає постійна складова струму дуги. Оскільки $I_{пр}$ більший від $I_{звор}$, криву зварювального струму можна подати як суму симетричного змінного струму і постійної складової $I_{пост}$ (рис. 5.196). Постійна складова негативно відображається на роботі трансформатора, підмагнічуючи осердя магнітопроводу, викликаючи його перегрів і сильну вібрацію. Стимування або зменшення сталої

—>| Осцилятор |—

Мереж: Імпульсний стабілізатор Пристрій првдушення постійної частоти Фільтр Двгга
Регулятор I

X

A-----1
 іГенератор
 і
 імпульсів
 ^

Пристрій

заварювання

кратера

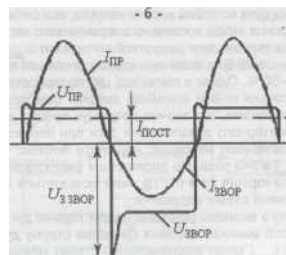


Рис. 5.19.

Функціональна

схема (а),

осцилограма

струму і напруги

(б) джерела

змінного струму

складової здійснюється спеціальними пристроями, спрощені схеми яких наведено на рис. 5.20.

Найпростіший пристрій складається з діода УС і резистора R , в якому струм зворотної полярності проходить через УО, а струм прямої полярності йде через Я? і тому знижується. Такий пристрій застосовується у джерелах малої потужності через великі втрати на резисторі (рис. 5.20а).

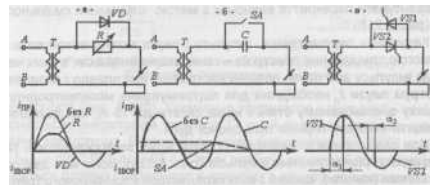


Рис. 5.20. Схеми
придушення постійної
складової струму з
допомогою резистора (а),
конденсатора (б)
тиристорного комутатора
(в)

Повна компенсація при зварюванні на будь-яких режимах досягається за рахунок використання конденсаторної батареї. Для покращення початкового запалювання дуги у схемі передбачений ключ ВА, який шунтує коло батареї С. Після запалювання дуги і розмикання ²⁹⁸ЗА у лівперіоди прямої полярності С заряджається, а при зворотній полярності - розряджається, підживлюючи тим самим дугу і ліквідуючи постійну складову (рис. 5.20б). Недоліком такого способу є наявність у пристрої громіздкої батареї спеціальних конденсаторів.

Найчастіше для придушення постійної складової струму застосовується комутатор, який складається із двох зустрічно-паралельно увімкнених тиристорів 1/51 і VS2 що працюють із різними кутами керування (рис. 5.20в). У півперіоди прямої полярності кут відкриття $\alpha^{1/51}$ повинен бути більшим за α тиристора VS2 -

Імпульсні джерела живлення призначені для зварювання пульсуючою дугою виробів малої товщини. При зварюванні пульсуючою дугою неплавким електродом імпульси струму дозволяють керувати формуванням зварного шва, у той час як при імпульсно-дуговому зварюванні плавким електродом вони призначені для керування перенесенням електродного металу.

Імпульсна подача енергії сприяє якісному формуванню шва при зварюванні тонколистових з'єднань, при накладанні вертикальних і стельових швів, де дозований вклад енергії запобігає стіканню розплавленого металу. За час імпульсу утворюється зварювальна ванна невеликих розмірів, метал якої за час паузи встигає закристалізуватись (рис. 5.21а). Параметри імпульсу - струм I за час t - повинні обиратись так, щоб забезпечити проплавлення виробу, а час паузи $t_{\text{п}}$ - гарантувати перекриття ванночок з метою отримання суцільного шва (рис. 5.21б).

Керування параметрами імпульсу і паузи можна виконувати з допомогою спеціальних пристроїв - генераторів імпульсів, в яких час і струм імпульсу або паузи повинні налаштуватися плавно і незалежно. Струм паузи $I_{\text{п}}$ необхідний для підтримування міжелектродного проміжку в іонізованому стані і може сягати до 15 А, що дозволяє підвищити стійкість горіння пульсуючої дуги.

Для зварювання алюмінієвих сплавів може застосовуватись також джерело різнополярних імпульсів (рис. 5.22а). Воно має два силових блоки (канали), кожний з яких складається з понижуючого трансформатора і випрямного пристрою, причому один канал призначений для живлення дуги прямої полярності, а другий - зворотної полярності.

З допомогою електронного комутатора блоки по чергові живлять дугу, генеруючи імпульси прямокутної форми прямої і зворотної

033

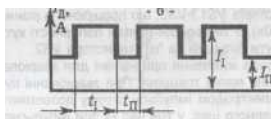


Рис. 5.21. Зварювання пульсуючою дугою. Формування шва (а), пульсуючий уніполярний струм (б)

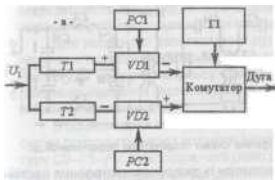


Рис. 5.22. Функціональна схема (а) і осцилограма струму (б) джерела різнополярних імпульсів

		■		
	^		M	i

полярності (рис. 5.22б). Керування тривалістю імпульсів $t_{\text{пр}}$ і $t_{\text{звор}}$ виконується генератором імпульсів ГІ, який подає команди на перемикання комутатора. Величина $t_{\text{пр}}$ може змінюватись від 0,001 до 0,1 с, а $t_{\text{звор}}$ - від 0,001 до 0,01 с. Струм прямої і зворотної полярності регулюється плавно і незалежно в кожному з каналів за допомогою регуляторів PC1 і PC2. Величина $I_{\text{пр}}$ налагоджується залежно від товщини зварного виробу і діаметра електрода, а $I_{\text{звор}}$ встановлюється достатнім для руйнування оксидної плівки.

5.2.2. Пристрої для збудження, стабілізації дуги та придушення постійної складової струму

Для початкового збудження дуги без короткого замикання електрода широко застосовуються осцилятори і збуджувачі. Це високовольтні, високочастотні апарати, здатні створювати іскровий розряд між електродом і виробом. Пробій міжелектродного проміжку призводить до його іонізації, завдяки чому від основного джерела живлення запалюється дуга. Серійні осцилятори і збуджувачі виготовляють на напругу 2-20 кВ, струм розряду 1-10 А, частоту розряду до 1000 кГц. При такій частоті висока напруга безпечна для зварювальника, оскільки високочастотний струм протікає по поверхні тіла, викликаючи при цьому тільки опіки.

Підпалюючі пристрої безперервної (іскрові осцилятори) й імпульсної дії (збуджувачі) з основним джерелом можуть вмикатися паралельно або послідовно.

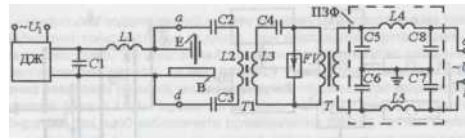


Рис. 5.23. Принципова
електрична схема
осцилятора паралельної дії

Іскрові зварювальні осцилятори із джерелами живлення постійного струму застосовують для початкового збудження дуги. Із джерелами змінного струму їх застосовують як для початкового збудження дуги, так і для збудження дуги при зміні полярності, тобто після переходу струму через нуль. Принципова електрична схема осцилятора паралельного вмикання типу ОСПЗ-2М наведена на рис. 5.23.

Підвищуючий трансформатор 7 створює напругу 3-6 кВ, яка через вторинну обмотку 7 підводиться до розрядника /V, що входить до коливального контуру *CA-B3-PU*. При наростанні напруги на вторинній обмотці 7 конденсатор С4 заряджається і в його електричному полі нагромаджується енергія *CA&I2*. При досягненні визначеної величини напруги відбувається пробій повітряного проміжку розрядника і С4 розряджається на індуктивність 7,3, яка є первинною обмоткою імпульсного трансформатора 71. У коливальному контурі виникає струм /. Енергія *CAI&I2* перетворюється в енергію магнітного поля індуктивності *B3 PI2*, і в коливальному контурі створюється знакозмінний згасаючий за амплітудою коливальний процес з кутовою частотою, що залежить від параметрів С4 і І3. Високовольтна напруга підвищеної частоти передається на вторинну обмотку 71, котушка якої І2 здійснює введення цієї напруги на дуговий проміжок. Захистом джерел від такої напруги є Г-подібний фільтр, який складається з індуктивності І1 (великогабаритного дроселя) і ємності С1. Якщо трансформатор джерела живлення має розвинене магнітне розсіяння, то необхідність у його захисті відпадає. Блокувальні конденсатори С2, С3 затримують низькочастотну складову зварювального струму основного

джерела, захищають вторинну обмотку імпульсного трансформатора 71 і створюють умови безпечної роботи зварювальника. Перешкодо-захисний фільтр ПЗФ призначений для захисту мережі живлення від високочастотних коливань, оскільки 296 осцилятор створює значні перешкоди радіоприйому, і тому його безперервна робота допускається не довше ніж 1 с.

Для надійного запалювання дуги осцилятор генерує згасаючі імпульси тривалістю близько 2 мкс по 10-15 імпульсів за півперіод. Амплітуда напруги імпульсу може сягати 6 кВ. Осцилятори паралельного вмикання застосовують в основному із джерелами живлення постійного струму.

В осциляторах послідовної дії типу ОСППЗ-ЗООМ зварювальний струм проходить через котушки індуктивності 11 коливального контуру С2-Х1- $\sqrt{V_1}$ внаслідок чого різко зростає переріз котушки ІЛ. Захист джерела живлення від дії високовольтної високочастотної напруги здійснюється конденсатором С1, який має малий опір для високих частот (рис. 5.24).

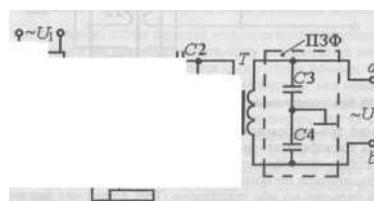


Рис. 5.24. Принципова
електрична схема
осцилятора
послідовної дії³⁰³

Осцилятори послідовної дії простіші й компактніші, ніж пристрої паралельного вмикання, і застосовуються в основному на струми, не більші 400 А. В них відсутній великогабаритний захисний дросель, зменшуються втрати вихідної напруги на елементах зварювального кола, знижується рівень радіоперешкод.

Основними недоліками іскрових зварювальних осциляторів є:

- спрацювання електродів розрядника, необхідність їх старанного

регулювання в процесі експлуатації;

- наявність цілої серії високовольтних високочастотних імпульсів, які видаються осцилятором у кожному півперіоді напруги промислової частоти, що збільшує небезпеку пробою ізоляції джерела живлення і створює значні перешкоди радіоприйому;

- вплив параметрів розрядника (стану поверхні зношених контактів, величини робочого проміжку, температури контактів та ін.) на величину його пробивної напруги;

- обмежений діапазон зварювальних струмів, що застосовуються в осциляторах послідовного вмикання.

Останній недолік можна усунути за рахунок застосування осцилятора із спеціальним вихідним трансформатором (рис. 5.25).

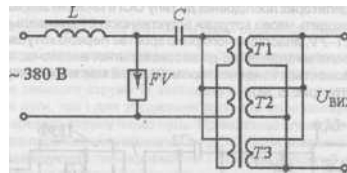


Рис. 5.25.

Електрична схема
застосування
осцилятора із
трансформатором

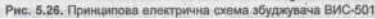
Такий трансформатор складається з декількох однакових імпульсних трансформаторів 71, 72, 73, вторинні обмотки яких з'єднано між собою паралельно. Первинні обмотки трансформаторів, на які розряджається нагромаджувальний конденсатор С, можуть бути з'єднані паралельно або послідовно. Тоді допустиме значення зварювального струму / визначається за таким співвідношенням: $I_d = I_{\text{п}}$.

де /, - припустимий зварювальний струм одного трансформатора, який визначається перерізом його вторинної обмотки;

n - кількість паралельних трансформаторів.

Іскрові осцилятори безперервної дії поступово витискаються імпульсними збуджувачами дуги, важливою перевагою яких є відсутність високої напруги промислової частоти, небезпечної для життя обслуговуючого персоналу. До них можна віднести збуджувачі типу ВИС-501 і ВИР-101, живлення яких здійснюється від зварювального кола постійного струму. В апараті ВИС-501 як

FU LI VD
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



306

почнеться процес зарядження С1 через джерело живлення. Але струм через дросель L_1 буде визнача- 299 тись уже сумою напруги живлення і згідної з її діючою напруги на конденсаторі, що призведе в кінці зарядження до наростання напруги на С1 до величини $(3...5)U_{\text{СЛ}}$ Резистори R_1, R_2 , конденсатор С3 і діодний тиристор (діністор) У51 утворюють релаксатор, при спрацюванні якого С3 розряджається через керувальне коло У3, тобто керує роботою тиристора УБ. Частота надсилання керувальних імпульсів залежить від напруги живлення і сталої часу заряду конденсатора С3. Вибором співвідношення R_1/R_2 визначається найменша напруга живлення, при якій напруга конденсатора може сягнути напруги перемикачання. При u більшій за це граничне значення збуджувач буде працювати, при меншій - У3 буде закритий і висока напруга не генеруватиметься. При живленні від зварювального кола ВИС- 501 може бути налагоджений так, щоб він надійно працював при неробочому ході джерела, але припиняв роботу після збудження дуги, тобто коли u_a набуває робочого значення.

Імпульсний збуджувач типу ВІР-101 призначений для збудження чергової дуги в установках для повітряно-плазмового різання. У зв'язку з високою напругою неробочого ходу при плазмовому різанні, необхідність підвищення напруги на нагромаджувальному конденсаторі відпадає, тому замість дроселя встановлено активний опір. Крім того, в збуджувачі передбачено конденсатор для зв'язку між колом живлення чергової і основної дуг. У решті схема ВІР-101 подібна до схеми ВИС-501. Технічні дані збуджувачів наведено в табл. 5.2.

Пристрої запалювання дуги типу УПД також є імпульсними збуджувачами послідовного вмикання, але вони живляться змінним струмом. Низький у порівнянні з іскровими осциляторами рівень напруги радіоперешкод забезпечив добру їх електромагнітну сумісність з установками для газоелектричного зварювання неплавким електродом, мікроплазмового і плазмового зварювання в захисних газах, а також повітряно-плазмового різання металів. Ці пристрої випускаються трьох типів, їхні технічні характеристики наведено в табл. 5.2.

Пристрої запалювання дуги типу 13 РП-315-004 призначені для початкового

збудження дуги при мікроплазмовому, плазмовому зварюванні і газоелектричному зварюванні неплавким електродом. При повітряно-плазмовому різанні застосовується пристрій типу 13 РП-80-003, при зварюванні неплавким електродом на струмах, більших за 300А-13 РП-500-005. Принципова електрична схема пристрою 13 РП-80-005 наведена на рис. 5.27.

Елементи 11, Я1, И2, /?3, С1 і С2 являють собою ІСЯ фільтр, який забезпечує зниження рівня радіоперешкод, що утворюються в

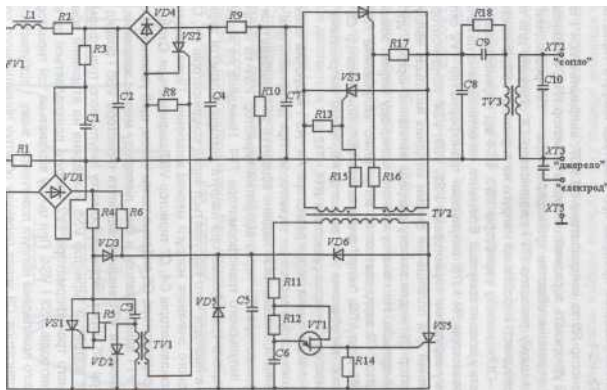


Рис. 5.27. Принципова електрична
схема пристрою підпалювання дуги
13-РП-80-003

результаті перехідних процесів при комутації напруги тиристорами $VS2$, $VS3$, $VS4$.

Резистор $R9$ та конденсатори $C4$ і $C7$, випрямляч $VD4$ і тиристор $VS2$ утворюють зарядний контур, а резистор $R18$, конденсатори $C8, C9$ і первинна обмотка трансформатора - $L/3$ -розрядний контур. При цьому резистор $R9$ і конденсатор $C4$ слугують для обмеження швидкості наростання напруги на тиристорі $VS2$, а конденсатор $C8$ - для захисту тиристорів $VS3$, $VS4$ від перенапружень, що виникають у момент комутації. Елементи, які встановлено на печатній платі, резистори $R4$ і $R6$, імпульсний трансформатор $TV2$ складають схему керування тиристорами $VS2$, $VS3$, $VS4$. Конденсатор $CЮ$ призначений для поліпшення форми вихідних імпульсів напруги, а конденсатор $C11$ - для захисту джерела живлення чергової дуги від дій цих імпульсів. На початку кожного півперіоду мережі живлення конденсатор $C3$ заряджається по колу: “плюс”

випрямляча VD1, резистор R4, діод VD2, “мінус” випрямляча VD1. Конденсатор C5 - по колу: “плюс” випрямляча VD1, резистор R6, “мінус” випрямляча VD1, а конденсатор C6-через резистори R11, R12.

Одночасно з цим через резистори R4, R5 і керуючий електрод VS1 протікає струм керування тиристором. При досягненні цим струмом значення, яке викликає надійне відкриття VS1, відбувається розряд конденсатора C3 через відкритий тиристор US1 та первинну обмотку імпульсного трансформатора 7V1. Наведена на вторинній обмотці цього трансформатора напруга викличе відкриття тиристора VS2, в наслідок чого відбувається заряд конденсаторів C4, C7 до амплітудного значення напруги мережі живлення. Після закінчення заряду конденсаторів C4, C7 тиристор VS2 закривається. Стала часу заряду конденсатора C6 вибрана таким чином, щоб увімкнення транзистора VT1 здійснювалось в кінці півперіоду мережі живлення.

Увімкнення VT1 викличе відкриття тиристора VS5 і розряд конденсатора C5 через первинну обмотку імпульсного трансформатора 72 та відкритий тиристор VS5. Наведена на вторинній обмотці імпульсного трансформатора TV2 напруга прикладається до керуючих електродів VS3 і VS4. При цьому відкриється той тиристор, до аноду якого прикладена напруга позитивного знаку, і відбувається заряд конденсатора C9 через первинну обмотку підвищуючого трансформатора 7V3. У міру заряду конденсатора C9 струм через первинну обмотку трансформатора 7V3 знижується, і після закінчення заряду конденсатора C9 тиристор Ув4 (Ув3) вимикається. Наведена на вторинній обмотці 71/3 імпульсна напруга через конденсатор C11 прикладається до міжелектродного проміжку плазмотрона. Після закінчення півперіоду напруги мережі тиристори УБ1 і УБ6 вимикаються. Протягом другого півперіоду всі процеси у схемі повторюються, при цьому знак напруги на конденсаторі C7 змінюється. Буде відкриватись відповідно до цього знаку тиристор УБ3 (Ув4), і відбудеться перезаряд конденсатора C9 через первинну обмотку TV3. Часові параметри високовольтних імпульсів визначаються відношенням ємності конденсатора C9 та індуктивності трансформатора TV3. В 13-РП-500-005 передбачено синхронізацію схеми

керування з напругою на дузі.

Імпульсні стабілізатори (ІС) призначені для повторного запалювання дуги змінного струму і застосовуються в установках для зварювання алюмінію і його сплавів неплавким електродом. Стабілізатор повинен генерувати піковий імпульс з амплітудою напруги $U_1 = 200-600$ В і підтримувати переддуговий струм $I_{\text{пс}}$ не нижчим від 1-10 А (рис. 5.28).

Це досягається тоді, коли імпульс струму має амплітуду $I_1 = 60-100$ А при тривалості $t_1 = 60-80$ мкс і генерується із затримкою $t_2 = 60-100$ мкс після переходу кривої струму через нуль.

Стабілізатор із частотою проходження імпульсів 50 Гц поліпшує запалювання дуги тільки зворотної полярності, з частотою 100 Гц - прямої і зворотної.

Імпульсні стабілізатори можуть бути пасивної і активної дії. У пасивних ІС енергія, необхідна для повторних запалювань, нагро-

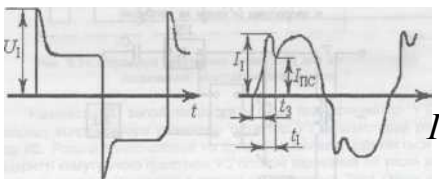


Рис. 5.28. Осцилограма
напруги (а) і струму (б)
при імпульсній стабілізації
дуги змінного струму

маджується в реактивних елементах, увімкнених у коло дуги послідовно або паралельно дуговому проміжку, і виділяється при перехідних процесах, пов'язаних із згасанням дуги. Параметри імпульсу і момент його введення в дуговий проміжок залежать від процесів у дузі, від параметрів зварювального кола і властивостей самого стабілізатора. Можливості пасивних ІС обмежені, незважаючи на простоту конструкції.

В активних стабілізаторах енергія запасасться в нагромаджувані, який відокремлено від дуги комутатором, і в необхідний момент вводиться до дугового



проміжку. Параметри і момент подачі імпульсів можуть бути обрані відповідно до потреб процесу, що свідчить про переваги активних ІС. Крім того, вони побічно не впливають на процеси у зварювальному колі. Структурна

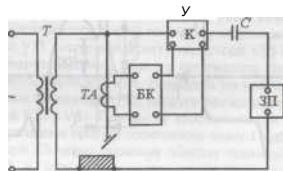


схема активного імпульсного стабілізатора наведена на

рис.

5.29,

5.30.

ІС складається із зарядного пристрою ЗП, комутуючої ємності С, комутатора УЭ і блока керування БК. Блок керування комутатором може працювати зі зворотним зв'язком за напругою (ЗЗН) (рис. 5.29) або за струмом (ЗЗС) (рис. 5.30). При роботі із ЗЗН БК забезпечує запуск комутатора як при навантаженні, так і при неробочому ході зварювального трансформатора T . У цьому випадку необхідно, щоб БК відрізняв момент переходу зварювальної напруги через нуль, коли напруга на дузі практично падає до нуля. При роботі із ЗЗС створюється висока синхронність між подачею імпульсів в дугу і моментом переходу кривої зварювального струму через нуль, а також нечутливість схеми керування до коротких замикань.

У стабілізаторі для аргоно-дугового зварювання неплавким електродом конденсатор С заряджається від трансформатора T через діод VD і струмообмежуючий резистор (рис. 5.31).

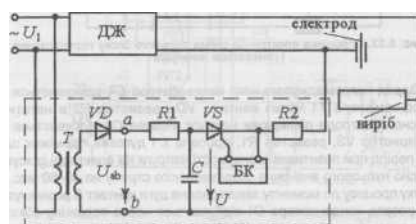


Рис. 5.31. Спрощена
електрична схема ІСГД
для аргоно-дугового
зварювання неплавким
електродом

Наявність VO запобігає розряду С на трансформатор. У коло розряду конденсатора увімкнено тиристор УЭ і баластовий резистор Я?2. Розряд конденсатора на дуговий проміжок відбувається при відкритті комутуючого пристрою УЗ блоком керування БК після зміни полярності дугової напруги з прямої на зворотню. Така схема є загальною для стабілізаторів дуги в деяких установках аргоно-дугового зварювання змінним струмом.

В установках типу УДГ-301, УДГ-501 стабілізатор об'єднано з осцилятором, утворюючи єдиний блок запалювання - генератор імпульсів (рис. 5.32).

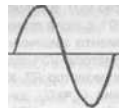


Заряд нагромаджувального конденсатора $C4$ здійснюється від трансформатора 71 через вентиль УО і резистор $R2$ в негативні відносно електрода півперіоди напруги. Розряд $C4$ відбувається через тиристор Ув, резистор $R1$, дросель І і дуговий проміжок один раз у період при позитивній полярності напруги на електроді із зсувом відносно нульового значення зварювального струму на 40-60 мкс. На початку процесу до моменту запалювання дуги контакт Б розімкнутий, тому розряд конденсатора $C4$ відбувається через первинну обмотку імпульсного трансформатора 72. Трансформований високовольтний імпульс розряду конденсатора заряджає $C3$ до напруги пробоя іскрового проміжку розрядника УУ. При його пробі створюється коливальний контур, який складається з індуктивності дроселя І, конденсаторів $C2$ і $C3$. У контурі генерується імпульс високочастотних коливань з максимальною напругою близько 15 кВ і частотою порядку 3 МГц, що прикладається до проміжку електрод-виріб, створюючи іскровий розряд, який переходить в дуговий. При запалюванні дуги в замикається, і пристрій починає працювати в режимі генератора імпульсів. Живлення зварювальної дуги здійснюється від джерела живлення ДЖ.

Схема стабілізації резонансного типу, яка може використовуватись як при зварюванні алюмінієвих сплавів неплавким електродом, так і при ручному дуговому зварюванні покритим електродом, наведена на рис. 5.33.

Вона складається із трансформатора 71 для живлення нагромаджувальної ємності C і тиристорного комутатора $U_{\text{в}} \text{ і } U_{\text{Э2}}$ із блоком керування. Стабілізатор живить дугу паралельно джерелу - зварювальному трансформатору 72. При роботі 72 в режимі неробочого ходу на початку півперіода прямої полярності відкривається $U_{\text{Э2}}$, і по колу, показаному тонкою лінією, проходить імпульс струму. При цьому ЕРС трансформаторів 71 і 72, які діють узгоджено, заряджають конденсатор C

конденсатора



полярністю, вказаною на рис. 5.33а. Струм заряду конденсатора

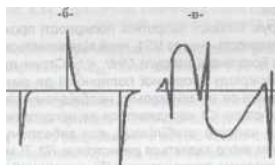
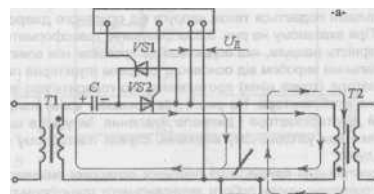


Рис. 5.33. Спрощена

електрична схема

стабілізатора резонансного

типу (а), осцилограми

стабілізуючих імпульсів

(б), напруги на

міжелектродному

проміжку (в), напруги

основного джерела (г)

зрівняється з сумарною напругою трансформаторів 71 і 72. Після цього струм починає зменшуватись, що викличе появу в колі ЕРС самоіндукції, яка прагне зберегти струм незмінним. Тому заряд конденсатора С буде продовжуватися, поки напруга на ньому не досягне подвоєної напруги живлення. Напруга конденсатора, що прикладена до V_{B2} у зворотному напрямку, закриє тиристор. У півперіод зворотної полярності відкривається V_{B1} і імпульсний струм піде в протилежному напрямку. В цьому випадку імпульс буде потужнішим, оскільки він створюється узгодженою дією ЕРС трансформаторів 71 і 72, а також заряду конденсатора. В результаті відбудеться перезаряд С до ще більш високого рівня. Такий резонансний характер перезаряду дозволяє отримати стабілізуючі імпульси напруги частотою 100 Гц, амплітудою близько 200 В при порівняно низькій напрузі джерела живлення (рис. 5.33б). На міжелектродний проміжок поряд із імпульсами подається також напруга від основного джерела (рис. 5.33г). При вказаному на рис. 5.33а фазуванні трансформаторів Т1 і Т2 полярність напруги, яка подається на проміжок між електродом і зварювальним виробом від основного джерела (пунктирна лінія) і від стабілізатора (тонка лінія) протилежна, що говорить про зустрічне вмикання стабілізатора. На рис. 5.33в показано криву напруги при сукупній дії стабілізатора і джерела живлення. Імпульс в цьому випадку, як і при узгодженому вмиканні, сприяє повторному запалюванню дуги.

Пристрій для придушення постійної складової змінного струму значно покращує умови роботи зварювального трансформатора. На рис. 5.34 наведена електрична схема такого пристрою з діодно-тиристорним комутатором.

Зварювальний струм півхвилі зворотної полярності проходить через У01, а прямої полярності - через У51, який відкривається після

0,001 с після появи на його аноді напруги $U_{\text{н}} = U_{\text{н}0} - (U_{\text{д}} \cdot \text{Струм дуги від моменту закінчення півперіоду зворотної полярності до вмикання тиристора Ув1 підтримується на мінімально необхідному рівні через резистор Я7. Конденсатор С1 заряджається до напруги перемикачів } u_n = k u_c, \text{ де } u_c - \text{напруга стабілізації, яка забезпечується стабілітроном І/ОЗ, струм якого задається резистором Я2. В}$

момент перемикання одноперехідного транзистора V_{71} розрядний струм конденсатора $C1$ відкриває малопотужний допоміжний тиристор V_{B2} і в коло керування V_{51} надходить імпульс струму необхідної

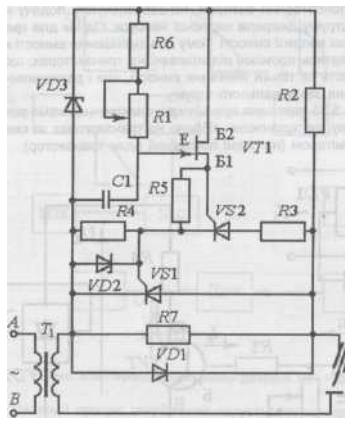


Рис. 5.34.

Принципова
електрична схема
пристрою для
компенсації
постійної складової
змінного струму

тривалості. Струм керування обмежений резистором ЯЗ, напруга - стабілітроном У/02. Після вмикання У51 всі елементи схеми зне- струмлюються.

Регулятор зниження зварювального струму (РЗЗС) або пристрій заварювання кратера (ПЗК) застосовується для плавного зниження струму в кінці зварювання з метою виключення утворення кратера в шві. При живленні дуги від зварювальних перетворювачів зменшення струму в кінці шва відбувається плавно за рахунок інерції частин генератора, які обертаються, при вимиканні двигуна від мережі. У статичних джерелах плавне зниження струму можна здійснювати за

рахунок конденсаторних батарей, які забезпечують подачу на вхід регулятора струму джерела керуючої напруги. Однак для цього необхідні батареї великої ємності. Тому для зменшення ємності можуть використовуватись проміжні підсилювачі на транзисторах, що створює можливість не тільки зниження ємності, але і регулювання процесу зниження зварювального струму.

На рис. 5.35 наведена принципова електрична схема регулятора такого типу, де підсилювач зібрано на транзисторах за схемою із загальним емітером (на схемі показаний один транзистор).

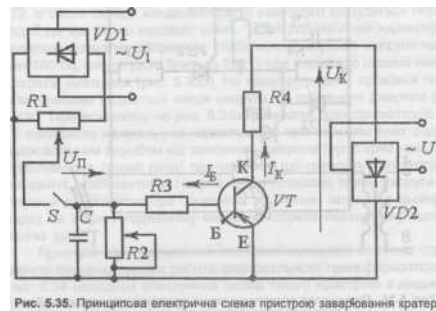


Рис. 5.35. Принципова електрична схема пристрою зварювання кратера

У процесі зварювання ключ в замкнений і конденсатор C заряджається до напруги $U_{\text{п}}$ яка знімається з потенціометра $Y1$ від випрямного пристрою $U01$. До колекторного кола транзистора UT підведено напругу u_k від випрямляча $U02$. Резистор умовно являє в схемі обмотку керування регулятора струму джерела. При усталеному процесі зварювання колекторний струм I_k визначається напругою U_k , опором $R4$ і струмом бази транзистора I_b . Наприкінці зварювання S автоматично розмикається, але струм I_b і, відповідно I_k , не перериваються, оскільки деякий час напруга і струм I_b підтримуються конденсатором C , який розряджається на коло емітер-база. Таким

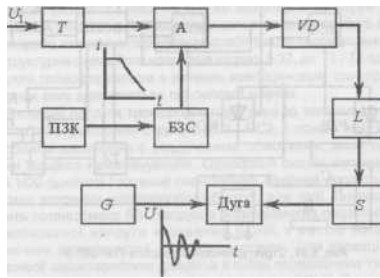


Рис. 5.36.

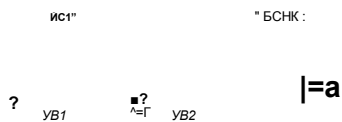
Функціональна схема
джерела УДГ-101

чином, кінцевий процес зварювання керується конденсатором, напруга на якому при розряді спадає по експоненті до нуля приблизно за 5-6 с.

5.2.3. Джерела живлення постійного струму для аргоно-дугового зварювання неплавким та плавким електродами

Установка типу УДГ-101 призначена для зварювання неплавким електродом виробів з корозійно-стійких сталей постійним струмом у середовищі аргону. Функціональна схема її наведена на рис. 5.36.

Магнітний підсилювач А, увімкнений до вторинного кола силового трифазного трансформатора Т, призначений для отримання спадних зовнішніх характеристик і плавної зміни струму навантажен-



ТА



Рис. 5.37. Структурна схема джерела ТИР-200 В

ня на двох ступенях регулювання. Випрямний блок УО, зібраний за трифазною мостовою схемою, служить для отримання зварювального струму з частотою пульсацій 300 Гц. Задання величини зварювального струму здійснюється резистором блоку БЗС, увімкненим в коло керування магнітного підсилювача. Лінійний дросель Х згладжує пульсацію випрямленого струму і напруги, зменшує стрибки струму при збудженні дуги. Пристрій ПЗК плавно знижує струм у кінці зварювання з метою запобігання утворенню в шві кратера. У корпусі установки є також осцилятор паралельної дії С і водоохолоджувальний пальник зі змінними цангами для електродів. Перемикач в забезпечує можливість проводити зварювання на прямій і зворотній полярності. Установка облаштована також педальною кнопкою вмикання струму, вимірювальними пристроями, апаратурою для увімкнення води і захисного газу. Виносний пульт керування забезпечує регулювання зварювального струму і часу³²¹ заварювання кратера, перевірку роботи осцилятора і газового клапана. Технічні характеристики УДГ- 101 наведені в табл.

5.3.

Джерело живлення ТИР-200В призначене для аргоно-дугового зварювання виробів неплавким електродом постійним струмом у безперервному та імпульсному режимах і має крутоспадні зовнішні характеристики. Як регулятор струму застосовується дросель насичення з розділеними робочими обмотками, який має високу швидкодію, а його габарити і маса на той же зварювальний струм у багато разів менші, порівняно із дроселями загальнопромислового виконання. Джерело живлення передбачає стабілізацію зварювального струму. Структурна схема його наведена на рис. 5.37, де 71 і 72 однофазні знижуючі трансформатори з різними коефіцієнтами трансформації, живлення яких здійснюється від силової мережі.

Вторинні напруги трансформаторів рівні за величиною і зсунуті на кут $\pi/2$. Регуляторами струму є $RC1$ і $RC2$, в основу яких покладено дросель насичення з розділеними обмотками, який працює в режимі вільного намагнічування. Однофазні силові випрямні блоки $VD1$ і $VD2$ однакові і з'єднані паралельно. Лінійний дросель L у колі дуги має вторинну малопотужну обмотку, для якої навантаженням служить потенціометр $R3$. Напруга з потенціометра подається в блок стабілізованої напруги керування БСНК з метою поліпшення динамічних властивостей регулятора струму. Для корекції форми зовнішньої характеристики джерела в схемі передбачено трансформатор струму TA , функціонально пов'язаний з БСНК. Блокувальний конденсатор C захищає випрямні блоки від пробоя високочастотними імпульсами високої напруги осцилятора. Оскільки ТИР-200В має напругу неробочого ходу 30В, то в схемі передбачено допоміжне джерело постійного струму з напругою 65В, яке ввімкнене паралельно основному джерелу з метою забезпечення стійкого збудження дуги (на схемі він не поданий). Часові параметри імпульсного режиму визначаються генератором імпульсів, який входить в блок часових інтервалів БЧІ і змінює величину опорної напруги керування, яка видається блоком БСНК. Величина зварювального струму і часові параметри імпульсного режиму регулюються дистанційно від спеціальної приставки, від якої також подаються команди на вмикання і вимикання джерела.

Дуга збуджується осцилятором, зовнішні характеристики мають високу степінь крутизни в діапазоні робочих напруг. Технічні данні ТИР-200В наведені в табл. 5.3. Джерело може також використовуватись для ручного аргоно-дугового зварювання в спрощеному режимі роботи. При цьому регулятор часових інтервалів БЧІ не працює.

Тиристорні джерела живлення серій ВСВУ, ВСВ призначені для автоматичного зварювання неплавким електродом виробів зі звичайних, корозійно-стійких і жароміцних сталей та титанових сплавів. Вони виконані на базі єдиної електричної схеми, яка реалізована у вигляді уніфікованих блоків. Джерела забезпечують стабілізацію зварювального струму при змінах напруги мережі, довжини дуги і температури навколишнього середовища. Випрямлячі серії ВСВУ призначені для зварювання на струмах 40, 80, 160, 315, 400 і 630 А в неперервному та імпульсному режимах відкритою і стиснутою дугою. Вони можуть здійснювати автоматичне, плавне, регульоване в часі нарощування струму на початку зварювання з метою рівномірного розігрівання вольфрамового електрода і, відповідно, підвищення його стійкості. Вони можуть також забезпечувати плавне регулювання струму чергової дуги в імпульсному режимі, модулювати імпульси від прямокутної до трикутної форми, плавно знижувати струм в кінці зварювання при заварюванні кратера. Функціональна схема джерела типу ВСВУ подана на рис.5. 38, де Т- зварювальний трансформатор, УЗ - силовий тиристорний блок, Яв - датчик струму, ДДЖ - допоміжне дже-

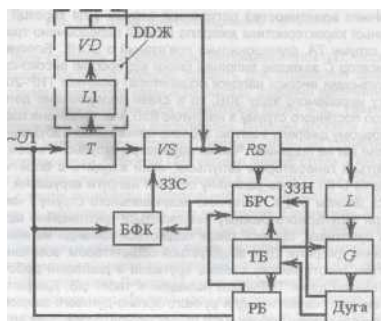


Рис. 5.38. Функціональна схема джерела живлення типу ВСВУ

рело живлення для збудження дуги, БФК і БРС - блоки фазового керування і регулювання струму, ТБ і РБ - тригерний і релейний блоки,
I, Є - згладжуючий дросель і осцилятор.

Спрощена принципова електрична схема силової частини джерела подана на рис. 5.39.

Силовий трифазний трансформатор має одну первинну і дві вторинні обмотки, з'єднані в "зірку". Основне джерело живлення - тиристорний випрямляч УВ, який має положистоспадну зовнішню характеристику і увімкнений на дугу паралельно з допоміжним малопотужним джерелом ДДЖ, яке формує крутоспадну ВАХ з напругою

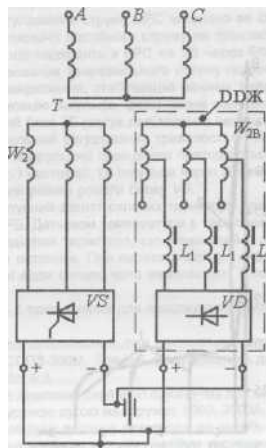


Рис. 5.39.

Спрощена
електрична
схема силової
частини
джерела ВСВУ-

неробочого ходу $u_{c0}=100$ В для зварювання в аргоні і 200 В - в середовищі гелію. u_{c0} можна змінювати від 65 до 200 В за рахунок секціонування вторинних обмоток і зміни їх з'єднання за допомогою перемикача допоміжного джерела. Крутоспадна характеристика ДДЖ забезпечується регулюючими однофазними лінійними дроселями 11 з роз'ємними феромагнітними осердями. Вони також виконують функції згладжуючих фільтрів на малих струмах і запобігають виникненню автоколивального режиму при глибокому регулюванні. У процесі зварювання горять одночасно дві дуги. Сполучення двох різних за формою зовнішніх характеристик (рис. 5.40), коли ДДЖ має достатню

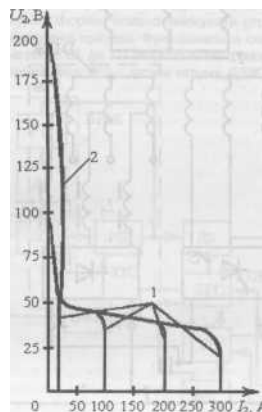


Рис. 5.40.

Зовнішні
характеристики
джерела ВСВУ-

315

316

напругу для надійного запалювання дуги-2, а основне джерело Уїї- вертикальну характеристику в діапазоні робочих напруг-1, дозволяє значно знизити напругу неробочого ходу основного джерела. Це приводить до зниження спожитої потужності, масо-габаритних показників, а також до підвищення ККД і сояср.

Датчик струму Яв видає сигнал зворотного зв'язку за струмом і являє собою водоохолоджувальну трубку з корозійно-стійкої сталі. Блок БФК виконано за

“вертикальним” принципом керування тиристорами, який полягає в порівнянні пилкоподібної напруги і напруги керування з наступним формуванням керуючих імпульсів на запуск силових тиристорів блока 1/8.

Блок регулювання струму БРС виконано за схемою диференційного підсилювача постійного струму на транзисторах. Результуючі сигнали, що надходять з БРС на І/Б через БФК, забезпечують плавне регулювання зварювального струму на початку і зниження його в кінці зварювання, стабілізацію режиму, імпульсну комутацію струму і модуляцію імпульсів, формування зовнішніх характеристик.

Тригерний блок ТБ слугує для задання імпульсного режиму і забезпечує незалежне регулювання тривалості імпульсів і пауз, формує імпульси напруги, які періодично повторюються й регулюються за тривалістю і частотою. Ці імпульси через блоки БРС і БФК задають імпульсний режим роботи блоку І/в.

Температурний захист силових тиристорів здійснюється релейним блоком РБ. Датчиком температури є терморезистор, який встановлено в радіаторі тиристора, що увімкнений в систему водяного охолодження останнім. При перевищенні допустимої температури охолоджуючої води силове коло вимикається і спалахує сигнальна лампочка.

Дросель *Б* призначений для згладжування пульсацій випрямленого струму.

Початкове запалювання дуги виконується з допомогою осцилятора типу ОСППЗ-3ООМ. Технічні характеристики джерел типу ВСВУ наведені в табл. 5.3.

Джерела живлення серії ВСВ призначені для автоматичного зварювання зануреною дугою на струмах 1000, 2000А. Вони забезпечують збудження дуги дотиком електрода до виробу на мінімальному струмі, плавне місцеве або дистанційне керування зварювальним струмом, плавне нарощування струму до заданого значення на початку зварювання і зниження його в кінці при заварюванні кратера. В електричній схемі містяться такі самі блоки, як і в схемі джерел типу ВСВУ, за винятком тригерного блока і осцилятора. Форма зовнішніх характеристик також подібна до форми ВАХ джерел серії ВСВУ. В ділянці робочих напруг зовнішня характеристика крутоспадна.

Джерела живлення серії ВСП призначені для дугового зварювання в захисних газах плавким електродом. Цей спосіб зварювання вимагає жорсткої або пологоспадної ВАХ. Тому функціональна схема цих джерел відрізняється від схеми ВСВУ тим, що на блок БФК надходить сигнал із блока регулювання напруги БРН, а блоки ТБ і G - відсутні.

Технічні дані джерел типу ВСВ, ВСП наведені в табл. 5.3.

Транзисторне джерело живлення типу АП-5М призначене для аргано-дугового зварювання неплавким електродом постійним неперервним або пульсуючим струмом прямої і зворотної полярності чорних та кольорових металів. Функціональна схема АП-5М подана на рис. 5.41.

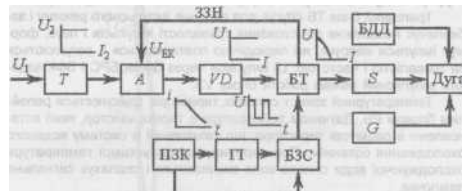


Рис. 5.41. Функціональна
схема транзисторного
джерела АП-5М

Послідовно з дугою і випрямлячем V_0 увімкнено блок паралельно з'єднаних транзисторів БТ в кількості 20 штук, які є регуляторами, стабілізаторами та імпульсними модуляторами зварювального струму. Зварювальний струм регулюється плавно при зміні струму загальної бази цих транзисторів. Магнітний підсилювач А, робочі обмотки якого ввімкнені у плечі випрямного блоку УО, пов'язаний через обмотку керування зворотним зв'язком за напругою (33Н) із блоком БТ, що дозволяє автоматично регулювати крутизну ВАХ. Зовнішні характеристики джерела-1 в зоні робочих напруг (заштрихована ділянка-2) є майже вертикальними (рис. 5.42).

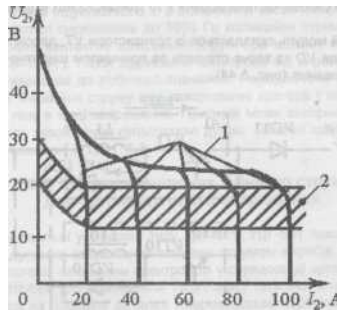


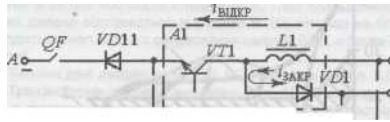
Рис. 5.42. Зовнішні
характеристики
джерела АП-5М

Блок керування базового кола живиться від малопотужного джерела стабілізованої напруги. Для отримання імпульсної дуги в коло керування введено напівпровідниковий генератор імпульсів ГІ, який дозволяє модулювати зварювальний струм за амплітудою та тривалістю. Регулювання тривалості імпульса і паузи ступінчасте (20 ступенів), їх тривалість може встановлюватись в межах 0,03-0,6 с. Зварювальний струм, який дорівнює колекторному струму блока БТ повторює багаторазово підсилений імпульсний струм сигналу. Дуга запалюється з допомогою осцилятора в. Блок малопотужного допоміжного джерела БДД забезпечує горіння чергової дуги напругою 70 В. У зварювальний контур увімкнено перемикач полярності в. Пристрій ПЗК призначено для заварювання кратера при зварюванні в неперервному та імпульсному режимах. Технічні дані джерела наведені в табл. 5.3.

Багатопостові системи живлення аргано-дугового зварювання комплектуються транзисторними постовими пристроями типу УДГ-201.

Із шинами багатопостового випрямляча вони з'єднується з допомогою перемикача 0? і захисного діода У011. Через малу потужність транзисторів силова частина зібрана з 10 транзисторних модулів Л1-Л10 (рис. 5.43).

Кожний модуль складається із транзистора УТ, дроселя Б і зворотного діода УО та керує струмом за принципом широтно-імпульсного регулювання (рис. 5.44).



I
ІЛ10 xio"1 I
yOİO I

B o—

Рис. 5.43. Спрощена електрична схема силової частини пристрою УДГ-201

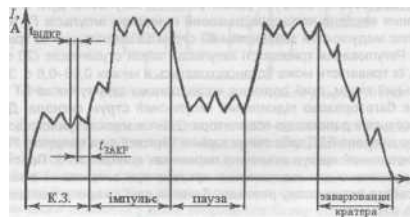


Рис. 5.44. Осцилограми струму при зварюванні джерелом УДГ-201

У відкритому стані транзистора на протязі інтервала $I_{\text{ВЩКР}}$ відбувається нарощування струму, при закритому - в інтервалі $I_{\text{ЗАКР}}$ струм підтримується індуктивністю L з допомогою зворотного діода. При високій частоті перемикачів до 1000 Гц коливання струму незначні. Передбачено контактне запалювання дуги при малому початковому струмі (10-12 А). Після відривання електрода від виробу струм поступово наростає до робочого значення. Передбачено можливість плавного зниження струму при заварюванні кратера і затримки вимикання газу в кінці зварювання. Пристрій може використовуватись також і для зварювання пульсуючою дугою. Технічні характеристики УДГ-201 наведені в табл. 5.3.

5.2.4. Джерела живлення змінного струму для аргоно-дугового зварювання

Зварювальні установки типу УДГ-301, УДГ-501 призначені для ручного дугового зварювання змінним струмом виробів з алюмінію та його сплавів неплавким електродом у середовищі аргону. Змінний струм потрібен для руйнування тугоплавкої оксидної плівки, яка утворюється на поверхні деталей і перешкоджає нормальному плавленню металу.

Функціональна схема установок наведена на рис. 5.45.

У цих установках функції знижуючого силового трансформатора та регулятора струму виконує трансформатор T з підвищеним магнітним розсіянням, який має нерухомий підмагнічувальний шунт. Магнітний підсилювач A із самопідмагнічуванням призначено для керування струмом шунта. Пристрій заварювання кратера ПЗК зібраний на транзисторних елементах і працює в колі обмотки керування магнітного підсилювача. Зварювальний струм спадає по експоненціальній кривій, час заварювання кратера регулюється від 0 до 30 с. Збуджувач дуги ϵ , що здійснює її первинне запалювання, та імпульсний стабілізатор горіння дуги змінного струму конструктивно об'єднано і виконано у вигляді самостійного блока. Спадні зовнішні характеристики формуються силовим трансформатором з підвищеними індуктивностями розсіяння обмоток. Магнітопровід трансформатора складається із двох взаємоперпендикулярних стрижнів, які вставлено один в інший. Внутрішній стрижень являє собою

магнітний шунт з обмоткою, яка створює магнітнорушійні сили, що не змінюються

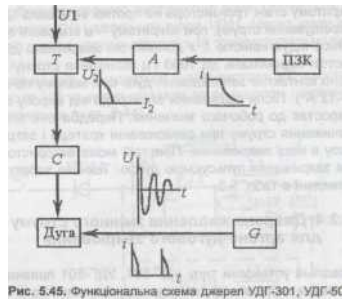
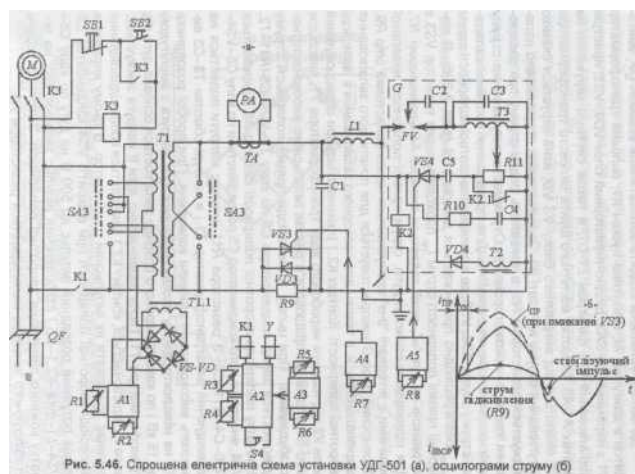


Рис. 5.45. Функціональна схема джерел УДГ-301, УДГ-501

в часі. Первинна та вторинна обмотки трансформатора розміщені симетрично на обох вертикальних стрижнях магнітопровода. Трансформатор виконано з частковим рознесенням обмоток, причому вторинна обмотка складається з двох послідовних котушок (основної та додаткової). Основну обмотку з більшим числом витків розташовано з одного боку шунта, а додаткову - з другого, там, де первинна обмотка. Регулювання струму комбіноване. Ступінчасте (грубе) регулювання здійснюється шляхом послідовного чи паралельного з'єднання котушок трансформатора, а плавне - підмагнічуванням шунта за рахунок зміни величини постійного струму в його обмотці керування. Зварювальний струм має несинусоїдну форму, його крива несиметрична відносно осі часу і містить постійну складову. Для її компенсації передбачено конденсаторну батарею С. Змінна складова, яка індуктується в колі керування шунта, також порушує синусоїдальність зварювального струму. Для придушення змінної складової в колі обмотки керування шунта передбачено допоміжні магнітопроводи з повітряними проміжками, які називаються пакетами розсіювання. Технічні дані установок типу УДГ-301, УДГ-501 наведені в табл. 5.3.

Розглянемо конструкцію установки типу УДГ-501-1, спрощена електрична схема якої наведена на рис. 5.46а.



До складу установки входять автоматичний вимикач вентилятор з двигуном M , магнітний пускач $K1$, силовий трансформатор 71 з перемикачем $в/АЗ$, діодно-тиристорний блок $\backslash 03$, $УЗЗ$, пристрій підпалювання $Є$ з фільтром $11-СТ$, а також система керування на платах $Л1-Л5$. Обмотки магнітного шунта силового трансформатора 71 живляться від випрямного блоку $\backslash ZS-VD$, який керується схемою регулювання струму на платі $A^1/$. Зварювальний струм плавно налагоджується резистором $Я1$, а тривалість спаду струму при заварюванні кратера - резистором 132 . Ступінчасте регулювання струму здійснюється перемикачем $вДЗ$. Для придушення постійної складової струму слугує $1/03$, $УвЗ$, де в півперіоді зворотної полярності струм $/_{звор}$ безперешкодно пропускається діодом $УОЗ$ (рис. 2.296). В півперіоді прямої полярності струм $/_{пр}$ проходить через тиристор $УвЗ$ з затримкою на кут “а”, який задається схемою $АА$ і резистором $(37$. Для підвищення стійкості дуги, струм прямої полярності невеликої величини в інтервалі “0-а” пропускається через баластовий опір 139 . Переносний блок в використовується для початкового запалювання зварювальної дуги, а також і для повторного запалювання в півперіоді зворотної полярності. Контакт $K2.1$ розмикається при спрацьовуванні реле $K2$ від напруги неробочого ходу трансформатора 71 , внаслідок чого блок починає працювати в режимі імпульсного високочастотного збуджувача. При цьому, в півперіоді прямої полярності струму здійснюється заряд конденсатора $C5$ по колу $72-\backslash 04-C5-Я?11-72$. З початку півперіода зворотної полярності схемою $A5$ відкривається $\backslash 84$, внаслідок чого конденсатор $C5$ розряджається по колу $C5-У54- Я?10-C4-Я11-C5$. З резистора 1311 імпульс напруги подається на підвищуючий автотрансформатор 73 і в контурі обмотки $ГЗ-СЗ$ виникають високовольтні згасаючі коливання. При пробі розрядника $Л/$ на міжелектродному проміжку утворюється напруга з амплітудою до 15 кВ і по каналу іскрового розряду запалюється основна дуга від трансформатора 71 . Після запалювання дуги її напруга знижується, реле $K2$ відключається, контакт $K2.1$ замикається і блок підпалювання починає працювати як імпульсний стабілізатор. В цьому випадку в півперіоді зворотної полярності при відкритті $1/84$ конденсатор $C5$ видає потужний розрядний імпульс до 500 В

на дугу по колу С5- 1/54-11 -дуга-К2. 1-С5 і стабілізуючий імпульс запалює дугу на початку кожного півперіода зворотної полярності. Затримка подачі стабілізуючого імпульса налагоджується резистором Я78.

Перед початком роботи установки замикають ∂p і запускають двигун M вентилятора за допомогою пускової кнопки $BB2$ та пускача $K3$.

Потім після натискання $\mathcal{E}4$ вмикається електрогазовий клапан Y та силовий контактор $K1$ в черзі, яка задана схемою $A2$ керування зварювальним циклом і $A3$ - обмеження роботи блоку підпалення. Час подачі газу до зварювання регулюється резистором $Я3$, а після зварювання - $Я4$. Час неперервної роботи блоку підпалення визначається $Я5$, а час роботи 71 на неробочому ході - регулятором $Я6$.

Універсальна установка УДГУ-301 призначена для ручного ар-гоно-дугового зварювання неплавким електродом нержавіючих сталей, титанових, мідно-нікелевих сплавів на постійному струмі, а також алюмінію та його сплавів на змінному струмі. На відміну від установки УДГ-501-1 у ній передбачено вентильний блок $A1$ та блок підживлення $A2$ (рис. 5.47).

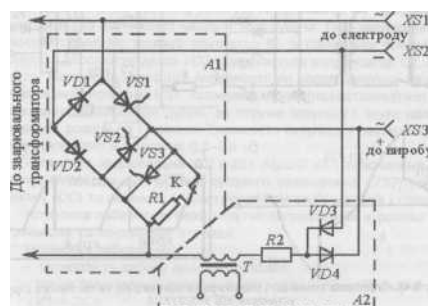


Рис. 5.47. Спрощена
електрична схема силовій
частини установки УДГУ-
301

Живлення дуги змінним струмом здійснюється шляхом почергового вмикання силових тиристорів $1/52$ і $VS3$. Для живлення дуги постійним струмом вмикаються тиристири $VS1$ і $VS2$, які разом з діодами $VD1$ і $VD2$ створюють

однофазну мостову схему випрямлення. Для підвищення стійкості горіння дуги провали у кривій випрямленого струму заповнюються струмом підживлення від блоку, який складається з трансформатора 7, баластового реостата Я?2 та діодів ШЗ, V04. Вентильний блок \ZS2-VS3 також може використовуватись і для компенсації постійної складової струму. У цьому випадку тиристор Ув2 в колі дуги прямої полярності відкривається із запізнюванням на кут “а”, а баластовий реостат Я?1, який вмикається контактором К, забезпечує необхідний для стійкого горіння дуги струм підживлення.

Установка УДГУ-302 УХЛ4 (рис. 5.48а) містить автоматичний вимикач С^, контактор К, силовий трансформатор Т1 зі збільшеним розсіянням, вентильний блок \ЛЗ1 - УЭб, блок підживлення V03, V04, К імпульсний стабілізатор ІС і збуджувач дуги в.

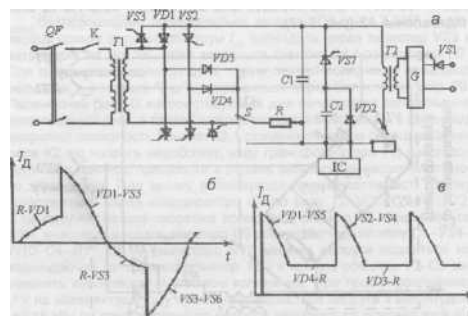


Рис. 5.48. Спрощена схема
(а) і осцилограма змінного
(б) та постійного струму
установки УДГУ-302УХЛ4

При зварюванні на змінному струмі працюють діод V04, нерегульований тиристор Ув3, що вмикається повнофазно, і регульовані тиристири V85, V86. Так в півперіоді прямої полярності струм йде по колу 71-V85-дуга-У01-71, а в півперіоді зворотної полярності по колу 71-V53-дуга-V86-71. За допомогою тиристорів Увб, Увб регулюється струм, формується спадна ВАХ і придушується постійна складова. При зварюванні на постійному струмі працюють діод УОІ і тиристири У52, У54, Увб, утворюючи несиметричну однофазну мостову схему випрямлення, в якій по чергові працюють то пара вентилів VD1, VS5, то пара VS2,

VS4. При зварюванні на постійному і змінному струмі використовується блок підживлення. При зварюванні на постійному струмі підживлення при вказаному на схемі положенні контакта S утворено діодами $VD3$, $VD4$ і баластовим реостатом R . При зварюванні на змінному струмі контакт S перемикається і підживлення йде від трансформатора 71 через баластовий реостат R . Осцилограма змінного струму показана на рис. 5.48б, а постійного струму - на рис. 5.48в. Початкове запалювання дуги виконують з допомогою збуджувача G і трансформатора 72 вмиканням тиристора VS1. Імпульс збуджувача має початкову високовольтну складову, що забезпечує пробій міжелектродного проміжка, і низьковольтну потужну складову, що сприяє розвитку розряда. Конденсатор C1 захищає основне джерело від високої напруги збуджувача. При зварюванні на змінному струмі діє також стабілізатор IC. У півперіоди прямої полярності з допомогою діода $VD2$ заряджається конденсатор C2, а на початку півперіоду зворотної полярності він розряджається на дугу при вмиканні тиристора VS7. Установка може використовуватися для зварювання пульсуючою дугою, де струми імпульсу і паузи налаштовуються роздільно і плавно. Тривалість імпульсу і паузи регулюються дискретно в інтервалі 0,1-9,9 с.

Установка зварювальна УДГУ-251 AC/DC У3.1 призначена для ручного (MMA) та для аргоно-дугового зварювання (TIG) на постійному (DC) та змінному (AC) струмах всіх видів металів і сплавів.

Установка забезпечує безконтактне запалювання в режимі TIG на змінному та постійному струмах.

Установка забезпечує:

- можливість вибору одного з режимів:
- ручне зварювання плавким електродом на постійному струмі (MMA-DC);
- ручне зварювання плавким електродом на змінному струмі (MMA-ACU,
- аргоно-дугове зварювання неплавким електродом на постійному струмі (TIG-DC)]
- аргоно-дугове зварювання неплавким електродом на змінному струмі (TIG-AC).

Аргоно-дугове зварювання може здійснюватися в режимах “довгі шви” або “короткі шви”.

У режимі *ТЮ* установка забезпечує:

- при натисканні кнопки на пальнику - продувку газового тракту протягом 0,2-8 с з подальшим увімкненням вихідної напруги;
- регулювання часу плавного наростання струму зварювання від 0,1 до 10 с;
- регулювання плавного зниження струму в кінці зварювання у межах від 0,1 до 10 с;
- регулювання часу продувки протягом 0,2 - 30 с в кінці зварювання;
- збудження дуги дотиком у режимі *ММА* та безконтактне запалювання в режимі *ТЮ*;
- можливість регулювання очищувальної та проплавляючої здатності дуги в режимі *ТЮ-АС*;
- можливість підключення пульта дистанційного керування;
- регулювання початкового струму зварювання;
- плавне регулювання зварювального струму.

Випрямляч зварювальний типу ВД-506ДК призначено:

- для зварювання вуглецевих, легованих та корозійно-стійких сталей на постійному струмі (*ММА-ОС*) електродами з основним та целюлозним покриттям діаметром 2-6 мм;
- для зварювання неплавким електродом у середовищі аргону (*ТІГ-ОС*) всіх металів, за винятком алюмінію та його сплавів при комплектуванні випрямляча блоком керування зварювальним процесом БУСП-ТІГ та збуджувачем дуги ВСД-02;
- для напівавтоматичного зварювання в середовищі CO_2 або в сумішах CO_2 -аргон (*МАГ-ОС*) і напівавтоматичного зварювання на постійному струмі в середовищі аргону (*МІГ-ОС*) при комплектації випрямляча механізмом подачі ПДГО-5ЮТ або ПДГО-511.

Випрямляч забезпечує ступеневе регулювання нахилу зовнішньої вольтамперної характеристики. Технічні характеристики УДГУ-251 та ВД-506ДК

наведено в табл. 5.3.

Високочастотна установка типу УДГ-350 УХЛ4 (рис. 5.49) призначена для аргано-дугового зварювання постійним струмом як неперервною, так і пульсуючою дугою. До її складу входять автоматичний вимикач *др*, мережевий фільтр С1-С6, Х1-Х3, мережевий випрямний блок І/О, згладжуючий дросель 14 і чотири транзисторних інверторних модулі А1-А4. Кожен інверторний модуль у свою чергу зібраний з 10 транзисторів за однотактною півмостовою схемою. У складі кожного модуля містяться власний високочастотний трансформатор і випрямний блок із фільтром.

Завдяки цьому підвищується надійність роботи джерела, оскільки після виходу з ладу одного з модулів установка працює, хоча і при меншому струмі. Частота інвертора сягає 16 кГц. Зовнішні крутоспадні характеристики формуються за рахунок зворотного зв'язку за струмом. Установка забезпечує регулювання струму з високою кратністю, а також плавне наростання струму і зварювання кратера.

Джерела ТИР-ВЧ-160 і ТИР-ВЧ-250 містять тиристорний інвертор і призначені для аргано-дугового зварювання як в неперервному, так і в імпульсному режимі. Джерело ТИР-ВЧ-250 може також використовуватися для зварювання покритим електродом і для механізованого зварювання в середовищі активних газів.

Установка УДГ-161 являє собою тиристорний випрямляч, що може працювати в імпульсному режимі. Запалювання дуги виконується контактним способом при зниженому струмі. Установку можливо використовувати для запуску автомобільних двигунів і зарядки акумуляторних батарей.

Для побутового використання рекомендована найпростіша установка УДГ-82. Вона містить однофазний трансформатор з рознесеними обмотками і витковим регулюванням на 12 ступенів, діодний випрямляч і газовий клапан. Вона укомплектована збуджувачем ВСД-82, але може працювати і без нього. В останньому випадку дуга збуджується коротким замиканням.

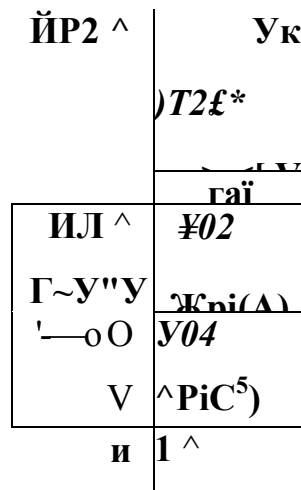
Універсальним джерелом є ТИР-300Д, яке використовується для аргано-дугового зварювання неплавким електродом постійним струмом прямої

полярності та змінним струмом прямокутної форми. Його також можна застосовувати для ручного зварювання покритими електродами. Джерело забезпечує автоматичний процес зварювання усіх металів, включаючи алюміній та його сплави (табл. 5.3).

Регулювання струму навантаження і його стабілізація, поліпшення форми кривої змінного струму забезпечуються дроселем насичення з роздільними робочими обмотками, які працюють у режимі змушеного намагнічування. Спрощена принципова електрична схема такого дроселя наведена на рис. 5.50, де 71 і 72 - стрижні дроселя насичення з розподільними робочими обмотками $\sqrt{p_2}$ B - лінійна індуктивність, яка увімкнена в коло випрямного моста, зібраного на тиристорах УВІ-ІФІ; i_1 —лінійна індуктивність у колі обмотки керування; I_{01} - $\sqrt{04}$ -діоди, які забезпечують необхідний напрямок струму в обмотках дроселя $\sqrt{p_i}$.

Індуктивність I використовується при зварюванні як постійним, так і змінним струмом. При зварюванні постійним струмом міждуговий проміжок вмикається послідовно з I , а при зварюванні змінним струмом - у коло струмових обмоток замість опору. Якщо в котушці із стрижнем створити якусь початкову напруженість магнітного поля за рахунок протікання по її обмотці струму, то при підключенні такої котушки до джерела напруги струм у колі “мережа живлення-котуш-ка” в перший момент після вмикання буде рівний струму до вмикання. Подальше зростання струму (при відповідній полярності напруги U) струм у колі буде визначатися лише величинами напруги u та індуктивності B і часом прикладення напруги. При достатньо великій величині I струм у колі котушки протягом півперіоду незначно збільшиться. Якщо через деякий час лінійну індуктивність підключити до напруги u іншої полярності, то струм почне зменшуватися за величиною за рахунок віддачі в мережу частини енергії, яка нагромаджується в магнітному полі індуктивності. За умови жорсткого контролю величини додаткового струму режим роботи індуктивності не зміниться, і початкове значення струму залишиться на заданому, встановленому заздалегідь рівні. Залишиться незмінним за величиною і струм у колі “джерело напруги

(мережа) - обмотка котушки з індуктивністю L . Змінюючи величину початкового струму в лінійній індуктивності L , можна регулювати рівень струму в навантаженні дроселя у певному діапазоні. Вмикання індуктивності L до мережі здійснюється за допомогою тиристорів $1/81-V/84$ випрямного моста. Завдяки цьому створюються можливості циркуляції струму з мережі



НИУо

Рис. 5.50. Електрична схема дроселя з розподільними робочими обмотками до B і назад через навантаження. Контроль перевищення величини створеного наростання струму порівняно із заданим в індуктивності I та зниження його до встановленого рівня здійснюються за рахунок вмикання і певного порядку роботи тиристорів у межах періоду частоти мережі живлення. Цей контроль проводиться за допомогою малопотужного дроселя насичення, який працює у режимі змушеного намагнічування.

Величина струму I_n в колі навантаження визначається струмом керування I_k дроселя насичення:

$$I_n = \frac{W_k}{W_{p2}} I_k$$

Універсальність застосування дроселів насичення з роздільними робочими обмотками в режимі змушеного намагнічування у джерелах живлення типу ТИР-ЗООД без додавання допоміжних силових елементів є однією з переваг регуляторів струму даного типу.

Структурна схема джерела типу ТИР-ЗООД наведена на рис. 5.51.

A

B

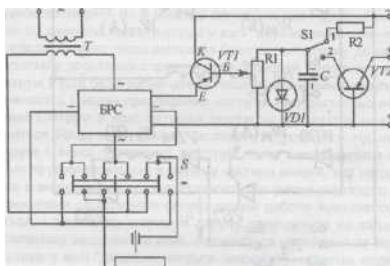


Рис. 5.51. Структурна схема джерела живлення ТИР-300Д

де Г-силовий однофазний понижуючий трансформатор із жорсткою зовнішньою характеристикою; БРС-блок регулювання струму, який побудований на базі дроселя насичення з роздільними робочими

332

обмотками; 8-триполюсний перемикач, з допомогою якого здійснюється перемикання джерела для зварювання на постійному чи змінному струмі; УТ1-транзистор підсилювача, який зібрано за схемою емітерного повторювача; С-електролітичний конденсатор, який забезпечує (при переведенні перемикача 81 в положення 2) зменшення струму в колі керування в кінці зварювання при розряді його на транзистор У72; Я1 - регулятор струму в колі керування дроселем.

Заряджається С при зварюванні, коли в1 знаходиться в положенні 1. У лівому положенні триполюсного перемикача 8 дуговий проміжок між електродом і виробом “е-в” вмикається на клема “е_ - в,” у коло вторинної обмотки силового трансформатора Т послідовно з робочими обмотками И/∧ дроселя (рис. 5.50). Одночасно клема “е=- в=” закорочуються і джерело готується для зварювання на змінному струмі. У правому положенні 8 дуговий проміжок вмикається на клема “е=- в.” в колі I, а клема “е_ - в.” при цьому закорочуються.

Силове коло джерела має автоматичний захист та комутуючу апаратуру. Збудження дуги на початку зварювання здійснюється з допомогою подання на проміжок “е - в” серії високочастотних високовольтних імпульсів напруги, що виробляються осцилятором. Збудження дуги на зворотній полярності при

зварюванні на змінному струмі здійснюється шляхом введення послідовно в коло дуги імпульсу напруги тривалістю близько 50 мкс і амплітудою до 400 В. Регулювання струму в межах кожного ступеня плавне.

Для зварювання на змінному струмі випускається також імпульсне джерело живлення типу ИСВУ-315-1 з покращеною формою кривої струму, технічні характеристики якого наведені в табл. 5.3.

Джерело ИСВУ-315-1 (рис. 5.52а) містить трансформатор Т з нормальним розсіянням. Тиристорний блок У81-У84 використовується для формування спадної характеристики та регулювання зварювального струму. При вмиканні тиристорів Ув1, У83 по колу 7"-У81-І- У83-дуга-Т проходить струм прямої полярності, при вмиканні тиристорів Ув2, У84 - струм зворотної полярності і в дузі утворюється змінний струм. Дросель І, що встановлений у діагоналі випрямного блока, нагромаджує енергію при амплітудному значенні струму, що по ньому проходить, а на початку і в кінці півперіоду повертає її. Тому крива зварювального струму має приблизно прямокутну форму, що підтримує стійке горіння дуги (рис. 5.52б). Дросель також перерозподіляє енергію між двома півперіодами, що усуває необхідність у

пристрої придушення постійної складової. До складу джерела входять імпульсний стабілізатор ІС і осцилятор послідовного вмикання Є.

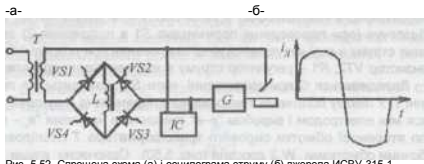


Рис. 5.52. Спрощена схема (а) і осцилограма струму (б) джерела ІСВУ-315-1

Система програмного керування забезпечує плавне наростання та спад струму, а при необхідності й зварювання пульсуючою дугою.

Установка УДС-251 призначена як для аргоно-дугового зварювання, так і для ручного дугового зварювання плавким електродом на змінному струмі. Крім понижуючого трансформатора зі збільшеним розсіянням, вона має тиристорний блок для регулювання струму і придушення його постійної складової. З допомогою тиристорного блока виконується також “холодний пуск”, а саме запалювання дуги коротким замиканням при зниженому струмі. До складу установки входить стабілізатор горіння дуги. Установка УДГ-180 являє собою трансформатор з рухомим магнітним шунтом, а УДГ-121 — трансформатор із тиристорним регулюванням. Установка може комплектуватися збуджувачем-стабілізатором ВСД-121.

Пост аргоно-дугового зварювання алюмінію та його сплавів на змінному струмі можна також зібрати на базі зварювального трансформатора типу ТД чи СТШ, із збуджувачем-стабілізатором типу ВСД-01 або пристроєм підпалювання дуги 13РП-80 і конденсаторною батареєю для компенсації постійної складової струму. При зварюванні на невеликих струмах, якщо можливе контактне запалювання дуги, можна використовувати трансформатори типу “Разряд” чи ТДК-315, які укомплектовано імпульсними стабілізаторами.

Для поліпшення якості виконання зварювальних робіт доцільне застосування модульованого зварювального струму, який дозволяє вирішувати такі технологічні проблеми, як зменшення зони перегріву металу, зменшення залишкових напруг та деформацій, проведення

зварювання в будь-яких просторових положеннях без зміни стабільності процесу. Процес модулювання зварювального струму успішно здійснюється з допомогою джерел з індуктивними нагромаджувачами енергії (ІНЕ), які дають можливість у широких межах регулювати параметри процесу, обираючи найбільш оптимальні технології зварювання, і сполучати високо- та низькочастотну модуляцію в одному пристрої. Основною перевагою ІНЕ є виділення у зварювальній дузі постійної величини електричної енергії, яка акумулюється в електромагнітній системі нагромаджувача, що дозволяє підвищити еластичність дуги і стабільність процесу зварювання. Завдяки ЕРС самоіндукції на дуговому проміжку завжди виникає така напруга, яка потрібна для підтримання дугового розряду при даному струмі нагромаджувача, і тому зникає необхідність у застосуванні стабілізаторів дуги.

Розглянемо роботу джерела живлення типу И-126 з індуктивними нагромаджувачами енергії, яке широко застосовується при зварюванні алюмінію та його сплавів різнополярними імпульсами. Спрощена принципова електрична схема силової частини наведена на рис. 5.53.

До складу И-126 входять два автономних джерела постійного струму, які складаються з регульованих випрямлячів $U1$ і $C/02$, індуктивних нагромаджувачів енергії - дроселів $L1, L2$, розподільних діодів $U01$ і $U02$, тиристорного комутатора $Uв1$, $\backslash ZS2$ комутувально-го конденсатора C . Випрямляч $Ш1$ з нагромаджувачем $L1$ живить дугу прямої полярності по колу $[U01 - L1 - дуга - U02 - U32$, а випрямляч $[U02$ з нагромаджувачем $L2$ живить дугу зворотної полярності по колу $[U02 - L2 - дуга - \backslash U01 - \backslash U51$. На рис. 5.54 наведена часова діаграма струмів нагромаджувачів і струму навантаження.

У момент часу t_1 блоком керування відкривається тиристор $I/в1$ і дросель $L1$ нагромаджує електромагнітну енергію за рахунок наростання струму $I/л$ (рис. 5.54 а), протікання якого показано на рис. 5.53 суцільною тонкою лінією. У той самий момент t_1 вимикається $\backslash B2$, але $L2$ підтримує спадаючий струм $I/2$, віддаючи раніше нагромаджену енергію. При цьому дросель $L2$ живить дугу струмом зворотної полярності по колу, показаному пунктирною лінією (рис. 5.53), і одночасно заряджає конденсатор C . У момент t_2 відкривається тиристор $\backslash B2$ і

розрядом по колу С-У52-У81-С закривається У51. З моменту i_2 дросель L_2 починає нагромаджувати, а L_1 - віддавати енергію,

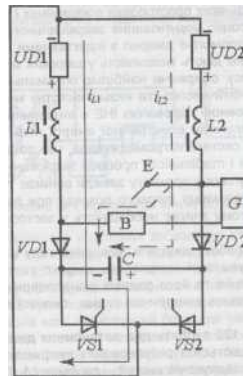


Рис. 5.53.

Спрощена
електрична
схема силової
частини
джерела з
різнополярним
и імпульсами

підтримуючи струм у дугі прямої полярності і перезаряджаючи конденсатор С до моменту t_3 , коли процеси у джерелі знову повторюються. Таким чином, струм дуги має форму різнополярних імпульсів (рис. 5.54в). Струм обох імпульсів нагромаджується незалежно і плавно за допомогою випрямлячів $UD1$ та $UD2$. Тривалість імпульсів прямої та зворотної полярності задається блоком керування незалежно один від одного і регулюється в інтервалі 0,004-0,015 с. Зазвичай струм і час імпульсу зворотної полярності обирають невеликими, але достатніми для ефективного очищення поверхні деталі. На початку кожного імпульсу завдяки стрибку опору кола в ІНЕ створюється висока ЕРС самоіндукції, яка забезпечує надійне повторне запалювання. Тому джерело не має потреби в імпульсному стабілізаторі дуги. Форма імпульсів струму близька до прямокутної, тому що нагромаджувачі працюють у режимі неповного розряду. Нагромаджувач і

випрямляч

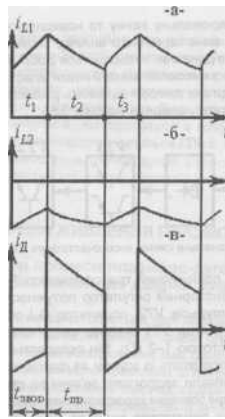


Рис. 5.54.
Осцилограми
струму
нагромаджув
ана И (а),
струму
нагромаджув
ана 1.2 (б),
зварювальног
о струму (в)
джерела з
різнополярни
ми
імпульсами

з'єднані пс-слідовно, тому дуга живиться сумарною ЕРС, що дозволяє знизити потужність і габаритні показники джерела. Через високу електромагнітну інерцію нагромаджувачів струм імпульсу при коливаннях напруги дуги не змінюється. Зварювання імпульсною дугою за рахунок крутих фронтів та амплітуд призводить до інтенсивного перемішування розплавленого металу, його дегазації та збільшення глибини проплавлення зварюваного виробу. Зовнішня характеристика джерела крутоспадна. Початкове запалювання дуги здійснюється осцилятором в. Блок керування забезпечує плавне наростання струму на початку і

зниження в кінці зварювання, імпульсну модуляцію струму для зварювання пульсуючою дугою. Зварювання пульсуючою дугою металів, за винятком алюмінію, забезпечує термо-

22.Зам.7530 3 3 7

циклічну дію на зварювальну ванну та навколошовну зону, завдяки чому зменшуються зони термічного впливу, залишкові напруги і деформації зварного з'єднання. Утворюються добрі умови для формування якісного шва з високими механічними властивостями.

До високочастотних джерел належить джерело ИПИД-80, функціональну схему якого наведено на рис. 5.55.

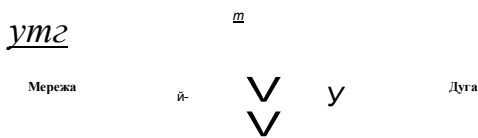


Рис. 5.55. Функціональна схема високочастотного джерела ИПИД-80

Воно містить понижуючий трансформатор T , некерований випрямляч УО, транзисторний регулятор потужності УТ1, комутатор високочастотних імпульсів УТ2, осцилятор Є і систему керування. Транзисторний регулятор УТ1 виконує широтно-імпульсне регулювання режиму з частотою 1-2 кГц. Він складається з двох транзисторних ключів, що працюють із зсувом за фазою на 180° . Регулятор, використовуючи сигнали зворотного зв'язку за струмом і за напругою, формує необхідні зовнішні характеристики. Завдяки високій швидкодії транзисторного регулятора джерело може швидко переходити від одного типу характеристики до іншого. Так, при контактному запалюванні дуги протягом десятих долей секунди використовується крутоспадна характеристика, що запобігає перегріву вольфрамового електрода. Після цього за тисячні долі секунди джерело переходить до роботи з пологоспадною характеристикою, при якій завдяки своєрідному саморегулюванню за плавленням основного металу стабілізуються розміри зварювальної ванни.

Транзисторний комутатор УТ2 генерує уніполярні прямокутні імпульси зварювального струму з частотою 20 кГц і амплітудою до 200 А. Запалювання дуги може виконуватись як контактним, так і безконтактним способом - з допомогою осцилятора в.

Мікропроцесорна система керування задає режим роботи комутатора УТ2 і формує циклограму роботи джерела. Система може бути доповнена

мікропроцесорним модулем-програматором, з допомогою якого можна записувати, зберігати і відтворювати декілька 338

різних програм. Можливе програмування із заданим часом наростання і спадання струму, циклу із стабілізацією струму і його відключенням за командою оператора, циклу з відключенням після закінчення заданого часу зварювання, циклу з керуванням крутизною вольт-амперних характеристик. Джерело може бути доповнене генератором низькочастотних імпульсів, які подаються в комутатор $\sqrt{2}$ і накладаються на його високочастотні імпульси. Така подвійна модуляція забезпечує зварювання пульсуючою дугою з керованим проплавленням деталі, що зменшує небезпеку пропалів і покращує формування шва.

5.3. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ПЛАЗМОВОЇ ДУГИ

5.3.1. Основні процеси плазмово-дугової обробки металів і вимоги до джерел живлення

Стиснута дуга використовується при плазмовому зварюванні, різанні, наплавленні та напиленні, а також плазмово-механічній обробці металів. Плазмове зварювання має багато спільного з аргоно-дуговим зварюванням вольфрамовим електродом, але є більш досконалим способом отримання зварних з'єднань. Дуга, яка вільно горить, при аргоно-дуговому зварюванні в межах малих струмів нестійка (блукає). З підвищенням струму зростає діаметр її стовпа і спадає концентрація теплової потужності на виробі, що призводить до збільшення ширини шва і зони термічного впливу. Крім цього, в результаті віддалення від вольфрамового електрода температура стовпа різко зменшується, таким чином, з підвищенням довжини дуги її проплавляюча властивість зменшується. Тому для отримання стабільної якості зварного шва необхідно чітко підтримувати незмінною довжину дуги, що пов'язане з деякими технічними труднощами. Ці недоліки усуваються при інтенсивному стисканні дуги з допомогою плазмотрону, а дуга при цьому стає плазмовою. Стовп плазмової дуги, який має температуру до 20000 К, жорстко стабілізований по осі електрода. Висока концентрація його теплового потоку на виробі дозволяє отримувати зварні з'єднання з глибоким проплавленням і відносно невеликої ширини при підвищенні швидкості зварювання. При

цьому значно зменшується зона термічного впливу, внаслідок чого підвищується якість з'єднань із спеціальних сплавів, а при зварюванні тонколистових конструкцій - знижується їх деформація. Підвищення глибини проплавлення в 1,5-2 рази у порівнянні зі зварюванням дугою, яка вільно горить, дозволяє за один прохід з'єднувати метали товщиною до 30 мм. Невеликі розміри та висока стабільність горіння стиснутої дуги дає можливість застосовувати її і для зварювання тонких металів від 0,1 мм і вище на струмах до 25 А без пропалів і непроварів. Цей вид зварювання називається мікро- плазмовим.

При плазмовому зварюванні дуга горить поетапно (рис. 5.56).

-а-

-б-

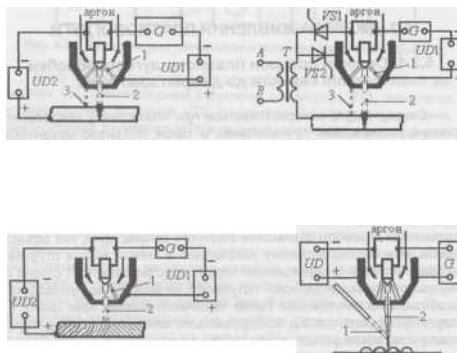


Рис. 5.56. Схеми плазмових процесів: зварювання на постійному струмі (а), зварювання на змінному струмі (б), різання (в), напilenня (г)

Спочатку запалюється чергова дуга -1, яка горить між електродом та соплом. Плазмовий струмінь, який видувається із сопла, торкається виробу, внаслідок чого між електродом та виробом утворюється основна дуга-2. Після цього чергова дуга гасне. У разі різкого зростання струму, недостатніх витрат газу та інших порушень режиму зварювання основна дуга може перекинутись на сопло і викликати так зване “подвійне дугоутворювання” (дуга-3), що призводить до руйнування сопла та порушення технологічного процесу. Початкове запалювання

дуги виконується осцилятором або збуджувачем Є послідовної дії. Для підтримування горіння чергової дуги використовується слабопотужний випрямляч із струмом до 20 А, який має крутоспадну зовнішню характеристику. Основне джерело постійного струму $I/02$, яке створює крутоспадну ВАХ для забезпечення стійкості дуги і стабільності проплавлення, використовується при зварюванні більшості металів на струмі прямої полярності.

Зварювання алюмінієво-магнієвих сплавів, титану та цирконію здійснюється на постійному струмі зворотної полярності або змінному струмі. Зварювання на змінному струмі через низьку стійкість вольфрамового електрода застосовується обмежено. Один із способів зварювання тонколистового алюмінію (рис. 5.56б) полягає в тому, що основна дуга - 2 прямої полярності, яка горить між електродом і виробом, живиться від трансформатора T через тиристор $\backslash ZS1$. Від того ж трансформатора через тиристор $1/82$ живиться дуга зворотної полярності - 3, яка горить уже між соплом і виробом. Висока стійкість електрода забезпечується в даному випадку при зварюванні у півперіоді прямої полярності. Надійному повторному запалюванню сприяє чергова дуга - 1, яка горить безперервно.

Одним із способів підвищення концентрації теплового потоку a , відповідно, і продуктивності процесу, є використання при плазмовому зварюванні імпульсного або пульсуючого струму. Імпульсне введення тепла в метал розширює зону регулювання теплового режиму зварювання. Протягом пауз для стабільності процесу горить ма- лоамперна чергова дуга.

Плазмове різання забезпечує розплавлення металу стисненою дугою і виведення його з порожнини розрізу за рахунок кінетичної енергії плазмового струменя-2 (рис. 5.56в). Плазмоутворюючими газами обирають водень або азот, які мають велику теплоємність. Якщо в якості електродів використовуються стійкі до окислювального середовища цирконієві або гафнієві термокатоди, то різання виконується в середовищі стисненого повітря. Застосовується і різання в середовищі аргону. Порівняно з кисневим різанням плазмове, забезпечуючи якість розрізу, може застосовуватися для різання кольорових металів та їх сплавів, нержавіючих та інших спеціальних сталей, чавунів і т. п. При різанні

застосовується плазмова дуга прямої дії, яка відрізняється від зварювальної більш високим ступенем стиснення стовпа і, отже, більшою концентрацією теплового потоку та швид

кістю потоку плазмового струменя. Завдяки термічному і механічному впливу стовп дуги проникає і заглиблюється в середину металу, виплавляючи і видуваючи метал з порожнини розрізу. На відміну від кисневого факела, для врізання якого потрібно витратити деякий час на місцевий підігрів металу до температури його розплавлення, плазмова дуга завдяки власній високій температурі врізається в метал миттєво. Довжина дуги з урахуванням великої внутрішньосоплової складової може сягати до 200 мм. Градієнт потенціалу в стовпі дуги також великий і в середині сопла може складати до 20 В/мм. Тому напруга різальної дуги значно вища, ніж при зварюванні, і може сягати до 300 В. Напруга неробочого ходу джерела може перевищувати 350 В. Зовнішня характеристика джерела повинна бути “штиковою”, тобто майже вертикальною спадною з величиною диференціального опору рджд не нижчою за 5 В/А.

Процес плазмово-механічної обробки металів (стругання, токарна обробка) подібний до процесу плазмового різання. Плазмова дуга розігріває поверхню виробу, що приводить до значного підвищення продуктивності чорного зняття твердого поверхневого шару матеріалу, який важко піддається обробці. Вимоги до джерела живлення аналогічні вимогам до джерел для плазмового різання.

Плазмові наплавлення та напилення широко застосовуються при відновленні зношених поверхонь. З метою зниження вартості виготовлення деталі робочу поверхню покривають більш дорогим жароміцним, зносостійким сплавом. Використовуючи в якості захисних покриттів різні за складом металеві і неметалеві матеріали, можна надати деталям в цілому потрібні механічні, теплові, діелектричні та інші властивості. Матеріал покриття, який спеціально виготовлений у вигляді дрібногранульованого порошку чи дроту-1, подається в потік плазмово-? струменя-2 і, розплавляючись, переноситься на виріб (рис. 5.56г). Незважаючи на певні загальні властивості, процеси плазмового наплавлення та плазмового напилення істотно відрізняються один від одного. Для плазмового наплавлення найбільш широко застосовується плазмотрон комбінованої дії. При горінні незалежної дуги між вольфрамовим електродом та соплом плазмотрону відбувається розплавлення присаджувального металічного

порошку, а при горінні дуги між електродом і виробом поверхня останнього нагрівається і забезпечується сплавлення основного та присаджувального металів. При плазмовому наплавленні як плазмоутворювальний та захисний газ використовується аргон.

На відміну від наплавлення процес напилення характеризується більшою концентрацією теплового потоку і високою швидкістю витікання плазмового струменя. Це пов'язано з тим, що при плазмовому напиленні застосовуються тугоплавкі метали (вольфрам, молібден, тантал та інші) або окиси металів, силіциди, карбіди, бориди та ін. неметалеві матеріали, які мають високу температуру плавлення. Ці матеріали у вигляді дрібногранульованого порошку, проходячи крізь плазмовий струмінь, встигають нагрітися в основному тільки до стану пластичності. Однак завдяки високій швидкості плазмового струменя, частинки порошку набувають значної кінетичної енергії і при зіткненні з поверхнею розплющуються, та заповнюють нерівності. При цьому кінетична енергія частинок виділяється у вигляді тепла, що і забезпечує міцне зчеплення частинок між собою та з поверхнею виробу. Для напилення використовується плазмова дуга непрямої дії, яка горить між вольфрамовим катодом та охолоджуваним водою мідним соплом (анодом) і видувається через сопло у вигляді плазмового факела. Окреме джерело чергової дуги при плазмовому напиленні не потрібне. Інші вимоги до джерел для плазмового наплавлення або напилення подібні вимог до джерел для плазмового зварювання.

5.3.2. Джерела живлення для плазмового зварювання

Для плазмового зварювання неплавким електродом постійним струмом прямої і зворотної полярності широко застосовуються установки серії УПС. На прямій полярності ними виконується зварювання виробів із міді, її сплавів і корозійно-стійких сталей, на зворотній полярності - виробів із алюмінію та його сплавів.

Установка типу УПС-301 застосовується для ручного дугового зварювання в неперевному та імпульсному режимах і може бути використана для зварювання як стисненою, так і вільною дугою.

Установка типу УПС-501 призначена для механізованого зварювання в неперервному режимі.

До складу установок входять джерело живлення тиристорного типу, плазмотрони. До установки для механізованого зварювання додається також

Спрощена принципова електрична схема силової частини УПС-301 наведена на рис. 5.57.

The circuit diagram shows a transformer with multiple secondary windings connected to various components. One winding is connected to a bridge rectifier consisting of four diodes labeled VZ1, VZ2, VZ3, and VZ4. The output of this rectifier is filtered by capacitor C1 (315A) and regulated by Zener diode VR1 (20V). Another winding is connected to a series combination of resistors R1 and R2, followed by a Zener diode VR2 (20V). A third winding is connected to a resistor network involving R3, R4, and R5, which also includes a Zener diode VR3 (20V). The final output is taken from a point labeled E8, which is connected to ground through a resistor R6.

359

Джерело підключається до напруги мережі автоматичним вимикачем б^а та магнітним пускачем (на схемі не показаний). Трифазний зварювальний трансформатор з нормальним магнітним розсіянням подає напругу на тиристорний випрямний блок У/в, який зібрано за шестифазною мостовою схемою випрямлення зі зрівнювальним реактором *ЫІ*. Кругоспадна зовнішня характеристика формується за рахунок зворотного зв'язку за струмом.

Згладжування пульсацій випрямленого струму здійснюється дроселем £2. Для ступінчастого регулювання зварювального струму в джерелі передбачено два роз'єми, які відповідають діапазонам на 20 та 315 А. При підключенні до роз'єму на 20 А струм обмежують баластові опори Я1 і Я2 з вентилем Ш2. Підживлення дуги для усунення провалів струму забезпечується допоміжним випрямним блоком У01 через баластові резистори Я2 і Я3, один з яких може бути увімкнений з допомогою контактора К2. Високовольтний розряд від пристрою підпалювання дуги в замикається через конденсатори С1-С2 і "землю" на проміжок "електрод-сопло" при плазмовому зварюванні стисненою дугою і на проміжок "електрод-виріб" при аргоно-дуговому зварюванні вільною дугою. Для живлення чергової дуги в переносному блоці міститься баластовий реостат Я4, який з допомогою К3 підключається до основного джерела. В установці передбачено блок імпульсного зварювання, який забезпечує незалежне регулювання тривалості імпульсу і паузи від 0,08 до 1,0 с. В УПС-301 передбачено також перемикання зварювання на неперервний, імпульсний чи точковий режим. Регулювання тривалості імпульсу і паузи - дводіапазонне із ступінчастим регулюванням у кожному з діапазонів. Перший діапазон забезпечує тривалість імпульсу та паузи в межах від 0,08 до 0,3 с з рівномірною розбивкою його на 10 значень, інший - в межах від 0,3 до 1 с. Точкове дугове зварювання із заданим часом постановки точки виконується при короткотривалому натисканні на педальну кнопку установки. Подібну конструкцію має і установка для механізованого наплавлення типу УПН-303.

Установка УПС-804 призначена для механізованого плазмового зварювання у середовищі вуглекислого газу постійним струмом на прямій полярності маловуглецевих і низьколегованих сталей товщиною від 6 до 12 мм. Вона складається із самохідної підвісної головки з направляючою балкою, тиристорного випрямляча, зібраного за шестифазною кільцевою схемою, блока керування і блока апаратури. Збудження зварювальної дуги здійснюється при подачі напруги неробочого ходу від джерела живлення. При цьому з допомогою збуджувача між електродом і соплом плазмотрону запалюється допоміжна дуга.

При доторканні факелом поверхні виробу збуджується основна дуга між електродом і виробом. Схема керування виконана на напівпровідникових елементах і забезпечує роботу установки в автоматичному, ручному і налагоджувальному режимах. Робота схеми установки подібна до роботи УПС-501. Технічні характеристики вказаних вище установок наведені в табл. 5.4.

Установка для мікроплазмового зварювання типу МПУ-4 призначена для ручного зварювання чорних, кольорових, легких та тугоплавких металів і сплавів малих товщин (від 0,1 до 1,5 мм залежно від фізико-хімічних властивостей зварювального металу і типу шва). Вона може бути використана і як джерело живлення для механізованих видів мікроплазмового зварювання.

Установка забезпечує чотири режими роботи:

- режим “А” - зварювання постійним струмом прямої полярності з плавним регулюванням струму від 2,5 до 30 А;

- режим “В” - зварювання імпульсним струмом прямої полярності з плавним регулюванням струму від 2,5 до 30 А і дискретним регулюванням тривалості імпульсів та пауз в межах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с;

- режим “С” - зварювання імпульсним струмом різної полярності з плавним регулюванням струму прямої полярності від 2,5 до 30 А і дискретним регулюванням тривалості імпульсів струму прямої полярності в межах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с, а також струму зворотної полярності від 4 до 12 А і тривалістю імпульсів струму зворотної полярності в межах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06;

- 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с;

- режим “Д” - зварювання постійним струмом зворотної полярності з плавним регулюванням струму від 4 до 12 А.

Технічні дані МПУ-4 подані в табл. 5.4, спрощена принципова електрична схема наведена на рис. 5.58.

До складу установки входять: силовий трансформатор 71, джерело дуги прямої полярності >41 і зворотної полярності А2, джерело чергової дуги А3, тиристорний комутатор А4, імпульсний стабілізатор А5, збуджувач дуги G і

система керування. У складі джерела є три вторинні обмотки трансформатора 71 зі спадною ВАХ, випрямний блок VD1 та згладжуючий дросель 11. Ступінчасте регулювання струму забезпечується контакторами K1 і K4 (на схемі не наведені), які перемикають обмотки в положення “У” - “А”. Плавна зміна струму відбувається за рахунок переміщення котушок вторинних обмоток.

До складу джерела A2 входять рухомі вторинні обмотки трансформатора 72 зі спадною характеристикою, випрямний блок VD2. Джерело A3 живить чергову дугу між соплом і електродом. До його складу входять нерухомі вторинні обмотки трансформатора 73, випрямний блок VD3, контактор K3 (на схемі не наведено) з нормально відкритими контактами K3, баластовий реостат R3. Тиристорний комутатор A4 підключає джерела A1 і A2 до навантаження в певній послідовності. До його складу входять силові тиристири VS1 і VS2, комутуючі конденсатори C1, C2 і діоди VD4, VD5. Стабілізатор дуги A5 подає пікові імпульси на початку півперіоду зворотної полярності за рахунок розряду конденсатора C3 на дугу через VS3. імпульсний збуджувач G послідовної дії запалює чергову дугу високовольтним розрядом на проміжку електрод-сопло.

При роботі установки в режимі “А” (зварювання постійним струмом прямої полярності) блок керування відкриває тиристор VS1, внаслідок чого на дугу подається струм прямої полярності по колу “ VD1-L1 -дуга- VD4- VS1-VDV.

У режимі “В” (зварювання імпульсним струмом прямої полярності) спочатку відкривається VS1, внаслідок чого починається імпульс

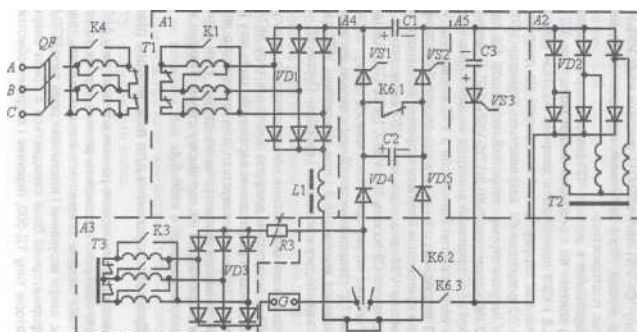


Рис. 5.58. Спрощена електрична схема
силової частини установки
мікроплазмового зварювання МПУ-4

струму. Після закінчення часу імпульсу відкривається тиристор VS2 . При цьому раніше заряджений конденсатор $C1$ комутатора розрядиться по колу “ $C1\text{-}U81\text{-}K6.1\text{-}VS2\text{-}C1$ ”, завдяки чому I_{BI} закриється і струм у дузі зникне. Після закінчення часу паузи знову відкриється U_{BI} й імпульс повторюється.

При зварюванні в режимі “С” (зварювання різнополярними імпульсами) контакт $K6.1$ роз’єднує аноди тиристорів U_{BI} і $VS2$, а контакти $K6.2$ і $K6.3$ підключають джерело $A2$. При включенні U_{BI} проходить імпульс струму прямої полярності від джерела A^* . При увімкненні розрядом $C1$ закривається тиристор U_{BI} , а також створюється імпульс струму зворотної полярності від джерела $A2$ по колу “ $U02\text{-}K6.3\text{-}сопло\text{-}вириб\text{-}K6.2\text{-}U05\text{-}U82\text{-}VS2$ ”. В імпульсі зворотної полярності вольфрамовий електрод не навантажений, що значно підвищує його стійкість. Одночасно з $VS2$ вмикається $U53$, і конденсатор $C3$ розряджається на дугу, що сприяє її повторному запалюванню. Для припинення імпульсу зворотної полярності знову вмикається тиристор U_{BI} , внаслідок чого U_{B2} вимикається розрядом раніше зарядженого $C2$ по колу “ $C2\text{-}VS1\text{-}C1\text{-}VS2\text{-}C2$ ”. При цьому знову починається імпульс струму прямої полярності, і цикл повторюється.

У режимі “Д” (зварювання постійним струмом зворотної полярності) замикається контакт $K6.3$ і при відкриванні U_{B2} джерело $A2$ неперервно живить дугу між соплом і виробом. Пускач $K6$ на схемі не наведено.

Для плазмового зварювання неперервною та пульсуючою дугою розроблено інверторне джерело живлення типу МПА-160, яке має широкий діапазон регулювання параметрів, малу вагу і габарити.

Апарат Н-136 використовується для плазмового зварювання алюмінію на змінному асиметричному струмі. Ним можна також здійснювати зварювання і на постійному струмі. Технічні характеристики цих джерел наведені в табл. 5.4.

5.3.3. Джерела живлення для плазмового різання

Установкою для плазмового різання є апарат типу АВПР-2, призначений для повітряно-плазмового різання чорних та кольорових металів та їхніх сплавів. В

комплект апарата входять трансформаторний блок, шафа керування і плазмовий різак типу ВІР-9.

Трансформаторний блок складається з трьох зварювальних трансформаторів типу ТД-500, первинні і вторинні обмотки яких можуть вмикатися в положення “зірка” чи “трикутник”. Щоб уникнути перекошення фаз, показники регуляторів струму трансформаторів завжди повинні бути встановлені в однакові положення на всіх трьох трансформаторах. Спрощена принципова електрична схема АВІР-2 подана на рис. 5.59.

Вмикання апарата можливе за умови, якщо закриті його двері, надходить вода для охолодження силового випрямного блока і плазмового різакa, а також здійснюється подача повітря в плазмотрон. Напруга мережі подається на кола керування. При цьому отримує живлення випрямний міст *VOT-УИУО*, вмикається реле К4, яке своїми контактами розмикає коло котушки контактора К5. Одночасно заряджається конденсатор С2. При натисканні кнопки 81 “Пуск” вмикається магнітний пускaч К2, контакти якого К2.1 підключають до мережі трансформатори 71, 72, 73. Через силовий випрямний блок *V01-I/06* подається напруга на плазмотрон. Одночасно вмикається контактор допоміжної дуги К3, який своїми контактами підключає сопло плазмового різакa до випрямляча і включає пристрій блока підпалювання дуги ППД, відключає коло живлення вольтметра *PV*. Відбувається пробій проміжку між електродом і соплом плазмотрона, виникає допоміжна дуга. Її факел виводиться із сопла та торкається виробу, виникає основна різальна дуга, струм якої обмежений опором R_{21} і достатній для вмикання реле К1. Контакти К1 вмикають проміжне реле К6, контакти якого К6.4, К6.3, К6.1 в свою чергу блокують кнопку “Пуск”, включають у коло лічильник кількості різань ЛР і вимикають котушку контактора допоміжної дуги К3. Блок підпалювання припиняє роботу, розмикається коло живлення чергової дуги. Одночасно контакти К6.2 розмикають коло котушки К4, з витримкою часу 0,5 с, що визначається параметрами кола *Y3-C2*, вмикають контактор К5, де К5.1 шунтує Ж. Струм основної дуги збільшується до величини, яка задається регуляторами струму силових трансформаторів. При натисканні

кнопки “Стоп” в2 розмикається коло пускача К2, контакти якого відключають від мережі трансформатори 71, 72, 73, і плазмова дуга згасає.

Установка для автоматичного повітряно-плазмового різання типу АПР-404 призначена для комплектування стаціонарних різальних машин. Спрощена принципова електрична схема силової частини апарата наведена на рис. 5.60.

Рис. 5.59. Принципова електрична схема установки плазмового різання АВІР-2

Я. К2

н

v

Г^

-Я- C I

./•^' и _

Напруга мережі через автоматичний вимикач 0/? та магнітний пускач К1 (на схемі не наведено) подається на силовий трансформатор T з нормальним магнітним розсіянням. Тиристорний блок УЭ застосовується для випрямлення та плавного регулювання ³⁶⁷струму різальної дуги, а також для формування крутоспадної зовнішньої характеристики за рахунок зворотного зв'язку за струмом. Живлення допоміжної дуги здійснюється від основного джерела через баластовий опір $/?$ і контактор К2. Для запалювання допоміжної дуги використовується імпульсний збуджувач Є типу ВІР-101, який вмикається послідовно в коло джерела чергової дуги. Дросель і призначений для згладжування пульсацій випрямленого струму. При замиканні К2 спрацьовує Є, і його високовольтний розряд замикається по колу “6-сопло-електрод-С-земля-С”. При цьому запалюється чергова дуга між соплом - електродом плазмотрона, і її струм іде по колу “УЗ-Я-Кг-Є-сопло-електрод-УЗ”. Після торкання плазмовим струменем виробу запалюється різальна дуга від основного джерела. При цьому чергова дуга гаситься розмиканням контакту К2, а струм різальної дуги плавно збільшується до заданого значення.

Подібну схему мають установки типу УПР-201 і АПР-402.

Функціональна схема системи керування силовими тиристорами установки АПР-402 наведена на рис. 5.61.

У процесі горіння дуги струм навантаження $/_н$ протікає від силового трансформатора T через тиристорний випрямляч УЗ. Сигнал зворотного зв'язку формується трансформаторами струму ТС, які встановлені у вторинній обмотці

трансформатора T . Отримана напруга зворотного зв'язку u_{zz} , пропорційна зміні робочого струму після випрямлення блоком УО, надходить на схему порівняння СП1.

Рис. 5.61. Функціональна схема системи керування установки плазмового різання АПР-402

З виходу схеми порівняння сигнал u_3 - задана напруга, яка поступає на вхід підсилювача постійного струму ППС. З виходу ППС підсилена напруга $ku_{кер2}$ подається на вхід схеми порівняння СП2. На інші входи СП2 надходять:

- напруга зміщення $C/_{3M1}$ зі стабілізованого випрямляча У01;
- напруга зміщення u_{3M2} зі стабілізованого випрямляча V02;
- пилкоподібна напруга $[/_n$ генератора пилкоподібної напруги ГПН.

ГПН.

Напруга $C/_{кер2}$ з виходу СП2 подається на пороговий елемент ПЕ. При досягненні величиною вихідної напруги ($U_{кер2}$ порога спрацьовування ПЕ здійснюється формування імпульсу на керування тиристорами.

Розглянемо принцип автоматичної стабілізації струму навантаження I_n . При зниженні I_n зменшується сигнал зворотного зв'язку $u_{зз}$. Напруга $u_{кері}$ на базі транзистора ППС підвищується, напруга на колекторі транзистора та кут відкриття тиристора зменшуються, що

призводить до збільшення I_n . Стабілізація струму навантаження здійснюється при зміні напруги на дузі в межах 120-250 В. В якості датчиків струму використовуються три трансформатори струму на тороїдальних осердях. Їх первинними обмотками є лінійні проводи, які йдуть від вторинних обмоток силового трансформатора T до тиристорного блока УЗ. Вторинні обмотки трансформаторів струму з'єднані в "трикутник" і через діодний випрямний блок УО підключені до входу схеми порівняння СП1.

Система керування тиристорами містить шість схем порівняння СП2 і шість порогових елементів ПЕ по одному на кожний тиристор, які зібрані на логічних елементах М-403 типу "Логіка". Функції схеми порівняння виконує вхідне коло логічного елемента, а сам логічний елемент є ПЕ.

Формування зовнішньої характеристики можна пояснити наступним чином. У режимі неробочого ходу $I_n=0$, тоді $U_{\text{зв}}=0$, $U_{\text{нзр}}=U_z$, напруга $U_{\text{квр}}$ з виходу ППС близька до 0. При цьому кут керування силовими тиристорами дорівнює 0, і вони повністю відкриті. Після збудження основної дуги з'являється напруга $U_{\text{зв}}$, зменшується $U_{\text{квр}}$, вихідна напруга $U_{\text{квр}}$ підвищується, і кут керування тиристорами збільшується, що призводить до зниження вихідної напруги плазмової дуги.

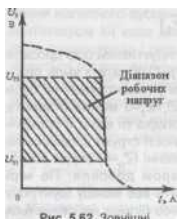


Рис. 5.62. Зовнішні характеристики джерела з індуктивно-емісійним перетворювачем

Для комплектації машин для різання розроблено також установку для повітряно-плазмового різання потужністю 120 кВА типу АПР-403, регулювання струму в якій здійснюється за рахунок трифазних дроселів насичення. Для плазмово-механічної обробки металів застосовується установка типу УПМО-401. Технічні Характеристики

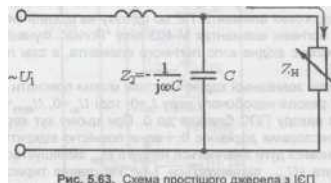
вказаних вище апаратів наведені в табл. 5.4.

Деякі джерела живлення можуть бути джерелами стабілізованого струму, тобто струм на виході не залежить від опору навантаження. Зовнішні характеристики таких джерел наведені на рис. 5.62.

Більшість джерел живлення є джерелами напруги. Джерела напруги мож

на використовувати і для навантажень, які споживають стабілізований струм, якщо застосовувати спеціальні проміжні пристрої-перетворювачі джерел напруги у джерела струму або параметричні джерела струму. Такими перетворювачами можуть бути пристрої за схемами Бушера і Штейнметца. Простішу з них - Г-подібну - зображено на рис. 5.63.

$$I_H = C O P 5 I$$



Якщо схема живиться від джерела синусоїдної напруги, то комплекс струму в навантаженні визначається наступним виразом:

$$I = \frac{E}{Z_1 + Z_n(Z_1 + Z_2)/Z_2}$$

З наведеного виразу бачимо, що якщо індуктивний опір дроселя $I = imi$ і ємнісний опір конденсатора $I = -MiaC$ обрати з умов резонансу на частоті напруги живлення, то струм у навантаженні не буде залежати від опору. Практично умови $Z_1 + Z_2 = 0$ можна створити лише приблизно через наявність активних опорів та втрат в елементах схеми. Фізичний зміст підтримки незмінності струму в такій схемі полягає в наступному. При короткому замиканні ($Z_n = 0$) струм визначається прикладеною напругою та опором дроселя. По мірі збільшення опору навантаження воно чинить все меншу шунтуючу дію на конденсатор, і режим роботи схеми все більше наближається до резонансного, при цьому напруга на конденсаторі і в навантаженні збільшується. Зростання напруги на навантаженні при збільшенні його опору визначає те, що струм навантаження I_n залишається незмінним. Перетворювачі такого типу, які містять дроселі та кон- 354 денсатори, мають назву індуктивно-ємнісних перетворювачів (ІЄП). Вони мають на виході узгоджуючий трансформатор, який забезпечує узгодження ІЄП і навантаження з метою отримання високих техніко-економічних показників. Для отримання

стабільного струму в навантаженнях постійного струму на виході ІЄП вмикають випрямляч з трифазною схемою випрямлення. Принцип формування вертикальної (штикової) спадної зовнішньої характеристики з допомогою ІЄП реалізовано в апараті “Київ-4М”, який призначений для повітряно-плазмового різання сталей, кольорових металів та їх сплавів. Технічні дані апарата наведені в табл. 5.4, спрощена принципова електрична схема силової частини подана на рис. 5.64.

“Київ-4М” складається з трьох однофазних дроселів 11,12, 13 і конденсаторних батарей С1-С6, які настроєні між собою для роботи в режимі резонансу струму. Для цього існує три узгоджувальних трансформатори 71-73 та основний силовий трифазний трансформатор 74 з нормальним розсіянням.

При вмиканні подається напруга на двигун вентилятора *М* і трансформатор 75, який призначений для живлення схеми керування (рис. 5.65). Вмикання джерела можливе при спрацьовуванні контактів К9 і К10, які блокують подачу води і повітря при замкнених дверях 53 і повітряному реле-54. При натисненні кнопки 51 “Пуск” вмикається реле К1, яке своїми контактами К1.1 замикає коло живлення магнітного пускача К2, що підключає силову частину схеми, а контактором К4 кола живлення плазмотрона і осцилятора. Між соплом плазмотрона і термокатодом запалюється допоміжна дуга, яка живиться від випрямляча $\sqrt{02}$. Для збудження основної робочої дуги необхідно, щоб її факел замкнув проміжок “термокатод (цирконієва або гафнієва вставка)-виріб”. Це забезпечується з допомогою плаз-моутворюючого газу, який видуває дугу на виріб. При цьому спрацьовує котушка реле мінімального струму К8, яка вмикає реле-розмно-жувач контактів К3 і реле часу К7. Реле К3 замикаючим контактом К3.1 блокує кнопку 51 і розмикаючим контактом К3.3 розриває коло живлення К4, що призводить до відключення осцилятора в. Реле К7 із затримкою часу вмикає магнітний пускач К5, контакти якого К5.3 підключають у коло ІЄП ємності С1-С6. Робочий струм при цьому підвищується до номінального значення, і апарат входить у резонансний режим роботи. Випрямляч УОЗ служить для живлення котушки реле К4, а також лічильника-різань ЛР.

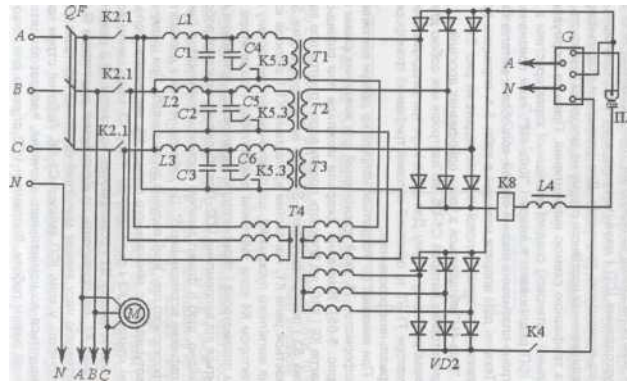


Рис. 5.64. Спрощена принципова електрична схема силової частини установки “Київ~4М”

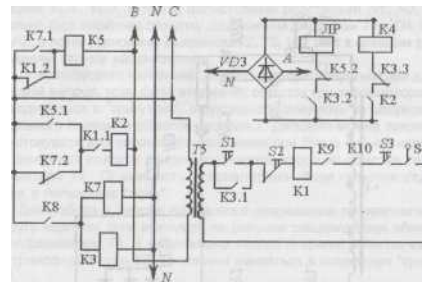


Рис. 5.65. Принципова електрична схема керування джерела “Київ-4М”

Уніфіковані джерела типу БЕС-40, БЕС-80 можуть використовуватись для плазмового зварювання, різання, напилення та наплавлення. Їхні технічні характеристики наведено в табл. 5.4. Спрощена принципова електрична схема силової частини джерела БЕС-40 подана на рис. 5.66.

Джерело складається з двох основних блоків - трансформаторного та випрямного. До трансформаторного блоку входять автоматичний вимикач QF , електромагнітний контактор $K1$, силовий понижуючий трифазний трансформатор T і дросель L . До складу випрямного блоку входить блок тиристорів VS зі зворотним діодом $VD4$, блок вентилів $VD1$, $VD2$, $VD3$, контактори $K2$, $K3$ та баластові реостати $R1$, $R2$, $R3$. Джерело має також електронний блок керування і пристрій підпалювання дуги 6.

БЕС-40 може працювати в одному з чотирьох режимів.

При роботі в режимі плазмового різання для створення високої напруги вторинні обмотки трансформатора 72, 73 з'єднуються в “зірку”. Для досягнення максимальної індуктивності обмотки дроселя L з'єднуються послідовно. Для запуску на режим різання контакти К2, К3 замикаються, при цьому спрацьовує пристрій запалювання G і джерело чергової дуги, яке утворено обмотками трансформатора

74,

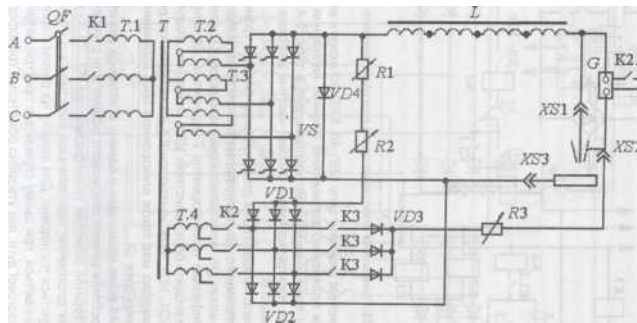


Рис. 5.66. Спрощена електрична схема
силової частини джерела БЕР-40

блоками ЧИІ, УОЗ, а також баластовими реостатами Я1, Я2, Я3. Різальна дуга живиться спочатку допоміжним джерелом 74, VD⁴, У02, Я1, Я2, а потім і основним джерелом 72, 73, УЭ, У04 з плавним регулюванням струму навантаження.

Для плазмового напilenня джерело використовується при дещо зниженій напрузі, тому фази вторинних обмоток трансформатора 72, 73 з'єднуються в “трикутник”. Індуктивність знижують за рахунок паралельного вмикання обмоток дроселя L . Джерело можна також використовувати для плазмового напilenня при більш низькій напрузі. Для зниження напруги основного джерела вторинні обмотки трансформатора 72, 73 вмикаються паралельно. Фази обмоток з'єднуються в положення “зірка”.

Для роботи в режимі плазмового зварювання та наплавлення напругу чергової дуги знижують за рахунок секціонування обмоток трансформатора 74, а паралельно з'єдані вторинні обмотки силових трансформаторів 72, 73 повинні вмикатися в положення “трикутник”.

Фірмою “Селма” розроблено установку УВІР-0401УХЛ для напівавтоматичного плазмово-дугового різання листових і профільних конструкцій з маловуглецевих та низьколегованих сталей, алюмінію та його сплавів, латуні, міді, а також сірого чавуну. Також вона може застосовуватися для автоматичного різання у складі машин-автоматів.

Установка складається з корпусу, в якому розміщено силовий трансформатор, випрямний блок, апаратура керування, система охолодження. У комплект установки входить також плазмотрон фірми “Bipgel”. Технічні характеристики установки наведено в табл. 5.4.

ВІЕЗ ім. Є. О. Патона АН України розроблена установка для плазмового напилення “Київ-7”, з допомогою якої можна напилювати вироби порошковими, керамічними і металевими матеріалами або наплавляти тверді сплави. Електрична принципова схема блока живлення установки передбачає можливість роботи її в ручному та автоматичному режимах. Технічні характеристики “Київ-7” наведено в табл. 5.4.

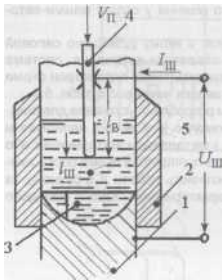
5.4. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

5.4.1. Основні відомості про шлакову ванну

Електрошлаковим зварюванням (ЕШЗ) називається спосіб зварювання плавленням, який ґрунтується на виділенні тепла при проходженні електричного струму через розплавлений шлак.

У зоні, яка утворена кромками зварювального металу-1 і формуючими пристосуваннями-2, утворюється ванна розплавленого металу-3 і шлаку-5, в який занурюється металевий електрод-4 (рис. 5.67).

Електричний струм, що протікає між електродом та основним металом, розігріває розплав і підтримує в ньому високу температуру та електропровідність. Температура шлакової ванни перевищує температуру плавлення основного і електродного металів. Шлак розплавляє занурений у нього електрод та кромки основного металу. На відстані між електродом і металевою ванною струм $I_{ш}$ залежить від напруги електрошлакового процесу ($U_{ш}$), яка частково спадає ще і на вильоті електрода $U_{в}$.



Повна теплова потужність шлакової ванни $P_{ш} = U_{ш} I_{ш}$,

де $U_{ш}$ - падіння напруги на вильоті електрода і шлакової ванни, В;
 $I_{ш}$ - зварювальний струм, А.

Рис. 5.67. Схема електрошлакового процесу.
Головним чинником при ЕШЗ є залежність електропровідності шлаків від температури.

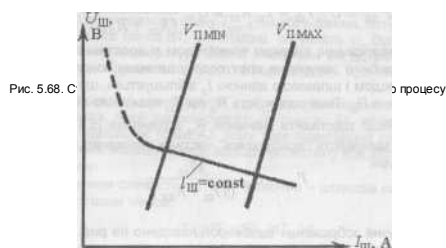
Провідність реальних розплавлених шлаків значно підвищується зі зростанням температури. Холодні шлаки неелектропровідні. Розплавлений шлак складається з позитивних і негативних іонів та має іонну провідність. Позитивними є металеві іони, негативними

- великі кремнієвокислі, алюмо- кислі іони, кисень та фтор, які входять до складу шлаку.

Частка

струму позитивних іонів вища, ніж негативних. Шлакову ванну можна розглядати як нелінійний активний опір $I_{ш}$. Статична вольт-ампер- на характеристика електрошлакового процесу $C_{ш}=/(/_{ш})$ при постійній величині відстані між електродом і металевою ванною $/_{ш}$ носить спадний характер (рис. 5.68), оскільки зі зростанням $/_{ш}$ температура $\Gamma_{ш}$ і питома провідність шлаку збільшуються, а напруга $u_{ш}$ спадає.

В реальних умовах ЕШЗ величина $/_{ш}$ не постійна, і тому статична характеристика не має суттєвої цінності. Реальний зв'язок струму і напруги відображається вольт-амперною характеристикою стійкої роботи, яка отримується при постійній швидкості подачі електродного дроту $Y_{п}$ (рис. 5.68). У цьому випадку з підвищенням напруги джерела, а відповідно і $I_{ш}$, зростає теплова потужність ванни та її температура $T_{ш}$. При цьому електрод розплавляється швидше і занурюється у ванну на меншу глибину, що призводить до збільшення відстані $/_{ш}$ і відповідно опору шлакової ванни $Y_{ш}$. Тому збільшення напруги джерела майже не супроводжується зростанням струму, і вольт-амперна характеристика стійкої роботи $u_{ш}=/(I_{ш})$ при постійній швидкості подачі електродного дроту майже вертикальна. При збільшенні швидкості подачі $Y_{п}$ струм $/_{ш}$ зростає і набуває постійного значення.



5.4.2. Стійкість електрошлакового процесу і вимоги, які висуваються до джерел живлення

Для отримання якісного зварного з'єднання необхідно правильно обрати енергетичні параметри шлакової ванни і досягати стабільного протікання електрошлакового процесу. Умовами його стійкого протікання є безперервність процесу при заданих значеннях струму і напруги. Для того, щоб провести аналіз

стійкого стану шлакової ванни і визначити основні вимоги до джерел живлення, необхідно розглянути “прибуткові” та “витратні” складові теплового балансу зони зварювання при малих збуреннях за температурою ванни. Для цього необхідно встановити залежність введення тепла у шлакову ванну, тобто потужності джерела живлення P_m , від опору ванни $\gamma_{ш}$. Якщо напруга джерела з пологоспадною характеристикою $\gamma_{дж} < \gamma_{ш}$ прирівняти до напруги у шлаковій ванні $\gamma_{ш} = \gamma_{ш} \gamma_{ш}$ і розв’язати рівняння відносно струму, то:

$$u_{20} + \gamma_{дж}$$

Потужність джерела можна визначити за рівнянням

(5.1)

$$(-\gamma_{ш} - \gamma_{дж})$$

При зварюванні плавким електродом зі зростанням $T_{ш}$ зменшується глибина занурення електрода у шлакову ванну, і відстань між електродом і шлаковою ванною $\gamma_{ш}$ збільшується, що призводить до зростання $\gamma_{ш}$. Тому залежність $\gamma_{ш}$ від $T_{ш}$ практично лінійна, тобто $\gamma_{ш} \propto T_{ш}$. Якщо підставити значення $\gamma_{ш}$ в рівняння (5.1), то можна отримати залежність “прибуткової” частини теплового балансу від температури: ^

$$\eta_{гт'яг} = \frac{1}{\kappa T_{ш} + \gamma_m} (\kappa T_{ш} + \gamma_m)^2$$

Графічне зображення залежності наведено на рис. 5.69.

Максимальна корисна потужність джерела спостерігається при рівності опорів джерела і навантаження Витратна частина теплового балансу у вигляді теплової потужності $0_{ш}$, яка споживається на плавлення електродного металу, а також відведення тепла у 362

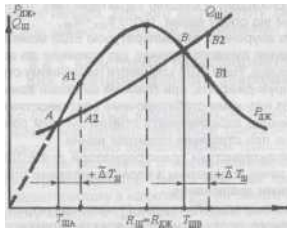


Рис. 5.69. До
аналізу стійкості
електрошлакового
о процесу

повзуни і деталі збільшується зі зростанням температури ванни. Характеристики $P_m = AT_w$ і $(Q_{ш} = \Pi T_w)$ перетинаються в точках А і В, що відповідає рівноважному стану системи. У цих точках спостерігається рівність введення та витрати тепла.

Розглянемо стійкість системи поблизу точки В при незначному збуренні за температурою $+ \Delta T \cdot U$ випадку відхилення температури ванни від рівноважного стану $T_{шв}$ у бік збільшення, потужність P_m буде знижуватись (точка В1), а витратна потужність $Q_{ш}$ буде зростати (точка В2). Тому температура ванни знизиться аж до рівноважного стану, який відображається точкою В, що свідчить про стійкість системи.

При відхиленні температури $+ \Delta T_{ш}$ від рівноважного стану $T_{шд}$ прибуток тепла, який характеризується точкою А1, перевищує витрати, яким відповідає точка А2. Тому таке підвищення температури далі буде тільки збільшуватись, відводячи систему все далі від рівноважного стану.

Отже, умови стійкості системи “джерело - шлакова ванна” можна записати таким чином:

$$c \frac{dQ_{ш}}{dT_{ш}} - c \frac{dP_m}{dT_{ш}} > 0$$

Із порівняння характеристик на рис. 5.69 бачимо, що ця умова виконується для точки В і будь-якої точки на кривій $P_{дж} = \Pi(T_{ш})$ праворуч від максимуму, де $P_{ш}^{жс} > P_{ш}$. Тому з метою забезпечення стійкості системи “джерело-шлакова ванна” джерело живлення повинно мати жорстку або пологоспадну зовнішню характеристику, тобто його опір має бути меншим від опору ванни, тобто $R_{дж} < R_{ш}$.

При значних збуреннях за температурою ЕШЗ може перерватися через виникнення дугового розряду, що призведе до зриву електрошлакового процесу. Тому ЕШЗ слід вести на змінному струмі, порівняно низькій напрузі джерела, при глибокій шлаковій ванні з використанням шлаків із низькими стабілізуючими властивостями. У той же час джерело повинне забезпечувати стійкий дуговий розряд на початку зварювання при створенні шлакової ванни.

Зовнішні характеристики трансформатора для ЕШЗ наведено на рис. 5.70, де точки їх перетину з характеристиками стійкої роботи визначають режими зварювання.

Величина зварювального струму $I_{\text{ш}}$ налагоджується швидкістю подачі електродного дроту, а напругу електрошлакового процесу регулюють зміною напруги неробочого ходу U_{20} трансформатора. Висока стабільність струму $I_{\text{ш}}$ утворюється за рахунок постійної швидкості подачі електродного дроту. Через коливання напруги мережі стабільність напруги $u_{\text{ш}}$ незначна. Тому стабілізацію зовнішніх характеристик джерела здійснюють за рахунок зворотних зв'язків за напругою. Однак на практиці у процесі зварювання проводять руч-

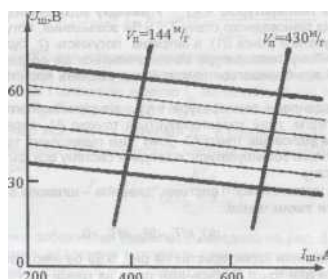


Рис. 5.70. Зовнішні
характеристики
трансформатора
для ЕШЗ

не коригування напруги, для чого застосовують джерела живлення із плавним або дрібноступінчастим регулюванням режимів.

5.4.3. Конструкції трансформаторів для електрошлакового

зварювання

Процес ЕШЗ ведеться в основному на змінному струмі, де як джерела живлення використовуються трифазні або однофазні трансформатори. Широко застосовуються трансформатори з нормальним магнітним розсіянням із секціонованими обмотками. Такий однофазний трансформатор (рис. 5.71а) має практично жорстку зовнішню характеристику з нахилом $p^{\wedge}$ не більше 0,01 В/А.

В одному корпусі з трансформатором змонтовані контактори К1-К4, які призначено для перемикання ступенів обмоток при зварюванні, чим забезпечується дрібноступінчасте регулювання напруги в інтервалі 2-3 В. Грубе регулювання напруги здійснюється перестановкою перемички перед зварюванням у колі вторинної обмотки.

У трансформаторі зі складною магнітною комутацією (рис. 5.71б) плавне регулювання напруги здійснюється за рахунок зміни постійного струму в обмотках керування ОК1 і ОК2 підмагнічувальних ярів,

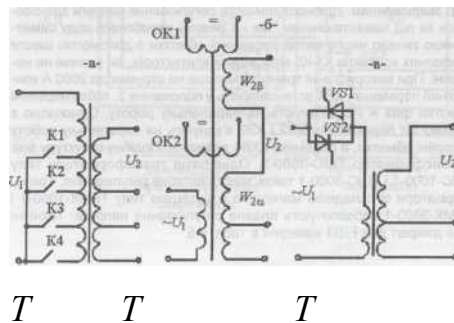


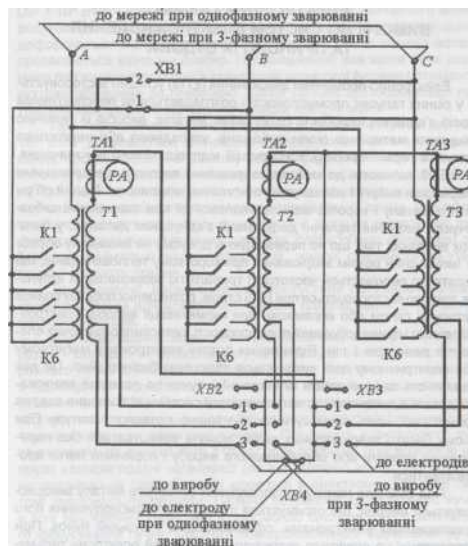
Рис. 5.71. Спрощені
електричні схеми силової
частини трансформаторів з
витковим регулюванням
(а), магнітною комутацією
(б), тиристорним
регулюванням

ступінчасте регулювання - за рахунок секціонування основної вторинної обмотки.

Трансформатор з тиристорним комутатором (рис. 5.71 в) забезпечує плавне регулювання напруги за рахунок зміни кута відкриття силових тиристорів $1^{\wedge}1$, У82. На відміну від трансформатора для дугового зварювання тут немає необхідності застосовувати коло підживлення або пристрій імпульсної стабілізації, оскільки процес ЕШЗ проходить стійко при будь-яких кутах керування тиристорами. Наведені типи трансформаторів можуть виготовлятися і в трифазному варіанті.

Трифазний трансформатор типу ТШС-1000-3 застосовується для електрошлакового зварювання одним, двома або трьома електродами на струмах до 1000 А у кожному з них. Після відповідного перемикання він може працювати як однофазний на струмі до 2000 А. Спрощена електрична схема ТШС-1000-3 наведена на рис. 5.72.

Нульову точку вторинної обмотки з'єднано з виробом. Первинні обмотки кожної фази мають по шість відпайок, вторинні обмотки - по три відпайки, чим забезпечується зміна напруги від 38 до 62 В з інтервалом 2-3 В. Ступінчасте регулювання виконується підключенням зварювальних кабелів до одного з трьох виводів у кожній фазі вторинної обмотки. Підключення кабелів необхідно проводити перед зварюванням. Дрібноступінчасте регулювання напруги здійснюється як під навантаженням, так і в режимі неробочого ходу симетричною зміною числа витків первинної обмотки з допомогою шести трифазних контактів К1-К6 відповідних контакторів, які у схемі не наведені. При використанні трансформатора на струмах до 2000 А контактний перемикач ХВ1 встановлюють у положення 2, тобто первинні обмотки фаз А і С з'єднують на паралельну роботу. Одночасно з допомогою перемикачів ХВ2 і ХВ3 з'єднують на паралельну роботу вторинні обмотки, а перемикач ХВ4 знімають. Подібну структуру має і трансформатор ТШС-3000-3. Однофазні трансформатори типу ТШС-1000-1 і ТШС-3000-1 також мають виткове регулювання. Трансформатори зі складною магнітною комутацією типу ТРМК-1000-1 і ТРМК-3000-1 забезпечують плавне регулювання напруги. Технічні дані джерел для ЕШЗ наведені в табл. 5.5.



5.5. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ГАРМАТ.

ВИМОГИ ДО СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА ПРИНЦИП ЇХ БУДОВИ

Електронно-променеве зварювання (ЕПЗ) успішно застосовується у різних галузях промисловості і розглядається як перспективний спосіб з'єднання виробів із тугоплавких металів, виробів із термічно зміцнених матеріалів (коли небажана, ускладнена або неможлива наступна термообробка), конструкцій відповідального призначення.

ЕПЗ належить до методів зварювання висококонцентрованими джерелами енергії і має широкі технологічні можливості. Малий об'єм литого металу і короткочасність теплової дії при зварюванні забезпечують незначні термічні деформації з'єднуваних деталей, у багатьох випадках такі, що не перевищують допусків на механічну обробку. Імпульсний режим зварювання при короткому тепловкладанні, що додатково регулюється частотою і тривалістю зварювальних імпульсів, широко застосовується при ЕПЗ стиків, розміщених поблизу спайок металу зі склом або керамікою, при герметизації виробів електронної техніки і приладобудівної промисловості, тепловипромінюючих елементів реакторів і т.ін. Відхилення потоку електронів у магнітному або електричному полі виконується практично безінерційно. Це дає можливість переміщувати електронний пучок по

поверхні зварюваної деталі з допомогою електромагнітної системи відхилення вздовж прямої лінії, кола, прямокутника або іншого складного контуру. При цьому багато зварювальних задач можуть вирішуватися без переміщення гармати або оброблюваного виробу і порівняно легко програмуватися.

При ЕПЗ для нагріву і розплавлення основного металу використовується енергія, що отримується в результаті бомбардування його прискореними електронами, сформованими у вузький пучок. При потраплянні на поверхню зварювальних деталей електрони гальмуються, їх кінетична енергія перетворюється в теплову, і утворюється зварювальна ванна. По мірі переміщення виробу або джерела зварювального нагрівання відбувається затвердіння розплавленого металу і утворення шва. Метал шва, як і при інших видах зварювання плавленням, має литу структуру.

При дії пучка електронів порівняно невисокої густини потужності (до $1 \cdot 10^8$ Вт/м²) процес ЕПЗ подібний до процесу звичайного електродугового зварювання. Поверхня зварювальної ванни при цьому деформується мало, гідродинамічні прояви в об'ємі рідкого металу проявляються відносно слабо. Проплавлення, яке може бути отримане при використанні пучка електронів невисокої густини потужності, суттєво обмежене за глибиною. Такий процес застосовується при товщині зварюваного металу не більшій ніж 2-3 мм.

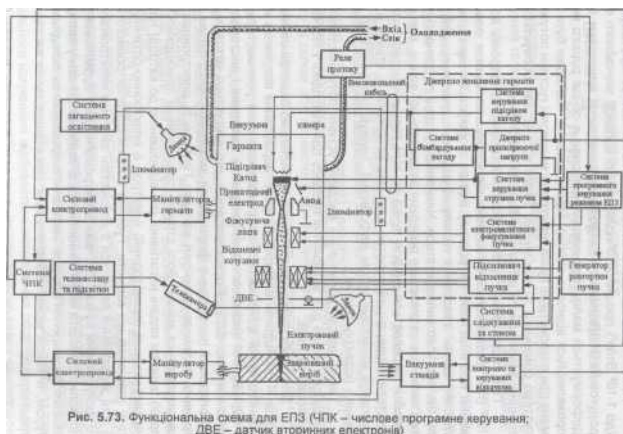
При підвищенні густини потужності пучка електронів до 10^9 - 10^{10} Вт/м² розвивається інтенсивне випаровування металу, поверхня ванни прогинається, і в рідкому металі формується канал на всю глибину ванни. Утворення каналу обумовлене тиском віддачі металу, що частково випаровується. Чим вища густина потужності пучка, тим сильніше нагрівається поверхня зварювальної ванни, тим ефективніше передається енергія пучка по всій товщині металу, що зварюється. Поперечний перетин шва має слабкозбіжні стінки, що забезпечує мінімальні кутові деформації, знижує схильність до утворення і розвитку тріщин.

Таким чином, досягнення високої густини потужності пучка - необхідна умова для здійснення процесу однопровідної ЕПЗ товстолистових металів.

Для зварювання застосовуються аксіально-симетричні, конічні, рідше - циліндричні електронні пучки. Формування потужного електронного пучка здійснюється зварювальною електронною гарматою з відповідним високовольтним джерелом живлення і системами керування (рис. 5.73). Потік електронів, що емітується катодом, прискорюється і попередньо формується аксіально-симетричним електричним полем за наявності вакууму. Потужність електронного пучка регулюється зміною його струму (при постійній прискорюючій напрузі) шляхом подачі негативної (по відношенню до катода) напруги на керувальний (прикатодний) електрод в електронно-оптичній системі зварювальної гармати. Густина потужності електронного пучка в зоні зварювання керується з допомогою системи електромагнітного фокусування пучка. Система електромагнітного відхилення пучка дозволяє суміщати електронний пучок зі зварним стиком у випадку їх взаємного зміщення або при виконанні зварювання

за складним контуром, а також може забезпечувати сканування пучка за заданою траєкторією.

Процес зварювання здійснюється у високому вакуумі (10^2 - 10^{-3} Па) або інколи в середовищі інертних газів при атмосферному тиску.



Відносно переміщення електронного пучка і стику в процесі зварювання здійснюється високоточними маніпуляторами гармати і виробу. Діапазон швидкостей зварювання електронним пучком становить 1-25 мм/с. Для позиціонування пучка або корекції його положення в процесі зварювання з допомогою системи слідування за стиком використовуються швидкості переміщення 0,3—1,5 мм/с.

Спостереження за процесом зварювання, а також взаємороз- ташування гармати і виробу виконується візуально через ілюмінатори вакуумної камери і дистанційно з допомогою телевізійної установки. Для цього також використовуються системи загального і локального освітлення.

Керування процесом зварювання може здійснюватись як безпосередньо оператором, так і з допомогою систем програмного керування.

Якщо на етапі становлення процесу ЕПЗ електроживлення зварювальних гармат здійснювалось подібно до електроживлення рентгенівських трубок, то у міру підвищення потужності гармат і вимог до стабільності параметрів пучка питанням розробки спеціальних джерел живлення приділяється значна увага. Тому сучасні високовольтні джерела живлення вирізняються високою стабільністю, здатністю придушувати розвиток пробів у гарматі. Їх потужність становить до 7,5 кВт для діапазону прискорюючих напруг $C_{\text{пр}}=20-30$ кВ; до 60 кВт при $U_{\text{пр}}=60$ кВ; до 120 кВт при $U_{\text{пр}}=120$ кВ.

При ЕПЗ металів з $S > 4$ мм неприпустимі навіть короточасні і порівняно незначні відхилення параметрів процесу зварювання.

Для того, щоб забезпечити стабільність параметрів проплавлення, необхідно в першу чергу домогтись стабільності густини потужності пучка на виробі при загальній сталій потужності пучка. Коливання прискорюючої напруги призводять до зміни діаметра пучка

і, відповідно, густини потужності пучка в площині виробу. Це, у свою чергу, призводить до коливання глибини проплавлення. Аналогічно змінюється густина потужності пучка на виробі внаслідок коливання струму магнітної лінзи при постійній прискорюючій напрузі. Кут відхилення пучка при постійному струмі

котушки відхилення також залежить від прискорюючої напруги. Тому при зміні $u_{пр}$ в процесі зварювання пучок може зміщуватись з кромки виробу. Зміна прискорюючої напруги в межах декількох відсотків призводить до помітної зміни глибини проплавлення і зміщення пучка відносно початкового положення відхилення пучка. Зміна струму електронного пучка порівняно

слабко впливає на глибину проплавлення, і тому стабільність струму до $\pm 3-5\%$ в більшості випадків задовольняє технологічні вимоги.

Живлення електронних зварювальних гармат прискорюючою напругою здійснюється від силових випрямлячів, зібраних у більшості випадків за трифазною мостовою схемою. Коефіцієнт пульсацій у цій системі без згладжувальних фільтрів становить 6-7% при частоті пульсацій 300 Гц. Для зменшення пульсацій прискорюючої напруги на виході випрямляча встановлюють фільтри, які складаються з конденсаторів і дроселів, що ускладнює схему джерела і робить її менш надійною при електричних пробоях у гарматі.

Спрощені можливі схеми різних типів джерел живлення зварювальних гармат наведені на рис. 5.74.

Схеми живлення: а - через $\wedge$ -обмежуючі елементи; б - від генератора підвищеної частоти; в - від інверторного перетворювача; г - стабільних струмів; д-через прохідну лампу; е-змінною напругою.

Позначення в схемах: 1 - блок розжарювання; 2 - модулятор; 3 - живлення ФОС; 4 - схеми порівняння і підсилення; 5 - блок захисту і “виводу кратера”; МП - магнітний підсилювач; МГ - мотор-генератор.

У джерелах, побудованих згідно зі схемою (рис. 5.74а), збільшення $I_{\text{обм}}$ дозволяє відповідно зменшити струм у випадку пробоя, знизити ерозію електродів гармати, зменшити ймовірність перенапруг у мережі живлення. Однак обмеження розрядного струму за рахунок активних опорів не в змозі забезпечити обрив дугового розряду в потужних джерелах живлення. Вмикання індуктивності в коло розрядного струму виключає можливість збільшення швидкості наростання струму, що також не зменшує часу аномального нестационарного процесу. Тому необхідно після пробоя відмикати джерело живлення з допомогою кіл захисту.

Підвищення частоти мережі живлення (рис. 5.74б) дозволяє не тільки різко зменшити розміри і масу джерела, але й полегшує придушення пробойів. Підвищена частота дозволяє відмовитися від застосування згладжувального фільтра у високовольтному випрямлячі, оскільки сумарна конструктивна ємність

джерела і високовольного кабеля вже достатня для суттєвого згладжування пульсацій. Завдяки цьому зменшується потужність іскрового розряду після пробою вакуумного проміжку і як наслідок ускладнюється виникнення дугового розряду. Однак все-таки його виникнення можливе, а побудова швидкодіючої системи автоматичного повторного увімкнення прискорюючої напруги у джерелах, що живляться від найбільш розповсюджених електромашинних перетворювачів частоти, ускладнене через

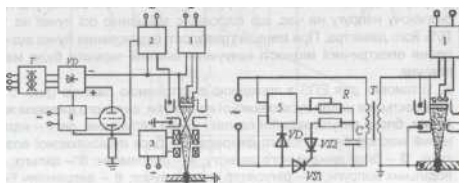
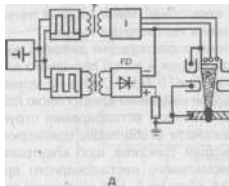
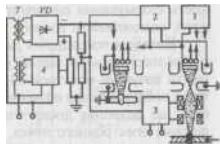
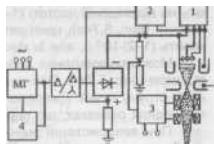
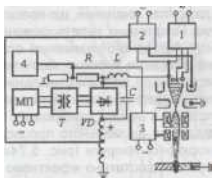


Рис. 5.74. Спрощені схеми
високовольтного живлення
зварювальних гармат

велику сталу часу кіл збудження. Самі перетворювачі достатньо фоміздки і створюють сильний шум. У джерелах живлення, що працюють на підвищеній частоті (**1-10** кГц) від інверторних перетворювачів напруги (рис. 5.74в), цикл автоматичного повторного увімкнення становить $(1-2)10^3$ с, але їх використання обмежене високою вартістю.

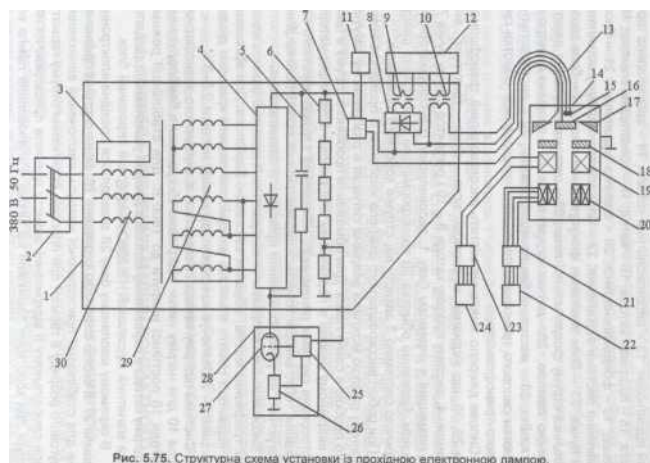
Можливе живлення джерела прискорюючої напруги стабільним струмом (рис. 5.74г). При цьому струм у розряді дорівнює номінальному струму пучка. Джерело струму працює в режимі стабілізації і в перехідних режимах, що сприяє придушенню аномального процесу.

При використанні змінної прискорюючої напруги (рис. 5.74е) проблема придушення пробоїв вирішується достатньо ефективно і просто внаслідок обриву струму дуги при переході прискорюючої напруги через нуль. Час існування дугового розряду після пробою вакуумного проміжку обмежений тривалістю півперіода напруги живлення. Однак подібна апаратура не застосовується через низьку якість формування самого пучка електронів (мала густина потужності, неможливість точного керування положенням пучка).

Методом покращення динамічних характеристик джерела живлення зварювальних гармат є застосування в якості прохідного елемента потужної електронної лампи (рис. 5.74д). Суттєвим моментом є вибір найбільш ефективної схеми керування електронною лампою, що дозволяє досягти високої точності встановлення струму відсічки електронного пучка, забезпечити стабілізацію прискорюючої напруги і згладжування її пульсацій. Важливо, щоб електронна лампа вже на початковій стадії аномального нестационарного процесу при підвищенні заданого струму пучка на 5-10% відімкнула прискорюючу напругу на час, що відповідає зміщенню осі пучка на **10- 15%** його діаметра. При меншій тривалості відключення пучка відновлення електричної міцності вакуумної ізоляції гармати буде менш повним.

Установка для ЕПЗ з прохідною електронною лампою (рис. 5.75) складається із шафи пускозахисної апаратури, силового джерела живлення, блока регулювальної лампи і шафи керування, де **1** - наповнений маслом бак силового

джерела; **2** - блок пускозахисної апаратури; **3** - блок динамічного захисту; **4** - випрямляч; **5** - фільтр; **6** - подільник напруги; **7** - регулятор струму пучка; **8** - випрямляч бомбардування; **9** - трансформатор бомбардування; **10** - трансформатор розжарювання; **11** - блок задавача струму пучка; **12** - магніт-



ний підсилювач; 13 - високовольтний кабель; 14 - зварювальна гармата; 15 - підігрівач катода; 16 - катод; 17 - прикатодний електрод; 18 - анод; 19 - фокусувальна лінза; **20** - система відхилення; **21** - блок живлення системи відхилення; **22** - блок задавача струму відхилення пучка; 23 - блок живлення фокусувальної лінзи; 24 - блок зада- вальника струму фокусувальної лінзи; 25 - система керування електронною лампою; 26 - датчик струму пучка; 27 - прохідна електронна лампа; 28 - масляний бак прохідної лампи; 29 - високовольтні обмотки силового трансформатора; 30 - низьковольтні обмотки силового трансформатора.

Силове джерело живлення містить високовольтний трансформатор 29, 30, що з'єднаний за схемою “зірка - зірка - трикутник”, випрямляч 4, систему підігріву катода **8** - 10 і регулятор струму пучка 7, які розміщені в окремому баку 1, заповненому трансформаторним маслом. Первинна обмотка 30 трансформатора споряджена швидкодіючою системою 3 захисту від струмів короткого замикання.

При роботі високовольтного джерела живлення із прохідною електронною лампою можлива аварійна ситуація в разі розвитку вакуумного пробоя в самій лампі. Для обмеження пробійного струму в цьому аварійному режимі в первинному колі силового трансформатора застосована система динамічного обмеження струмів короткого замикання, тобто використовується параметричний захист, безінерційно реагуючий на різке збільшення провідності навантаження.

Високовольтний випрямляч 4 складається із двох послідовно з'єднаних трифазних мостів, зібраних за схемою Ларіонова. Для збільшення надійності роботи в мостах використані лавинні кремнієві діоди. Випрямляч забезпечує коефіцієнт пульсацій напруги 2,5-3%.

Система підігріву катода складається зі знижуючого трансформатора **10** для нагріву нитки підігрівача 15 і джерела бомбардування катода 16 постійної напруги до 1500 В. Для стабілізації режиму підігріву катода в первинному колі обох джерел увімкнений тороїдальний магнітний підсилювач **12** або тиристорний керований блок.

В окремому масляному баку 28 знаходиться прохідна електронна лампа 27 зі

своєю системою керування 25. Дана система призначена для стабілізації прискорюючої напруги, виключення виникнення дугового розряду в гарматі при пробоях, обмеження струму гармати при самовільному її відкриванні, захисту джерела прискорюючої напруги при короткому замиканні на виході. Регулювальна лампа керується двома каналами - каналом стабілізації прискорюючої напруги і каналом захисту джерела прискорюючої напруги й обмеження струму пучка. Канал стабілізації прискорюючої напруги керується сигналом зворотного зв'язку, що знімається з нижнього плеча високовольтного подільника 6. Фазність керувальної напруги підібрана таким чином, щоб компенсувати зміну прискорюючої напруги при коливаннях навантаження або мережі живлення. Канал забезпечує придушення аномального нестационарного процесу в гарматі в результаті повного зняття з неї прискорюючої напруги на короткий час шляхом закривання регулювальної лампи імпульсом, що виробляється системою керування 25. Після проходження імпульсу регулювальна лампа починає відкриватись, і через 0,7 мс прискорююча напруга на гарматі відновлюється.

Схема обмеження струму лампи, що входить в канал захисту, являє собою регульований стабілізатор напруги. Суперечною напругою для схеми обмеження є напруга, що надходить із блока завдання струму пучка. Одночасно ця напруга надходить у блок стабілізатора струму пучка. При самовільному відкриванні гармати, наприклад, через вихід з ладу стабілізатора струму пучка або короткого замикання проміжку катод - керуючий електрод - формується сигнал непогодження, що знижує прискорюючу напругу до значення, яке гарантує збереження виробу непошкодженим.

У каналі керування струмом пучка зварювальної гармати використовується тетрод, увімкнений між катодом і керувальним електродом гармати. Керування струмом пучка здійснюється шляхом керування провідністю тетрода. Блок стабілізації струму пучка знаходиться під високим потенціалом. Сигнал, що задає струм пучка (опорний сигнал), передається від його задавача 11 на блок стабілізації 7 через високочастотний розділювальний трансформатор або за допо-

могою оптоелектронної розв'язки.

5.6. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ МАШИН КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

5.6.1. Особливості конструкції трансформаторів

Джерелом живлення для машин контактного зварювання є трансформатор.

Особливістю трансформаторів машин контактного зварювання є великі вторинні струми при відносно низьких напругах. Ця обставина накладає свій відбиток на його конструкцію.

Великі сили струму вимагають конструктивно складно виконаних послідовних з'єднань витків вторинної обмотки. У свою чергу, відносно низькі вторинні напруги дозволяють виконувати трансформатори з одним, рідше з двома вторинним витками.

Беручи до уваги великі сили вторинних струмів і малі напруги, рознесення первинної та вторинної обмоток на різні стрижні нерациональне, оскільки це викликає збільшення індуктивності трансформатора.

Для зниження індуктивності у трансформаторах первинна обмотка, як правило, розміщується на одному стрижні. Великі вторинні, а також відповідні їм первинні струми трансформатора створюють значні механічні зусилля, що зсувають обмотки трансформатора по відношенню одне до одного і до осердя.

Габарити трансформатора мають бути мінімальними. Для забезпечення мінімальних розмірів застосовується водяне охолодження.

Вбудований в машину трансформатор³⁹⁸ повинен забезпечувати різні режими зварювання. Для цього його первинна обмотка секціонується, і з допомогою перемикачів підбирається потрібна кількість витків для забезпечення заданого вторинного струму.

5.6.2. Осердя трансформаторів

Осердя трансформаторів машин контактного зварювання виконуються двох типів: стрижневі та броневі.

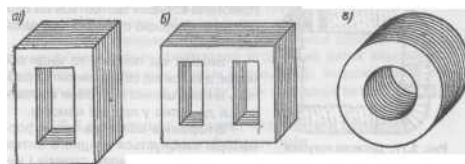
Як різновид стрижневого типу також застосовується осердя кільцевого типу. Всі вони мають свої переваги та недоліки. Однак у конструкціях трансформаторів

броневий тип осердя отримав широке розповсюдження, тому що він при одному і тому ж розмірі перетину стрижня дає деяку економію заліза.

Крім того, при броневому типі осердя динамічні зусилля, що з'являються між обмотками, можуть бути значно менші і краще скомпенсовані відповідним кріпленням обмоток, ніж при стрижневому типі. Ця обставина особливо суттєва для машин контактного зварювання.

Одночасно з цим потоки розсіяння при броневому типі осердя менші, ніж при стрижневому, що забезпечує меншу індуктивність трансформатора. Це особливо суттєво для трансформаторів великої потужності.

На рис. 5.76 показано різні типи осердь трансформаторів машин контактного зварювання. Осердя виконуються з електротехнічної сталі марок: E11, E12, E41, E42, E320 і E330 товщиною 0,5 мм.



**Рис. 5.76. Типи осердь
трансформаторів машин
контактного зварювання:
а - стрижневий, б -
броневий, в - кільцевий**

399

5.6.3. Обмотки трансформаторів

Первинні обмотки трансформаторів машин контактного зварювання бувають двох типів: циліндричні та дискові.

Циліндрична обмотка застосовується головним чином у трансформаторах малої потужності.

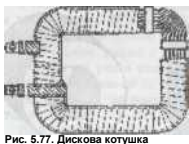
Найбільш широке розповсюдження отримала дискова обмотка. Це пояснюється цілим рядом її переваг у порівнянні з циліндричною:

- менша індуктивність;

- більш легке виконання відпайок від витків обмотки;
- кращі умови при використанні водяного охолодження;
- простота виготовлення обмотки на великі сили струму;
- полегшене збирання трансформатора;
- менші динамічні зусилля і можливість забезпечення більш надійного кріплення обмоток;
- надійніша ізоляція як окремих витків, так і всієї обмотки в цілому; -більш легка і надійна конструкція вторинного витка і можливість його доброго водяного охолодження;
- кращі умови ремрнту;
- можливість сполучення з осердями броневого типу, що забезпечує менші витрати заліза і захист обмотки від механічних пошкоджень.

Первинні обмотки трансформаторів виконуються з прямокутної обмотувальної міді або алюмінію.

Дискова котушка первинної обмотки намотується на широке ребро (рис. 5.77).
 Як міжвиткова ізоляція застосовується електрокартон.



Намотана котушка ізолюється по всій поверхні кіперною стрічкою або лако- тканиною.

Виводи від початку та кінця обмотки, а також від середини витків роблять із голої шинної міді. Вони припаюються до витків у процесі намотки.

Вторинна обмотка трансформаторів виконується з одного витка. Завдяки великим силам струмів і необхідності отримання мінімальних габаритів трансформатора вторинні витки охолоджуються водою.

Витки бувають литими або з катаного матеріалу. Як матеріал для виготовлення литих витків використовують мідь або алюміній. Охолоджуючі трубки знаходяться всередині витка.

Найбільше розповсюдження отримали вторинні витки, виготовлені з катаного матеріалу. Диски обмотки, виштампувані з міді, вварюються у колодку, що застосовується для приєднання шин вторинного контура машини. Охолоджуючі трубки приварюються по зовнішньому периметру дисків.

На рис. 5.78 показано конструкції дискових вторинних витків трансформаторів:

а - литий виток із залитою трубкою охолодження;

а) $\wedge$ $\begin{matrix} \text{ц} \\ \text{3]} \end{matrix}$ $\wedge$ б)

$$\left| \begin{matrix} \text{I} \\ i \end{matrix} \right| \begin{matrix} i_2 - \text{л} \\ \wedge \end{matrix}$$

401

л



Рис. 5.78. Конструкції вторинних витків трансформаторів

б - штампований виток із привареною трубкою охолодження; в - виток із трубки; г - виток, зібраний із двох дисків.

В окремих випадках для покращення умов охолодження і зниження габаритів трансформатора вторинний виток виконується з трубки або штампується із двох половин, що зварюються по периметру для забезпечення проходу води всередині витка.

5.6.4. Схеми з'єднання первинних обмоток трансформаторів

Регулювання зварювального струму контактної машини в більшості випадків виконується перемиканням числа витків первинної обмотки трансформатора. Перемикання витків виконується за різними схемами, які разом із перемикачами ступенів повинні задовольняти наступні вимоги:

- забезпечувати регулювання вторинної напруги в заданих межах при переході від ступеня до ступеня;
- виключати можливість отримання високих напруг на кінцях обмотки при вмиканні в мережу;
- мати симетричне розташування первинної обмотки по відношенню до вторинної.

Найчастіше застосовуються схеми регулювання вторинної напруги, які показані на рис. 5.79, де а - секціонування обмотки без розриву; б - секціонування з розривом та одним перемикачем; в - секціонування з двома перемикачами; г - секціонування з паралельним з'єднанням частини обмотки; д - секціонування з паралельним з'єднанням всієї обмотки; е - регулювання з допомогою автотрансформатора.

Схема, наведена на рис. 5.79а, застосовується для машин малої потужності з межами регулювання

де $C_{2п}$ - напруга на вищому ступені, u_2 - напруга на першому ступені, оскільки напруга між крайніми точками первинної обмотки не повинна перевищувати номінальну напругу мережі більш ніж на

50 %.

Недоліком схеми є малі межі регулювання, присутність витків, що не працюють на вищих ступенях, і складність розподілу робочих

Рис. 5.79. Схеми регулювання вторинних напруг трансформатора витків і витків, що виключаються для симетричного розташування обмоток.

Схема, наведена на рис. 5.79б, застосовується також тільки для машин малої потужності і дозволяє реалізовувати межі регулювання

$$k = 2n < 3$$

$$u_{\text{ц}}$$

з числом ступенів регулювання $N = 4; 7; 10$ і т. д. за формулою: $N = 30 - 2$, де N - число ступенів регулювання; n - число пар контактів.

Регулювання вторинної напруги можливе тільки за функціональним рядом зі знаменником ряду:

$$u = u_{\text{ц}} + \frac{D_{\text{в}}}{2n} \quad (5.2)$$

$$u_{\text{ц}}(i+1)$$

де u - вторинна напруга на ступені “/ + 1”; $u_{\text{в}}$ - вторинна напруга на ступені $D_{\text{в}}$ - різниця витків між ступенями “Г та 7 + 1”; $u_{\text{ц}}(i+1)$ - число витків на ступені “/ + 1”.

При зміні кількості первинних витків за арифметичною прогресією отримують достатньо зручну і просту схему регулювання вторинної напруги за відношенням 5.2

Схема на рис. 5.79 в дозволяє виконувати регулювання в межах $k \leq 3$ і застосовується в машинах середньої потужності.

$$u_{\text{ц}}$$

Регулювання вторинної напруги може проводитись на вищому або нижньому діапазоні (положення 1 або 2 перемикача Б1) як за арифметичною, так і за геометричною прогресією. При зміні діапазону (зміна положення перемикача Б1) регулювання проходить за функціональним рядом зі змінним знаменником ряду. Схема дозволяє достатньо легко підібрати будь-яку необхідну зміну вторинної напруги.

При розподілі витків первинної обмотки за арифметичною прогресією отримуємо зручну схему виконання обмоток даного типу.

Схема на рис. 5.79г є подальшим розвитком схем, показаних на рис. 5.79а, і

застосовується в машинах середньої потужності. З метою економії міді частина обмотки розділена на дві паралельні

гілки, з'єднані на нижчих ступенях (від 1 до 4) послідовно, а на високих ступенях - паралельно.

Регулювання може виконуватися за будь-яким функціональним рядом.

Межі регулювання $\xi = \text{---} < 25$

$$u_{2i}$$

При зміні числа витків за арифметичною прогресією можна отримати зручну схему регулювання.

Схема, наведена на рис. 5.79д, застосовується в машинах великої та середньої потужності і має вже декілька паралельно-послідовних гілок. Складається вона таким чином, щоб на нижчому ступені всі витки з'єднувалися послідовно, а на вищому - паралельно.

Число ступенів регулювання може бути обчислене за формулою: $L=2^N$ де N - число ступенів регулювання, k - число паралельно-послідовних груп.

При наявності тільки одних паралельно-послідовних груп межі регулювання відбуваються за таким виразом:

$$K^{n-2}$$

$$u_n$$

Регулювання виконується за функціональним рядом зі змінним знаменником. При зміні числа витків за арифметичною прогресією можливо отримати достатньо зручний розподіл напруги за ступенями і регулювання його за відношенням:

406

$$\frac{1}{2^{(k)}} - 1 \text{ і } 2, \text{ } \mathbb{R}(k),$$

де D_v - знаменник арифметичної прогресії зміни числа витків первинної обмотки.

Особливістю схеми є те, що всі витки первинної обмотки беруть участь у роботі на всіх ступенях регулювання. При цьому досягається симетричне розташування первинних і вторинних обмоток.

При виконанні всіх схем необхідно симетрично розмістити всі увімкнені й постійно працюючі секції, що включаються, по відношенню до вторинного витка.

В іншому випадку завдяки нерівності магнітного потоку, що охоплюється котушками, може виникнути нерівність струмів.

Схема на рис. 5.79е дозволяє регулювання напруги за допомогою автотрансформатора.

Технічні	Т				
	ВЛ	В	В	И	И
Номинал	315	315	40	315	305
Номинал	13	17	35	-	-
Напруга	45	45	80	-	40
Межі	40-	40	50	60	50
Межі	30-	30		0-	40
Точність	4	1		0,5	1
Нормаль	50	50		50	50
Габарит	101	72	60	60	60
Маса, кг	350	250	140	100	500

Таблиця 5.1

Технічні характеристики імпульсних джерел живлення

Тип	Pe	Вих	Номі	Част	Г	М
Осци	220	6	-	500	250,	6,
Осци	220	5	315	100-	290,	7,
Збуд	18	20	80	500	250,	4,
Збуд	220		80	0,1	312,	1
Збуд	22		500	0,1	312,	1
Збуд	380	5	500	'	365,	1
Стабі	380	0,2		0,1	208,	6,

Тип	Ном	Межі	Нап	Ре	Рід	Тр	Г	М
1	2	2	4	5	6	7	8	9
ВСВ	40	2-50	110-	60	Пос	0	700	1
ВСВ	60	2-80	100	60		0	700	1
ВСВ	160	5-180	100	60		0	700	2
ВСВ	315	8-350	100	60		0	700	3
ВСВ	400	5-400	100	60			800	2
ВСВ	630	10-	110	60		0	850	4
ВСВ	100	25-	45	60			1000	1
ВСВ	200	25-	45	65		-	1620	2
УДГ	60	1-5	60	60			650	1
УДГ	315	10-	60	60		-	650	2
УДГ	200	12-	60	40	Пос	0	570	5
УДГ	315	15-	75	60	Змі	0	900	4
УДГ	500	40-	75	60	Змі		900	5
УДГ	315	15-	70	160	Пос		800	3

УЛГ	315	10	80	1	60	Пос	0.1	800	280
УЛГ	350	10	80	1	60	Пос	0.1	800	280
УЛГ	350	10			60	3Мі		650	110
УЛГ	350	10			60	3Мі	0.1	1200	127
ИСВ	630	30	80		60	3Мі	0.1	910	540
ИСВ	315	20	80		60	3Мі	0.1	910	540
УЛГ	300	10	65	10		Пос	0.0	1230	410
И-126	400	50			80	Різ		1010	600
ВСП	160	40	16		60	Пос	0.2	700	240
ВСП	315	50	16		60	Пос	0.2	700	240
УЛГ	275	30	80	35		Пос		370	120
УЛГ	315	20	70	60				445	135
УЛГ	500	25	70	60			-	445	200
УЛГ	160	5	160	70	40	П		260	14
УЛГ	250	5	160	70	40	П		450	22
УЛГ	160	5	160	70	40	П		260	14
УЛГ	250	5	160	70	40	П		550	26

Таблиця 5.3
Технічні характеристики джерел для аргонно-дугового зварювання неплавким та плавким електродом

Тип	Но	Меж	Напру	Ре	Рід	Тр	Габ	Ма
ВІ	315	20-	80	60	Пос	0 0	105	35
ВІ	500	100-	80	60	Пос		110	50
ВІ	800	300-	180	10	Пос		102	90
ВІ	315	50-	180	10	Пос	'	670	'
МІ	30	2 5-	55-	60	Пос	0 0	550	15
МІ	160	1 0-		60	Пос	0 0	480	40
Н-	80	5 0-		40	Пос		530	80
ВІР	200	150-	100	10	Пос		981	45
ВІР	200	100-	300	10	Пос		735	35
ВІР	200	100-	220	60	Пос		950	
ДВ	300	i 00-	300	10	Пос		680	63
ДІР	400	100-	300	10	Пос		101	96
ДІР	400	200-	320	10	Пос		104	10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
“КІ	200	50-	300	100	Пос	*	100	68
“КІ	300	10	180-	100	Пос		780	70
БЕІ	500	80-	85-	100	Пос	-	850	52
БЕІ	500	100-	145-	100	Пос		850	78
ВІ	400	200-	320	100	Пос		115	79
‘КІІ	315	100-	250		Пос		600	1
ВВГ	40	-	250	15	Пос		230	45
ВВ	90	40-	300	60	Пос		450	15
ВВ	300	200-	300	60	Пос		860	3
ВГТ	80	30-	180	60	Пос		500	3
ВІР	630	100-	250	60	Пос	820		6
ВІІ	70	15-	260	60	-	-	450	35
ВІР	35	15-	250	35	■		322	1

Джерела живлення для електрошлакового зварювання

Тип	Номі	Me	Нап	Реж	Ном	Г	М
ТШ	1000	38-		80	56	980,	510
ТШ	1000х	38-		80	170	1470,	140
ТШ	3000	5-46		100	138	960,	600
ТШ	3000х	8-63		100	500	1360,	220
ТР	1000	21-	62	100	70	950,	700
ТР	3000	18-	61	100	190	1220,	135
ТШ	3000	15-	-	100	200	1250,	175

6. ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

6.1. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Експлуатація зварювального устаткування, в тому числі і джерел живлення, вимагає організації і суворого дотримання заходів безпеки.

Зварювальне обладнання, яке розміщене в цехах, повинне відповідати “Правилам улаштування електроустановок” (ПУЕ), а правила і заходи безпеки регламентовані системою стандартів безпеки праці. При настроюванні, ремонті і обслуговуванні джерел живлення повинні бути дотримані всі заходи, передбачені законами про охорону праці, діючими правилами та інструкціями.

Розглянемо характерні види ураження при дуговому зварюванні, які може отримати зварювальник, і заходи їх запобігання:

- ураження електричним струмом при контакті зі струмоведучими частинами зварювального обладнання. З метою запобігання цього необхідно, щоб ізоляція обладнання, підвідних ліній, електродотримачів не була пошкодженою, витримувала необхідну випробувальну напругу, яка обумовлюється в нормативно-технічній документації, і підлягала періодичним перевіркам. Зварювальник повинен бути одягнений в сухий спецодяг і чоботи на гумовій підшві, користуватись гумовими килимками. Йому забороняється виконувати перемикання на панелях проводів, виконувати ремонтні роботи;

- опіки, що спричинені краплями розплавленого металу і шлаку, які

розбризкуються при зварюванні. Для захисту тіла від опіків треба застосовувати спецодяг з брезенту або спеціальної теплостійкої тканини. Руки зварника мають бути захищені рукавицями. Взуття повинне мати гладкий верх і прикрите брюками з метою запобігання попадання бризок гарячого металу або шлаку на ноги;

- отруєння газами, які виділяються при зварюванні, а також пилом і випаровуваннями металів, флюсів, обмазок і т. д. Засобами захисту від потрапляння в органи дихання цих речовин необхідно передбачити загальну і місцеву приточно-витяжну вентиляцію, а також індивідуальні засоби захисту (маски, респіратори). Особливо суворо правила безпеки повинні дотримуватися при зварюванні в приміщеннях і відсіках малого об'єму, де можливі більші концентрації шкідливих речовин;

- променеві ураження очей і шкіри від дії променів зварювальної відкритої дуги. Яскравість світлових променів може викликати небезпеку опіків очей при дуже малому терміні дії, а також опіки не- захищених ділянок шкіри, подібні до опіків при засмаганні. Захисними засобами в такому випадку є спецодяг, захисне скло для очей, вмонтоване у щитки, маски різної конструкції. Для захисту навколишніх осіб, не пов'язаних з процесом зварювання, повинні застосовуватись спеціальні ширми, щитки і загородження;

- травмування, пов'язане з підготовчими операціями (транспортування зварювальних деталей, кантовка їх у процесі зварювання і т. д.). Для захисту від травм необхідно мати справні транспортні засоби (тельфери, крани, талі), набори такелажних пристроїв і інструментів, спецодяг і засоби захисту очей при операціях зачистки зварного шва. Для захисту очей від потрапляння шматків шлаку при зачищенні шва необхідно користуватись окулярами із прозорим склом. Травматизм у значній мірі знижується за рахунок продуманої технології підготовчо-зварювальних робіт, періодичних перевірок справності обладнання, інструменту й засобів захисту, а також впровадження комплексної механізації та автоматизації процесу.

Приміщення, в яких проводяться зварювальні роботи і розміщене зварювальне

обладнання, в більшості випадків належить до категорії приміщень з підвищеною небезпекою. Тому джерела живлення повинні експлуатуватися так, щоб виключалась будь-яка можливість появи небезпечної напруги на струмопровідних частинах, які знаходяться в нормальних умовах роботи не під напругою (корпуси трансформаторів, генераторів і т. д.). Необхідно забезпечувати надійність роботи і обслуговування устаткування, виключати можливість випадкового зіткнення з частинами, які перебувають під напругою, вищою за припустиму для зварювального кола джерела живлення, гарантувати протипожежну безпеку.

Для виконання цих умов необхідно забезпечити ізоляцію проводів, які підводять струм до зварювального обладнання від силової мережі. Клеми для приєднання проводів від мережі мають бути добре ізольовані від корпусу і прикриті кришкою. Корпуси джерел повинні бути заземлені з метою захисту персоналу, який його обслуговує, у випадку пробоя ізоляції обмоток, з'єднаних із силовою мережею на корпус. З метою запобігання ураження електричним струмом клема вторинної обмотки трансформатора, від якого іде провід до виробу, що зварюється, має бути добре заземлена. Зварюваль-

393

ний виріб необхідно також заземлити. Захисне заземлення зварювального обладнання здійснюється відповідно до ПУЕ.

Вмикання і відмикання від високої напруги джерела живлення, а також спостереження за їх справним станом у процесі експлуатації, має здійснюватись висококваліфікованими спеціалістами-електриками або спеціально підготовленими для цієї мети електрозварниками. Здійснювати перемикання, приєднання або від'єднання в електричних колах зварювального посту можна тільки після повного відключення джерела від мережі магнітними пускачами або автоматичним вимикачем мережі. При цьому слід пам'ятати, що при вимиканні тільки вимикача, який вбудований у джерело, входні затискачі джерела живлення залишаються під напругою. Частини електродотримача, які перебувають під напругою, повинні бути надійно захищені від можливості випадкового до них торкання. Ручка електродотримача повинна виготовлятись з ізолюючого вогнетривкого матеріалу.

При паралельній роботі декількох джерел на зварювальну дугу схема їх вмикання повинна забезпечувати в колі напругу, не вищу від допустимих величин. Частини зварювальних перетворювачів і агрегатів, що обертаються, мають бути загороджені. Багатопостові джерела живлення повинні розташовуватись в окремих приміщеннях або в частині загального виробничого приміщення, яка відокремлена постійними перегородками, ґратами або сітками.

При виконанні зварювальних робіт у закритих приміщеннях або у приміщеннях з підвищеною вологістю слід застосовувати пристрої для обмеження напруги неробочого ходу або вимикання джерела після закінчення зварювання.

6.2. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Строк служби зварювального обладнання, неперервність його роботи значною мірою залежать від технічного обслуговування і своєчасного ремонту. За технічний стан і експлуатацію електрозварювального обладнання відповідає на виробництві той працівник, у ведення якого наказом по підприємству воно передається. В його обов'язки входять: перевірка технічного стану, порядок

запуску і настроювання устаткування, порядок міжремонтного обслуговування, планово-профілактичного огляду і планового ремонту, інструктаж обслуговуючого персоналу.

Відповідальність за введення джерела живлення в експлуатацію, за його подальшу безперервну і правильну роботу несе наладчик електрозварювального устаткування, який призначений відповідним розпорядженням. Він виконує на робочому місті тільки дрібний ремонт. При неможливості усунення несправностей шляхом дрібного ремонту наладчик вимикає джерело живлення від мережі і передає його в ремонт.

Зварник-оператор несе відповідальність за правильну експлуатацію джерела та іншого устаткування, призначеного для зварювання. Він повинен технічно грамотно використовувати устаткування, строго підтримувати задані режими, утримувати в чистоті робоче місце, дотримуватись усіх вимог охорони праці. До самостійної роботи із джерелами живлення чи комплексом пристроїв допускаються зварники, які склали іспити з курсу технічного навчання з ручного, півавтоматичного та автоматичного зварювання і пройшли інструктаж з охорони праці.

Налагодження, експлуатація джерела та догляд за ним повинні виконуватись у суворій відповідності до вимог, які викладені в його паспорті. Електричний монтаж зовнішніх з'єднань повинен виконуватись відповідно до ПУЕ.

Перед запуском нового джерела живлення чи запуском джерела, яке тривалий час не було в експлуатації, після розконсервації та очистки від пилу слід перевірити мегометром опір ізоляції обмоток трансформатора відносно корпусу. У випадку зниження опору ізоляції нижче норми, яка вказана у паспорті, джерело слід просушити теплим повітрям. Також потрібно перевірити стан приладів, електричних дротів, контактів і т. д. Необхідно провести надійне заземлення джерела з допомогою гнучких проводів з міді або іншого електропровідного металу в суворій відповідності до діючих правил. Послідовне заземлення декількох зварювальних пристроїв не рекомендується. Кожне джерело повинно підключатись до мережі через окремий пускач із запобіжниками або через

автоматичний вимикач. Для забезпечення безперервної та тривалої роботи джерел необхідно проводити щоденні і періодичні огляди. Зміст кожного виду огляду і ремонту повинен бути обумовлений в інструкції з технічного обслуговування джерела живлення. Усі роботи з догляду і ремонту мають фіксуватись у журналі технічного стану. При щоденному догляді слід звертати увагу на надійність заземлення, міцність кріплення проводів, опір ізоляції.

При періодичному огляді один раз на місяць слід очистити джерело від забруднень і пилу, перевірити стан електричних контактів. Один раз на три місяці необхідно перевірити стан апаратури керування, опір ізоляції, наявність мастила у підшипниках електродвигуна вентилятора або ротора генератора.

Система планово-попереджувального ремонту передбачає поряд з роботами з технічного обслуговування ремонт джерел за заздалегідь складеним планом. Визначаються види робіт і виконується їх опис, плануються профілактичні огляди і виконання дрібного, середнього і капітального ремонтів, передбачається постачання готових деталей та комплектуючих, виготовлення запасних деталей, їх облік і зберігання. Приблизні строки оглядів і ремонтів джерел живлення наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Джерел	Періодичність		
	Профіль	Поточ	Капіт
Зварюв	Один	Один	Один
Спеціал	Один	Один	Один

У процесі експлуатації на джерела живлення впливають кліматичні і механічні фактори зовнішнього середовища.

Кліматичні умови експлуатації, транспортування і зберігання машин, механізмів, приладів, у тому числі електрозварювального устаткування, визначені ГОСТ 15150-69.

Відповідно до ГОСТ 15150-69 основними характеристиками кліматичних умов

експлуатації електротехнічних виробів (а отже, і джерел живлення) є: температура навколишнього середовища, відносна вологість повітря, інтенсивність сонячної радіації, атмосферний тиск, вміст корозійно-активних агентів в атмосфері навколишнього середовища. Виконання виробів для експлуатації у визначених кліматичних районах позначається літерами, а категорії розміщення виробів, що визначають температуру, вологість, наявність чи відсутність прямого впливу сонячної радіації, атмосферних опадів і т. п. - арабськими цифрами. За вмістом в атмосфері корозійно-активних агентів встановлюються типи атмосфер I, II, III і IV. Електрозварювальне устаткування, в тому числі джерела живлення, виготовляються для експлуатації, в основному, в атмосфері типу II - промисловій.

До кліматичного району з помірним кліматом (У), для якого, як правило, виготовляється електрозварювальне устаткування загального призначення, належать райони, де середня із щорічних абсолютних максимальних температур повітря нижче $+40^{\circ}\text{C}$, а середня із щорічних абсолютних мінімальних температур повітря вище -45°C . У ряді випадків допускається звуження діапазону температур, при яких експлуатується виріб.

До кліматичного району з холодним кліматом (УХЛ) для яких можуть виготовлятися деякі типи зварювальних агрегатів, відносяться райони, у яких середня із щорічних абсолютних мінімальних температур повітря нижча -45°C .

Крім виконань У і УХЛ, за спеціальними замовленнями джерела живлення можуть виготовлятися в кліматичних виконаннях Т (тропічне), М (морське) і деяких інших.

Електрозварювальне устаткування виготовляється за чотирма категоріями розміщення. За категорією 1 - устаткування може експлуатуватися на відкритому повітрі. За категорією 2-у приміщеннях, де коливання температури і вологості повітря не суттєво відрізняються від коливань температури і вологості відкритого повітря. За категорією 3 - устаткування повинне експлуатуватися в закритих приміщеннях, але з природною вентиляцією, без штучно регульованих кліматичних умов (неопалювані приміщення). Категорія 4 передбачає експлуатацію

устаткування в закритих приміщеннях зі штучно регульованими кліматичними умовами.

Крім умов експлуатації, ГОСТ 15150-69 визначає умови транспортування і збереження при впливі кліматичних факторів зовнішнього середовища - температури, відносної вологості повітря, інтенсивності сонячної радіації й атмосферних опадів. Ці фактори зазначені з типом атмосфери й утворюють дев'ять груп зі своїми позначеннями.

Умови експлуатації і транспортування електротехнічних виробів, у тому числі електрозварювального устаткування, у частині впливу механічних факторів зовнішнього середовища регламентуються ГОСТ 17516.1-90 і ГОСТ 23216-78. До механічних факторів зовнішнього середовища відносяться вібрації, поодинокі чи багаторазові удари при експлуатації, а також при транспортуванні залежно від виду доріг і допустимого числа перевантажень.

У таблиці 6.2 наведені позначення найбільш типових умов експлуатації, транспортування і зберігання основних видів зварювальних джерел живлення, а також допустимі значення основних факторів впливу.

Термін зберігання до переконсервації для агрегатів, перетворювачів і трансформаторів для автоматичного зварювання - 1 рік, для інших видів зварювальних джерел живлення - 2 роки. Важливе місце у вимогах до електрозварювального устаткування, особливо до джерел живлення, посідають вимоги до охорони праці.

398

ГОСТ 12.2.007.8-75 встановлює п'ять класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від ураження електричним струмом: 0; 01; I; II; III.

До класу 0 належать вироби, що мають, принаймні, робочу ізоляцію і не мають елементів для заземлення, якщо ці вироби не належать до класу II чи III. Так, до класу 0 належать усі пересувні електрозварювальні агрегати з двигунами внутрішнього згорання.

До класу 01 належать вироби, що мають, принаймні, робочу ізоляцію, елемент для заземлення і провід без жили, що заземлюється.

До класу I належать вироби, що мають, принаймні, робочу ізоляцію й елемент

для заземлення. У випадку, якщо виріб класу I має провід для приєднання до мережі живлення, у цього проводу повинна бути жила і роз'єм з контактом, що заземлюють.

До класу II належать вироби, що мають подвійну чи посилену ізоляцію і не мають елементів для заземлення.

До класу III належать вироби, що не мають ні внутрішніх, ні зовнішніх електричних кіл з напругою вище 42 В.

Трансформатори для ручного дугового зварювання, шлакового зварювання, зварювання під флюсом, випрямлячі для ручного, півавтоматичного й автоматичного зварювання, джерела живлення для зварювання неплавким (вольфрамовим) електродом у середовищі інертних газів, джерела живлення для плазмового зварювання, різання, наплавлення і напилення виготовляються як за класом 01, так і за класом I. За класом II виготовляються побутові зварювальні при-

Вид устаткування	Температурні умови					Вид впливу
	Кліматичний	Діапазон	Середньо	Діапазон	Середньо	
Агрегати з двигуном	У1	+40...+50	80	+50...+60	80	Вібрація з
Трансформатори	У3	+40...+50	80	+50...+60	80	Вібрація з
Установки з електродом	УХЛ1	+30...+40	65	+40...+50	80	Вібрація з

строї, оскільки побутова мережа, як правило, не має лінії заземлення. За класом III електрозварювальне устаткування не виготовляється.

ГОСТ 12.1.009-76 визначає наступні типи ізоляції:

- робоча ізоляція - електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист персоналу від ураження електричним струмом;

- додаткова ізоляція - електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом у випадку пошкодження

робочої ізоляції;

- подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції;

- посилена ізоляція - поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує такий самий ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

Вимоги до електричних виробів за ступенем захисту встановлює ГОСТ 14254-80. Ступінь захисту визначає вимоги до оболонок, що забезпечують захист персоналу від дотику до частин, що перебувають під напругою, а також захист виробу від потрапляння всередину твердих тіл і води.

Для позначення ступеня захисту застосовуються літери IP (індекс захисту) і дві цифри. Перша з них позначає ступінь захисту персоналу від зіткнення з частинами, що перебувають під напругою, чи наближення до них, а також ступінь захисту виробів від потрапляння всередину твердих сторонніх тіл. Друга - захист виробу від потрапляння води. Значення і розшифровка першої цифри подані в табл. 6.3, а другої - у табл. 6.4 для ступенів захисту, що використовуються в електрозварювальному устаткуванні при дуговому і плазмовому зварюванні.

З урахуванням ГОСТ 12.2.007.8-75 для електрозварювального устаткування і устаткування для плазмової обробки, що працюють в закритих приміщеннях, мінімальний ступінь захисту IP11. Для того ж устаткування, призначеного для роботи на відкритому повітрі або під наметом - IP21.

Практично більшість трансформаторів для ручного дугового зварювання, випрямлячі для ручного, півавтоматичного і автоматичного зварювання, зварювальні апарати, джерела струму для зварювання неплавким електродом у середовищі інертних газів, джерела для плазмової обробки мають ступінь захисту IP22, а трансформатори для автоматичного зварювання під флюсом - IP21.

Пе	Ступінь захисту	
	Короткі	Визначення
0	Захист	Спеціальний
1	Захист	Захист від
2	Захист	Захист від
3	Захист	Захист від

Таблиця 6.4

Дру	Ступінь захисту	
	Корозії	Видачення
0	Захист	Спеціальний
1	Захист	Краплі води,
2	Захист	Краплі води,
3	Захист	Дош, що падає

Виконання вимог заземлення електрозварювального обладнання - найголовніша умова безпеки роботи. Як правило, елемент заземлення являє собою площадку з розташованим на ній болтом. Болт заземлення повинен бути захищений від корозії і неметалевих включень.

Допустимі значення напруги неробочого ходу джерел живлення для дугового зварювання встановлені ГОСТ 12.2.007.8-75:

- 80 В - для джерел змінного струму для ручного дугового зварювання;
- 140 В - для джерел змінного струму для автоматичного дугового зварювання;
- 100 В - для джерел постійного струму.

Але при цьому джерела змінного струму для автоматичного дугового зварювання з напругою неробочого ходу більше 80 В, а також джерела змінного струму для ручного дугового зварювання, що потрібні для роботи в особливих умовах (всередині металевих ємностей, на відкритому повітрі та в особливо небезпечних приміщеннях), повинні комплектуватись пристроями зниження напруги неробочого ходу.

Для загальної характеристики стану працюючого електрозварювального устаткування, при досягненні критичних режимів або при появі аварійної ситуації застосовується попереджувальна (у більшості, світлова) сигналізація. Застосовують наступні кольори світлової сигналізації:

- червоний - заборонені та аварійні сигнали, що попереджують про перевантаження, неправильні дії, небезпечні стани, що потребують термінового втручання, і т. п.;
- жовтий - сигнал звертання уваги (досягнення крайніх значень, перехід на

автоматичний режим і т. п.);

- зелений - сигнал безпеки (нормальний режим роботи, дозвіл на початок дії тощо);

- білий - сигнал включеного стану, коли трапляється нераціональне використання червоного, жовтого і зеленого кольорів;

- синій - для спеціальних випадків, коли неможливе використання червоного, жовтого, зеленого та білого кольорів.

Всі світлосигнальні пристрої обов'язково повинні мати символічні позначки або написи, які вказують на призначення сигналу.

Важливою характеристикою джерел струму є клас ізоляції при їх роботі у номінальному режимі.

Таблиця 6.3

Клас ізоляції за нагрівостійкістю визначає крайні перевищення температури обмоток та магнітопроводів силових виробів (трансформаторів, дроселів, реакторів, індукційних нагрівачів і т. п.), які входять до складу джерел живлення, над температурою навколиш

нього середовища. У табл. 6.5 наведені значення крайніх перевищень температури для трансформаторів для ручного зварювання і зварювання під флюсом, випрямлячів для ручного, півавтоматичного і автоматичного дугового зварювання.

Таблиця 6.5.

Кла	Крайні перевищення		
	Для	Для	Для
А	65	70	70
Б	80	85	85
В	85	85	85
Г	110	120	120
Д	125	145	145
С	Перевищення		

6.3. ГОЛОВНІ ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ. ВИБІР, МОНТАЖ І ПУСК ДЖЕРЕЛ

Вимоги технологічного процесу зварювання перебувають на першому місці серед критеріїв вибору. До них належать: спосіб і вид зварювання, рід струму, діапазон зварювальних режимів і т. д. Важливе значення мають також ціна і техніко-економічні показники джерела. Усі ці відомості зазвичай наводяться в довідниках, каталогах і номенклатурних списках заводів-виготовлювачів.

Систему обслуговування обирають залежно від кількості постів зварювання, компактно розташованих у цеху або на будівництві. Багатопостові системи економічні вже при кількості однотипних постів більш ніж чотири.

Спосіб зварювання слід обирати вже на початку, оскільки від нього залежать такі важливі параметри джерела, як тип зовнішньої характеристики, напруга неробочого ходу, кратність струму короткого замикання і т. д.

У зварювальному цеху джерела розташовуються в окремому приміщенні (машинній залі) або безпосередньо біля робочих місць. У машинній залі покращуються умови експлуатації, обслуговування і ремонту, особливо багатопостових джерел, але при цьому збільшуються витрати зварювальних кабелів і втрати енергії. При розміщенні джерел у цеху їх встановлюють поблизу стін або колон, щоб не займати виробничу площу.

“Правила улаштування електроустановок” (ПУЕ) вимагають залишати проходи для безпечної експлуатації та обслуговування електрообладнання. Джерела повинні розміщуватися не ближче ніж 0,5 м від стін. Відстань між однопостовими трансформаторами та випрямлячами повинна бути не менше 0,3 м, між агрегатами - не менш 0,8 м, а між багатопостовими джерелами, не менше 1,5 м.

Живлення зварювального обладнання здійснюється від силової трифазної мережі. Підведення струму від підстанції до розподільчих шаф виконується трьома одиничними проводами або три-, чотирижильними кабелями в трубах і траншеях по підлозі. При розрахунку навантаження силової мережі спочатку визначають середню умовну потужність зварювального поста:

Потім розраховують сумарну* потужність P_{Σ} , споживачів з урахуванням їх кількості n і коефіцієнта одночасності K_0 :

$$P_{\Sigma} = n \cdot P_{\text{ср}} \cdot K_0$$

При рівномірному завантаженні трьох фаз знаходять розрахунковий струм

$$I_{\text{р}} = \frac{P_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}}$$

за яким і обирають площу перетину проводів за їхнім допустимим нагріванням. Перетин проводу повинен бути перевірений за економічною густиною у середнього струму в годину максимуму навантаження:

$$S = \frac{I_{\text{р}}}{J_{\text{е}}} \quad (6.1)$$

Для одиночного алюмінієвого проводу з гумовою або пластмасовою ізоляцією густина струму не повинна перевищувати 1,2-1,6 А/мм², а для мідного проводу - 2-3 А/мм². Для кабелів з алюмінієвими жилами, що мають гумову або пластмасову ізоляцію, економічна густина струму становить 1,6-1,9 А/мм², а з мідними жилами - 2,7-3,5 А/мм².

404

Перетин проводу розраховується за співвідношенням (6.1) або обирається за довідниками за величиною розрахункового струму. Розрахунковий струм для однофазного джерела обирається залежно від номінальної потужності $P_{\text{н}}$ за співвідношенням

$I_{pc} = B_H \text{ л/тн}'' / \text{и}_\text{л}$, а для трифазного - $I_{pc} =$

6.4. НАЛАГОДЖЕННЯ ТА РЕМОНТ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Випробувально-налагоджувальні роботи в повному обсязі виконують на заводі-виготовлювачі джерела, а також після капітального ремонту в електроремонтному цеху заводу, що експлуатує джерела. Налаштування та приймально-здавальні випробування після монтажу джерела на посту зварювання відповідно до “Правил улаштування електроустановок” виконує кваліфікований електромонтер у чотири етапи.

Перевірка без подачі напруги включає зовнішній і внутрішній огляди, вимірювання опору ізоляції, випробування заземлення. При огляді чистять джерело від пилу, знімають консерваційне мастило, знаходять зовнішні пошкодження, перевіряють відповідність напруги мережі напрузі, що вказана на табличці, потім перевіряють стан приладів, дротів, щільність контактів і паяння, легкість ходу механічних приводів, обертання вала генератора і вентилятора. Опір ізоляції первинних і вторинних обмоток вимірюється мегаомметром на 500-1000 В при підключенні його до вхідних і вихідних затискачів, а також до корпусу джерела. Допустимий опір ізоляції вказується в інструкції до джерела, але у будь-якому випадку не повинний бути меншим за 0,5 МОм. У разі зниження опору джерело має бути просушене теплим повітрям і повторно перевірене. Опір заземлення перевіряється між корпусом джерела і цеховим заземлювальним контуром.

Перевірка з подачею напруги тільки в кола керування виконується при налаштуванні джерел з електричним керуванням. При цьому перевіряється спрацьовування сигнальних ламп і автоматичного вимикача при ручному вмиканні, у випадку його автоматичного вимикання виявляють причину несправності. При запуску вентилятора перевіряють напрямок потоку повітря, при неправильному напрямку міняють місцями два проводи на вхідних затискачах джерела.

Перевірка з подачею напруги у зварювальні кола починається при встановленні всіх регуляторів у положення мінімальних струмів. У режимі неробочого ходу послідовно перевіряють роботу всіх на-строювальних пристроїв, якщо їх перемикання допустиме під напругою. За приладами контролюють відповідність напруги неробочого ходу паспортному значенню. При виявленні несправностей їх ліквідовують або замінюють несправні блоки та елементи. З допомогою підстроювальних пристроїв досягають відповідності характеристик джерела паспортним.

Приймально-здавальні випробування джерела відбуваються за участі зварювальника і повинні підтвердити відповідність технічних характеристик паспортним значенням, задовольняти вимогам до зварювальних властивостей. Має бути забезпечене надійне запалювання і стійке горіння дуги, ефективне регулювання струму і напруги, сприятливий характер перенесення електродного металу і якісне формування шва

Система технічного обслуговування та планово-попереджувального ремонту (ППР) розроблена для забезпечення безперебійної і тривалої роботи електрозварювального обладнання. З урахуванням цієї системи завод-виготовлювач дає гарантії стосовно окремих показників надійності.

Поточний ремонт, як правило, виконується наладчиком прямо на посту зварювання без повного розбирання, але з від'єднанням від мережі. При цьому несправності усуваються шляхом заміни або відновлення окремих частин, що і забезпечує працездатність джерела до більш серйозного ремонту.

Середній ремонт виконується, як правило, на ремонтній ділянці, при цьому ресурс джерела відновлюється частково шляхом заміни або відновлення тільки деяких його частин.

Капітальний ремонт можливо виконати на ремонтній ділянці або на спеціалізованому ремонтному підприємстві. При цьому домагаються ремонту джерела з повним відновленням його ресурсу.

Перед пошуком несправностей належить ознайомитися з будовою, принципом дії і електричною схемою джерела за його технічним описом. Пошук виконується

з допомогою тестера - амперволь- тометра або цифрового приладу мультиметра, а також з допомогою осцилографа. У технічному описі зазвичай наводиться перелік типових несправностей із вказанням причин і методів усунення.

Пошук несправностей починають із зовнішнього огляду джерела зі знятим кожухом. Інколи при виявленні підозрілого елемента чи блока його замінюють на справний і вмикають джерело, спостерігаючи поведінку цього елемента і роботу джерела в цілому. Більш ефективним є спосіб почергового відмикання блоків або елементів. Після кожного відключення на джерело подають напругу і одночасно спостерігають, чи не зникла при цьому ознака дефекту.

6.5. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДЖЕРЕЛ. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ І ЕРГОНОМІКИ ДО КОНСТРУКЦІЇ ДЖЕРЕЛ

При конструюванні і виготовленні джерел враховують положення системи стандартів безпеки праці (ССБП), а саме державний стандарт ГОСТ 12.2007.8-75. За цим стандартом первинні кола джерел розраховують на включення в мережу змінного струму напругою на 380 В. Побутові джерела, як правило, вмикають до мережі 220 В. При плазмових процесах напруга неробочого ходу не повинна перевищувати при ручному різанні 180 В, при напівавтоматичному - 300 В, при автоматичному - 500 В.

Затискачі високої і низької (зварювальної) напруги розносять на різні дошки і захищають відкидними козирками, затискачі високої напруги повинні мати напис “Мережа”. Корпус джерела повинен мати захищену від корозії ділянку і болт з написом “Земля”, призначений для заземлення. Якщо корпус джерела виконаний у формі шафи, то він повинен мати електричне блокування дверей або замикатися на замок. Конструкцією осцилятора передбачається блокування, що виключає його роботу при знятому кожусі, і не дозволяється безпосередній контакт кіл високої і низької частоти.

Ергономічні вимоги належать окремо до зовнішнього фарбування джерел. Слід фарбувати джерела у нейтральні кольори - сірий, сталевий, темно-зелений. Джерела підвищеної напруги, наприклад, для плазмового різання, для

привертання уваги, навпаки, фарбують у яскравий колір: жовтий або червоний.

Відповідно до “Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів” зварювальники належать до II групи за електробезпекою персоналу, що обслуговує електроустановки. Для осіб з групою II обов’язкові елементарне технічне знайомство з електроустановками, чітке уявлення про небезпеку електричного струму, знання основних засобів обережності при роботі, практичні навички

надання

першої допомоги потерпілим. До робіт з експлуатації та обслуговування джерел зварювальник допускається після інструктажу на конкретному обладнанні і перевірки знань. Роботи, пов'язані з підключенням та ремонтом джерел, зварювальнику заборонені. Цим займається електромонтер із більш високою III групою за електробезпекою.

Однією з причин електротравматизму при зварюванні є ураження зварювальника високою (мережевою) напругою, тобто високий потенціал може з'явитися на кожусі або в колах зварювальної напруги при пошкодженні ізоляції. У цьому випадку при одночасному торканні землі і кожуха, тіло зварювальника опиниться увімкненим у коло з високою різницею потенціалів. Саме таку ситуацію має відвернути заземлення. Заземлюючий дріт з'єднує кожух із землею, тому різниця потенціалів між ними близька до нуля навіть у наведеній аварійній ситуації. Обов'язкове також заземлення затискача зварювальної напруги, що з'єднаний із зварюваним виробом. Недопустиме послідовне увімкнення в заземлювальний провід кожухів декількох джерел. Недопустиме також використання зварювального проводу, що підключається до виробу як заземлювальний, а також використання як заземлення металоконструкцій споруд і трубопроводів. Інколи замість заземлення використовується захисне занулення, тобто з'єднання кожуха з нульовим проводом трифазної мережі живлення. У цьому випадку при потраплянні високої напруги на кожух утворюється коло короткого замикання "фаза - кожух - нульовий провід", що призводить до спрацювання захисту і відключення джерела від мережі.

У процесі експлуатації справного джерела можливе ураження зварювальника низькою напругою неробочого ходу. Тому, наприклад, при механізованому зварюванні під флюсом робота джерела в режимі неробочого ходу обмежується за часом, що передбачено схемою системи керування. При ручному зварюванні небезпека підвищується при роботі на змінному струмі всередині металевих ємностей, а також на відкритому повітрі через вплив атмосферних опадів та іншої вологи. У цьому випадку рекомендовано використовувати пристрої зниження напруги

неробочого

ходу.

ДОДАТКИ

1. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ТРАНСФОРМАТОРА З РУХОМИМИ ОБМОТКАМИ

Вихідні дані для розрахунку. Номінальний зварювальний струм $I_{2\text{ном}}$, А, Тривалість навантаження ТН, %. Первинна напруга $U_1 = 380$ В. Напруга неробочого ходу: в діапазоні великих струмів $U_{20} = 64$ В; в діапазоні малих струмів $U_{20} = 78-82$ В. Межі регулювання зварювального струму: загальні 80-460 А; в діапазоні великих струмів 200- 460 А; в діапазоні малих струмів 80-200 А. Номінальна робоча напруга $U_{2\text{нор}}$ = 36 В. Клас ізоляції Н. Обмотувальні проводи: для первинної обмотки - алюмінієвий дріт марки АСПД (за галузевими технічними умовами); для вторинної обмотки - шина алюмінієва марки АДО (ГОСТ 15176-84).

1.1. Методика розрахунку трансформатора для діапазону малих струмів

$$X_{\text{мін}} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{21}^2}}{I_{22}}, \text{ де } U_{21} = 20 + 0,04 I_{21}$$

2. Максимальний індуктивний опір, який забезпечує отримання мінімального зварювального струму $I_{21} = 80$ А, Ом

$$\text{так } X_{\text{мін}} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{21}^2}}{I_{21}}, \text{ де } U_{21} = 20 + 0,04 I_{21}$$

3. Вибір кількості витків обмоток. Для вибору кількості витків обмоток рекомендовано користуватися емпіричною формулою

де $P_{\text{тр}}$ - потужність трансформатора, КВ А:

$$P_{\text{тр}} = U_{20} \cdot I_{2\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ТН}}{100}} \cdot 10^{-3}$$

Кількість витків первинної обмотки:

1. Мінімальний індуктивний опір, який запезпечує отримання максимального зварювального струму $I_{22}^{411} = 200$ А, Ом

Кількість витків вторинної обмотки:

*

--

4. Кількість витків котушок. Первинна і вторинна обмотки складаються з двох котушок, які з'єднані в діапазоні малих струмів послідовно, тобто:

$$I_{\Sigma} = I_1 + I_2$$

$$U_{\Sigma} = U_1 + U_2$$

$$I_1 = I_2 = I$$

5. Номінальний струм первинної обмотки, А:

$$K^*$$

$$m = m_1 + m_2$$

$$I_{ном} = I_{ном1} + I_{ном2}$$

$$de n = \lfloor m, I \rfloor / 2, K = 1,05.$$

6. Площа перерізу магнітопроводу, см²

$$u_{20} \cdot 10^4$$

$$S =$$

$$4,44 \cdot \frac{I}{f \cdot B_m}$$

де $f = 50$ Гц - частота мережі; $B = 1,73$ Тл - прийнята індукція в магнітопроводі.

7. Ширина пластини стрижня магнітопроводу, мм:

$$V P \cdot K$$

де κ_c - коефіцієнт заповнення сталлю.

Приймаємо $\kappa_c = 0,97$, $p_1 = b \cdot l_a = 1,8 \dots 2,2$, де B - висота набору магнітопроводу, мм.

8. Набір пакета магнітопроводу, мм:

$$B = p, - a$$

9. Ширина вікна магнітопроводу, мм: (рис. 1.)

$$c_B = b' P_2$$

Приймаємо $p=1,0...1,2$

10. Площина перерізу обмотувальних проводів первинної обмотки (для послідовного з'єднання котушок), мм^2 :

де $i_1 = 2,4 \text{ А/мм}^2$ - густина струму у первинній обмотці. Обирається стандартний провід марки АПСД з розмірами $a_i b_i \sim Ч-i$ ($a/b = 1/2$). Розмір проводу в ізоляції:

$$a_i \times b_i; (a_i' = + < 5_0; b_i' = 6, + \partial_0; \xi_0 = 0,4 \text{ лш})$$

11. Розміри котушок первинної обмотки: ширина котушки, мм :

$$m_{IK} = \frac{I}{5} (5 = 10 \text{ мм}; b_3 = 2 \text{ мм}), \text{ де } 5, = \text{ізоляційна відстань котушок у вікні магнітопроводу, мм};$$

5_3 = ширина прокладки між котушками первинної обмотки, мм . Число шарів у котушці:

$$m_{,k}$$

$$\ll \text{III} = 77, \text{---} \text{FTF-G}$$

$$[(a, + ki) - k]$$

$$k = 0,15; k_y = 1,1;$$

де $\wedge$ -товщина міжшарової ізоляції, мм ; k_y - коефіцієнт, враховуючий нещільність укладання провідників.

число витків у шарі $\wedge_{1\text{ш}}$ и $\wedge_{1\text{ш}}$;

канали охолодження: $5_2=13 \text{ мм}$ після 4 і 8-го шарів.

висота котушки, мм :

413

12. Площина перерізу обмотувальних проводів вторинної обмотки (для послідовного з'єднання котушок), мм^2 :

$$\wedge^2 \sim \wedge^2 NO \vee \wedge^2,$$

де $J_2 = 2,1 \text{ А/мм}^2$ - густина струму у вторинній обмотці. Обираємо шину алюмінієву марки АДО з розмірами $a_2 \cdot b_2 = c \setminus 2$, де $b_2/a_2=6$

Висота вторинної котушки:

$$/?_2 = \% a; / (y,$$

де a' - товщина шини в ізоляції, мм ;

B_2 - ширина шини в ізоляції, мм.

^{13.} Зважаючи на вибрані геометричні розміри, проведемо перевірочний розрахунок мінімального індуктивного опору розсіювання. Мінімальний опір розсіювання відповідає повністю зближеним первинним і вторинним обмоткам ($\ell = 20$ мм).

Індуктивний опір у вікні магнітопроводу, Ом:

$$C_0 (\wedge 2)^2 \wedge - (L_1 + L_2)$$

де $X = 1,5 + 1,2 \cdot \dots$; $C_0 = 4 \cdot \dots \cdot 10^{-7}$, Гн/м; $\omega = 2 \cdot \dots$ /, 1/с. c_v

Індуктивний опір за рахунок магнітного поля в лобовій частині магнітопроводу, Ом:

$$X = \frac{1}{2} \frac{L^3}{L_0} - \frac{I_p \cdot \dots}{2 \cdot \dots},$$

де L_k = умовна довжина витка котушок в лобовій частині, м:

$$, \frac{(A_{cp} + \wedge 2c_p)}{2}$$

де $\wedge i_{cp} = \dots$; $L_{cp} = \dots$ " середня довжина витка котушок первинної і вторинної обмоток.

g_v, g_{l2} - середні геометричні відстані, м:

$A_1 = 0,223(20 + \dots)$, $A_2 = 0,223(2c_2 + L_2)$, де c, c_2 - розміри первинної та вторинної котушок по ширині поза вікном магнітопроводу, м: приймаємо $c \ll 80$ мм, $c_2 \ll 40$ мм:

$$= 2 \cdot c_1 \cdot [0,22 + \wedge 31 \cdot \dots] \text{ дес, } = i f i \pm 2 i > .10 - : m = \text{Ю-Ц}_0 - \wedge 2 \cdot * < \blacksquare \$ \gg$$

де - індуктивний опір за рахунок магнітного поля у вікні магнітопроводу та проміжку між обмотками.

$$X^* = L_{Г_6} + x_{,,} + L_{Г_6}$$

Якщо то забезпечується отримання максимального струму.

14. Знаходимо максимальну відстань між котушками $\ell_{\text{тах}}$, виходячи з умови

$$\ll x_{ял} z I J L L X L \text{ } _m$$

$$B_{\text{тах}} \quad 2 \quad \text{п} \quad ,$$

$$C_0 \cdot C_{,,} \cdot \cdot \quad A_{,,}$$

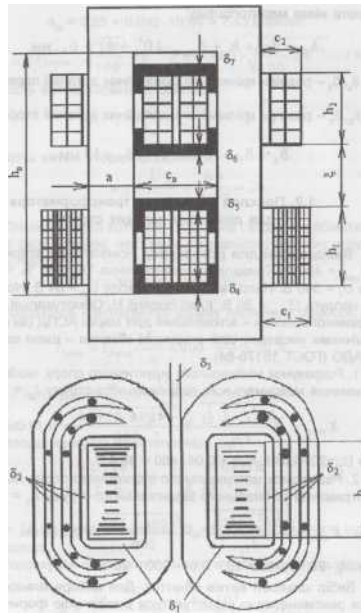


Рис. 1. Позначення
основних
геометричних
розмірів
трансформатора
413

Висота вікна магнітопроводу:

$$K_6 = 84 + \frac{I_{\text{тах}}}{\Gamma_2} + 87, \text{мм}$$

де $5_4, 8_6$ - розміри кріпильних ізоляційних деталей первинної обмотки;

$5_6, 8_7$ - розміри кріпильних ізоляційних деталей вторинної обмотки;

$$8_4 = 8_5 = 10 \text{ мм}; 8_6 = 8_7 = 13 \text{ мм}.$$

1.2. Приклад розрахунку трансформатора для діапазону великих струмів

Вихідні дані для розрахунку. Номінальний зварювальний струм $I_{2\text{ном}} = 400 \text{ А}$. Тривалість навантаження $TН = 60 \%$. Первинна напруга $u_y = 380 \text{ В}$. Напруга неробочого ходу $C/20 = 64 \text{ В}$. Номінальна робоча напруга $U_{2\text{ном}} = 36 \text{ В}$. Клас ізоляції Н. Обмотувальні проводи: для первинної обмотки - алюмінієвий дріт марки АСПД (за галузевими технічними умовами); для вторинної обмотки - шина

алюмінієва марки АДО (ГОСТ 15176-84).

1. Розрахунок мінімального індуктивного опору, який забезпечує отримання максимального зварювального струму $I_{22} = 460$ А:

$$\frac{L}{\sqrt{20}} \sim \frac{C}{27} \frac{L}{4096} - \text{тип "а"} \quad I_{22} \sim 460$$

$$\text{де } \frac{L}{22} = 20 + 0,04 \quad \frac{L}{22} = 20 + 0,04 \cdot 460 = 38,4 \text{ В.}$$

2. Розрахунок максимального індуктивного опору, який забезпечує отримання мінімального зварювального струму $I_{21} = 200$ А.

x

$$\frac{L}{21} \cdot 200 \text{ де } u_2 = 20 + 0,04/21 = 20 + 0,04 \cdot 200 = 28 \text{ В}$$

3. Вибір кількості витків обмоток. Для вибору кількості витків обмоток рекомендовано користуватися емпіричною формулою

$$e_{,,} = 0,55 + 0,095 \cdot P_{\text{ХРі}} \text{ де } P_{\text{тр}} - \text{потужність трансформатора в КВ А.}$$

$$e_{u1} = 0,55 + 0,095$$

$$-19,84 = 2,43 \text{ В/виток};$$

$$(тiГ \quad \frac{1}{100})$$

$$10^{-3} = 19,84$$

Кількість витків первинної обмотки:

$$u_1 = 380 \text{ В}$$

$$M_{12} = \frac{1}{2} = 156$$

$$2,43$$

Кількість витків вторинної обмотки:

$$U_2 = 2,43$$

4. Кількість витків котушок. Первинна і вторинна обмотки складаються з двох котушок, які з'єднані в діапазоні великих струмів паралельно, тобто:

$$L_{12} = M_{12}^2; i_1 = 2 = n_1'$$

5. Розрахунок номінального струму первинної обмотки, А:

$$I_{1, \text{ном}} = \frac{2 \cdot P_{\text{ном}}}{U_1} = 400 \cdot 1 = 70 \text{ А},$$

$$n = 6$$

$$u_1 = 156$$

$$\text{де } n = \frac{U_1}{U_2} = 6;$$

$$M_{12} = 26$$

$$K = 1,05.$$

$$k_c = 0,15; A_{c\gamma} = 1,1;$$

418

6. Площа перерізу магнітопроводу, см^2 :

$$\frac{U_{20} \cdot 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 26 \cdot 1,73} = \frac{64 \cdot 1 \cdot 0^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 26 \cdot 1,73}$$

$$4,44 / 4,44 \cdot 50 \cdot 26 \cdot 1,73$$

де $f = 50 \text{ Гц}$ - частота мережі; $B_m = 1,73 \text{ Тл}$ - прийнята індукція в магнітопроводі.

7. Розрахунок ширини пластини стрижня магнітопроводу, мм:

$$\frac{U_{20} \cdot 10^4}{1 \cdot B_m \cdot 2 \cdot 0,7}$$

де k_c - коефіцієнт заповнення сталлю. Приймаємо $k_c = 0,97$, 415

$$p_x = b I a - 2,02,$$

де b - висота набору магнітопроводу.

8. Набір пакета магнітопроводу, мм:

$$B = p, a = 2,02 \cdot 57 = 115$$

9. Ширина вікна магнітопроводу, мм:

$$c_g = b I p_2 = 115 / 1,08 = 106.$$

Приймаємо $p_2 = 1,08$.

10. Розрахунок площини перерізу обмотувальних проводів первинної обмотки (для паралельного з'єднання котушок), мм^2 :

$$70$$

де $j = 2,4 \text{ А/мм}^2$ - густина струму у первинній обмотці. Обирається стандартний провід марки АПСД з розмірами $a \times b$, ($a/b = 1/2$). Розмір проводу в ізоляції, мм:

$$a \times b, ' ; (a, ' = a + 5_0; b' = b + 8_0; 8_0 = 0,4 \text{ мм})$$

$$b_t = \sqrt{14,6 \cdot 2} = 5,4; a_t = 14,6 / 5,4 = 2,7;$$

$$a_i = 2,7 + 0,4 = 3,1; b_i = 5,4 + 0,4 = 5,8.$$

Стандартний провід марки АПСД в ізоляції $3,25 \times 5,68 \text{ мм}$.

$$m_{jk} = \frac{2 \cdot (106 - 2 \cdot 10 - 2)}{2} = 44,$$

де 5_0 - ізоляційна відстань котушок у вікні магнітопроводу, мм;
 5_1 - ширина прокладки між котушками первинної обмотки, мм.
 Число шарів у котушці:

11. Розрахунок розмірів котушок первинної обмотки: ширина котушки, мм

$$\text{LiT} = \frac{1}{12} = 12,$$

¹³ 1,1(3,25 + 0,15) де Δ -товщина міжшарової ізоляції, мм; κ_y -коефіцієнт, враховуючий щільність укладання провідників.

$$\ddot{\Pi} \quad \text{и} \quad \dot{\Pi} \quad {}^{156}\Pi$$

ЧИСЛО ВИТКІВ у Шарі $M_{>III} = \frac{M}{n_m}$; $M'_{III} = \frac{M'}{n_m}$ «1.3;

канали охолодження: $S_2=13$ мм після 4-го і 8-го шарів, висота котушки, мм:

$$B = [L_m B] - \kappa_y, /7, = 13 - 5,8 - 1,1 = 84.$$

12. Площина перерізу обмотувальних проводів вторинної обмотки (для паралельного з'єднання котушок), мм²:

44
 $22 = 2 \cdot \llbracket (2 - \Pi) \rrbracket = 95.$

де $u_2 = 2,1 \text{ А/мм}^2$ - густина струму у вторинній обмотці Обираємо стандартну шину алюмінієву марки АДО з розмірами a_2 - $B_2 < 7_2$, де $(B_2/ a_2 = 6)$, $B_2 = 25 \text{ мм}$; $a_2 = 3,8 \text{ мм}$

За ГОСТом 15176-84 розмір шини в ізоляції 4,6х25,8 Висота вторинної котушки, мм:

$$H_2 = m \succ_{2-a_2-\kappa_v} = 26-4,6-1,1 = 132,$$

де a_2 - товщина шини в ізоляції, мм;

Б' - ширина шини в ізоляції, мм.

13. Зважаючи на вибрані геометричні розміри, проведемо перевірочний розрахунок мінімального індуктивного опору розсіяння. Мінімальний опір розсіяння відповідає повністю зближеним первинним і вторинним обмоткам ($\epsilon = 20$ мм).

Індуктивний опір у вікні магнітопровіду, Ом:

$$X_5 = |-\text{co-}\Pi_0 - \mathcal{K}_2^2 - (\Gamma_1 + A_2) - 10^{-3} =$$

$$= \sim 314 \cdot 12,56 \cdot 10^{7} \cdot 26^2 \cdot 2,8 \cdot (88 + 132) \cdot 10^3 = 0,054,$$

$$\text{де } \mathbf{J}_* = 1,5 + 1,2 - \text{---} = 1,5 + 1,2 - \text{---} = 2,8; \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м; } c_\delta \quad 106$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314 \text{ 1/c.}$$

27.3am.75304 1 7

Індуктивний опір за рахунок магнітного поля в лобовій частині магнітопроводу, Ом:

$$X_{\pi} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot w_2^2 \cdot l_{\pi} \cdot \ln \frac{g_{12}^2}{g_1 \cdot g_2}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 314 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \cdot 26^2 \cdot 0,56 \cdot \ln \frac{0,109^2}{0,055 \cdot 0,047} =$$

0,03

6

Ом

де l_{π} = умовна довжина витка котушок у лобовій частині, м;

$$l_{\pi} = \frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{0,59 + 0,53}{2}$$

$$= 0,56 \text{ м}$$

де $l_1 = 0,59$ м; $l_2 = 0,53$ м - середня довжина витка котушок первинної і вторинної обмоток.

g_1, g_2, g_{12} - середні геометричні відстані, мм;

$$g_1 = 0,223(2c_1 + l_1) = 0,223(2 \cdot 80 + 84) = 55;$$

$$g_2 = 0,223(2c_2 + l_2) = 0,223(2 \cdot 40 + 132) = 47, \text{ де } c_1, c_2 - \text{розміри первинної та вторинної котушок по ширині поза вікном магнітопроводу, мм;}$$

приймаємо $c_1 = 80$ мм;

$c_2 = 40$ мм;

$$g_{12} = 2 \cdot c_{\text{ср}} \cdot \left[0,22 + \frac{0,75 h_{\text{ср}}}{(2 \cdot c_{\text{ср}})} \right] \cdot 10^{-3}$$

$$= 2 \cdot 60 \cdot \left[0,22 + \frac{0,75 \cdot 108}{2 \cdot 60} \right] \cdot 10^{-3}$$

418

$$\text{де } c_{\text{ср}} = \frac{(c_1 + c_2)}{2} = \frac{80 + 40}{2} = 60;$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{(h_1 + h_2)}{2} = \frac{84 + 132}{2} = 108 \text{ мм}$$

Індуктивний опір за рахунок магнітного поля у вікні магнітопроводу та проміжку між обмотками, Ом:

$$X_k = \mu_0 \cdot \frac{N^2}{l} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 26^2 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} = 0,0149. \text{ Сумарний індуктивний опір, Ом:}$$

$$I_{\Sigma} = X_B + X + X^{\wedge} = 0,054 + 0,036 + 0,0149 = 0,105$$

Якщо $T, X < X_{min}$, то забезпечується отримання максимального струму.

14. Знаходимо максимальну відстань між котушками $\ell_{\text{тах}}$, м:

$$\ell_{\text{тах}} = \frac{X_{\text{max}} - (X_{\text{в}} + X_{\text{п}})}{2} = \frac{0,288 - (0,054 + 0,036)}{2} = 0,1$$

Висота вікна магнітопроводу, мм:

$$H_{\text{в}} = 6_4 + \ell_{\Gamma_1} + \ell_{\text{тах}} + 10^3 + \ell_{\Gamma_2} + 6_7 = 10 + 84 + 263 + 132 + 13 = 502,$$

де $8_4, 5_5$ - розміри кріпильних ізоляційних деталей первинної обмотки, мм;

$8_6, 5_7$ - розміри кріпильних ізоляційних деталей вторинної обмотки, мм;

$8_4 = 8_5 = 10$ мм; $5_6 = 5_7 = 13$ мм.

1.3. Методика розрахунку трифазного трансформатора

з рухомими обмотками випрямляча типу ВД

Вихідні дані для розрахунку. Номінальний зварювальний струм $I_{2\text{ном}}$, А. Первинна напруга $U_1 = 380$ В. Напруга неробочого ходу $U_{20} = 60-70$ В. Межі регулювання зварювального струму: 45-315 А. У діапазоні великих струмів 125-315 А, в діапазоні малих струмів 45-125 А. Номінальна робоча напруга $\{U_{2\text{ном}} = 32$ В. Кількість витків вторинної обмотки $n_2 = 40$. Обмотувальні проводи: для первинної обмотки - алюмінієвий дріт марки АПСД; для вторинної обмотки - шина алюмінієва марки АПСД.

1. Максимальний індуктивний опір, який забезпечує отримання номінального зварювального струму, Ом:

$$X_{\text{тах}} = \frac{U_{20}}{I_{2\text{ном}}} = \frac{60}{315} = 0,19$$

2. Довжина набору пакета магнітопроводу, см:

$$\ell_{\text{м}} = D \cdot \pi$$

де $X = 2$ - відношення довжини набору магнітопроводу m до ширини його пластини p (рис. 2); $1/2$ - кількість витків вторинної обмотки; C_m - коефіцієнт, що знаходиться за формулою:

$$4,44 \cdot B_m \cdot k \cdot k_c$$

де u_{1c} - фазна напруга первинної обмотки; k - коефіцієнт трансформації; f - частота мережі, Гц; B_m - індукція у магнітопроводі трансформатора, що дорівнює 1,6-1,7 Тл; k_c - коефіцієнт заповнення магнітопроводу сталлю рівний 0,94 - 0,97.

Ширина перерізу котушки первинної обмотки, см:

$$b_1 = C_{k1} \cdot \sqrt{\frac{w_1 \cdot q_1}{\gamma}}$$

де b_1 - переріз витка первинної обмотки (береться з паспорту), що дорівнює 0,0812 см²; $V = 2,5$ - відношення висоти перерізу первинної обмотки до її ширини; $C_{k1} = k \cdot k_{znX} \cdot k_{pb} \cdot k_{pH}$; k_{zn1} - коефіцієнт збільшення перерізу витка первинної обмотки за рахунок ізоляції (для проводу АПСД дорівнює 1,14-1,35); k_{pb} , k_{pH} - коефіцієнти розбухання обмотки по ширині та висоті і дорівнюють відповідно 1,12 та 1,15; k - коефіцієнт трансформації.

Ширина вікна магнітопроводу, см:

де a - відстань між стрижнем магнітопроводу та котушками, що дорівнює 0,75-1 см; 5 - відстань між котушками, становить 1-1,3 см.

3. Провідність від середнього до крайнього стрижня магнітної системи g

$$g = \frac{m}{p} + 1,5 \cdot \sqrt{\frac{m}{p}}$$

4. Висота перерізу котушки первинної обмотки, см:

$$h_1 = C_{k1} \cdot \sqrt{\frac{w_1 \cdot q_1}{\gamma}} = C_{k1} \cdot \sqrt{\frac{w_2 \cdot q_2}{\gamma}}$$

5. Висота перерізу котушки вторинної обмотки, см:

420

віднесена до одиниці довжини стрижнів, що залежить від відношення ширини вікна до довжини набору магнітопроводу та враховує вип'ячення магнітних силових ліній у вікні трансформатора:

$$\gamma_{\text{зп2}} = \gamma_{\text{зп1}} \cdot K_{\text{рБ}} \cdot \gamma_{\text{рИ}} >$$

$\gamma_{\text{зп2}} = \gamma_{\text{зп1}}$ - коефіцієнт збільшення перерізу витка вторинної обмотки за рахунок ізоляції (для проводу АГІСД дорівнює 1,14-1,35 залежно від перерізу проводу); q_2 - переріз витка вторинної обмотки (береться з паспорту) і дорівнює 0,518 см².

6. Ширина перерізу котушки вторинної обмотки, см:

де l_{Γ} - відстані між стрижнем магнітопроводу та котушками, що дорівнюють 0,75-1 см; $5_{\Gamma} 5_2$ - відстані між котушками, що дорівнюють 1-1,3 см.

7. Ширина пластини магнітопроводу, см:

$$b_A$$

8. Середня довжина витка котушки первинної обмотки, см:

$$l_x = 2 \cdot (m + p + 2 \cdot r + 2 \cdot r_2 - 4 \cdot r_1 + 2 \cdot n \cdot (r_1 + B_1 / 2)),$$

вторинної обмотки, см:

$$l_2 = 2 \cdot (m + p + 2 \cdot r + 2 \cdot r_2 - 4 \cdot r_2) + 2 \cdot \pi \cdot (r_2 + B_2 / 2),$$

де r_1, r_2 - відстані між магнітопроводом та котушками в лобових частинах, і дорівнюють 1,5-2 см;

r_1, r_2 - радіуси намотки котушок, що дорівнюють 1,5-2 см.

9. Індуктивний опір лобових частин обмоток трансформатора залежить від потоку розсіювання, зв'язаного з котушкою власної фази, і не залежить від відстані X між котушками:

Індуктивний опір лобових частин, Ом: середньої фази:

$$L_{\text{л}} = \frac{10^{-7}}{4\pi} \cdot \frac{N^2}{X} \cdot \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$\text{при } (X_{\text{ср}})^{-2} < 0,01 \text{ ОПРХср.л} = 0,$$

крайньої

фази:

$$-^{\wedge}\text{кр.л} = 8 \cdot 7i \cdot / \cdot 10^{-9} - \blacksquare \quad (/_\text{ср} - 5 \cdot \text{и}). \dot{\text{п}} - \&2-,$$

$$\ll 1' \cdot 2$$

$$\text{Де/ср} = (/i + /_2)/2$$

Середні геометричні відстані, см:

$$g_x = 0,223 \cdot [2 \cdot (\backslash + \Gamma,) + /*,], \quad g_2 = 0,223 \cdot [2 \cdot (6_2 + /_2) + H_2],$$

$$^A \backslash \text{л} = (A, + A_2)/2,$$

$$\text{де} \text{C} = \text{b}_{\Delta} + \text{b}_2 + \text{ц} + \text{н}_2 \quad 2$$

10. Максимальна відстань між котушками є, см, (рис. 2):

$$i$$

$$_{4\text{шх}} = \frac{\text{тах} \ 3 \ \text{кр}!}{\wedge} \ \underline{/_\gg i + /_2}$$

$$/_\bullet \text{По} \bullet " \text{I} \blacksquare \Gamma$$

$$\text{де} \text{ц}_0 = 4\text{-я} - 10 \text{ Гн/м.}$$

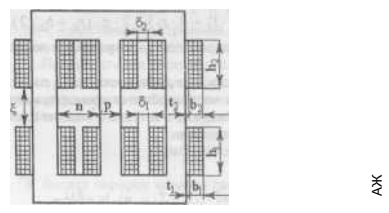


Рис. 2. До розрахунку геометричних розмірів трансформатора

1.4. Приклад розрахунку трифазного трансформатора випрямляча типу ВД

Вихідні дані для розрахунку. Номінальний зварювальний струм $I_{2\text{ном}} = 311$ А. Первинна напруга $U_1 = 380$ В. Напруга неробочого ходу $U_{20} = 69$ В. Номінальна робоча напруга $U_{2\text{ном}} = 32$ В. Кількість витків вторинної обмотки $w_2 = 40$. Обмотувальні проводи: для первинної обмотки - алюмінієвий дріт марки АПСД; для вторинної обмотки - шина алюмінієва марки АПСД.

1. Максимальний індуктивний опір, який забезпечує отримання номінального зварювального струму, Ом:

$$L_{\text{тах}} = \frac{U_1 - U_2}{I_{2\text{ном}}} = \frac{380 - 32}{311} = 1,15 \text{ Гн}$$

2. Довжина набору пакета магнітопроводу, см:

$$m = \frac{L_{\text{тах}}}{\mu_0 \mu_r} = \frac{1,15}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1} = 91,5 \text{ м}$$

де $\mu_r = 2$ - відношення довжини набору магнітопроводу m до ширини його пластини b (рис.1); w_2 - кількість витків вторинної обмотки; C_m - коефіцієнт, що знаходиться за формулою:

$$C_m = \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{I_{2\text{ном}}}{I_1} = \frac{380}{32} \cdot \frac{311}{100} = 3,68$$

де $U_{1\phi}$ - фазна напруга первинної обмотки; k - коефіцієнт трансформації; f - частота мережі, Гц; B_m - індукція у магнітопроводі трансформатора, що дорівнює 1,6-1,7 Тл; k_c - коефіцієнт заповнення магнітопроводу сталлю рівний 0,94-0,97.

Ширина перерізу котушки первинної обмотки, см:

$$b_1 = \sqrt{\frac{I_1}{q_1}} = \sqrt{\frac{100}{0,0812}} = 35,3 \text{ см}$$

де q_1 - переріз витка первинної обмотки (береться з паспорта) і дорівнює 0,0812 см²; $y = 2,5$ - відношення висоти перерізу первинної обмотки b_1 до її ширини;

$$C^*, = y_f^k \cdot k_{zn} \cdot k_{pb} \cdot k_{pb} = 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,15 = 2,92,$$

де $k_{сг1}$ - коефіцієнт збільшення перерізу витка первинної обмотки за рахунок ізоляції (для проводу АПСД дорівнює 1,14-1,35); k_{pb}, k_{pb} - коефіцієнти розбухання обмотки по ширині та висоті що дорівнюють відповідно 1,12 та 1,15; k - коефіцієнт трансформації.

Ширина вікна магнітопроводу, см:

$$n = 2 \cdot i_f + d_l + 2 \cdot b_i = 2 \cdot 0,85 + 1,2 + 2 \cdot 3,3 = 9,5,$$

де d - відстань між стрижнем магнітопроводу та котушками, що дорівнює 0,75-1 см; b_i - відстань між котушками, становить 1-1,3 см.

3.Провідність від середнього до крайнього стрижня магнітної системи % віднесена до одиниці довжини стрижнів, що залежить від відношення ширини вікна до довжини набору магнітопроводу та враховує вип'ячення магнітних силових ліній у вікні трансформатора:

$$k_{сг1} = \frac{5,4E}{n} = \frac{5,4 \cdot 9,5}{9,5 \cdot 19,5} = 2,56$$

4.Висота перерізу котушки первинної обмотки, см:

$$h_1 = c_{k1} \cdot y_f^k \cdot U_f = c_{k1} \cdot \sqrt{U_{fTM2} \cdot U_f} \cdot V = 2,92 \cdot \sqrt{40 \cdot 0,0812} \cdot 2,5 = 8,3$$

5.Висота перерізу котушки вторинної обмотки, см:

$$h_2 = \frac{C_{k2} \cdot I_2}{B_2} = \frac{1,2^2 \cdot 1,15 \cdot 5}{3,3} = 9,$$

424

$$\text{де } c_{k2} = \sqrt{3} \cdot k_{pb} \cdot k_{pH} = 1,73 \cdot 1,12 \cdot 1,15 = 2,2,$$

$K_{сг2} \sim$ - коефіцієнт збільшення перерізу витка вторинної обмотки за рахунок ізоляції (для проводу АПСД дорівнює 1,14-1,35 залежно від перерізу проводу); q_2 - переріз витка вторинної обмотки (береться з паспорту), що дорівнює 0,518 см².

6.Ширина перерізу котушки вторинної обмотки, см:

$$b_2 = \frac{I_2}{q_2} + \frac{5 \cdot 1,2^2}{2} + A = 0,8 + 3,3 = 3,3,$$

де l_2 - відстані між стрижнем магнітопроводу та котушками, що дорівнюють 0,75-1 см, l_1 - відстані між котушками, що дорівнюють 1,3 см.

7. Ширина пластини магнітопроводу, см:

$$b = \frac{C_u}{40} = \frac{44,53}{40} = 1,113 \text{ см}$$

8. Середня довжина витка котушки первинної обмотки, см:

$$l_1 = 2 \cdot (m + p + 2 \cdot r_1 + 2 \cdot r_2 - 4 \cdot r_3) + 2 \cdot \pi \cdot (r_1 + r_2 / 2) =$$

$$= 2 \cdot (10 + 5 + 2 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1,7 - 4 \cdot 1,7) + 2 \cdot 3,14 \cdot (1,7 + 0,8 / 2) = 47,4 \text{ см}$$

вторинної обмотки, см:

$$l_2 = 2 \cdot (m + p + 2 \cdot r_1 + 2 \cdot r_2 - 4 \cdot r_3) + 2 \cdot \pi \cdot (r_2 + r_1 / 2) =$$

$$= 2 \cdot (10 + 5 + 2 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1,7 - 4 \cdot 1,7) + 2 \cdot 3,14 \cdot (1,7 + 1,5 / 2) = 47,4 \text{ см}$$

де l_1, l_2 - відстані між магнітопроводом та котушками в лобових частинах, і дорівнюють 1,5-2 см, r_1, r_2 - радіуси намотки котушок, що дорівнюють 1,5-2 см.

9. Індуктивний опір лобових частин обмоток трансформатора залежить від потоку розсіяння, зв'язаного з котушкою власної фази і не залежить від відстані X між котушками:

Індуктивний опір лобових частин, Ом середньої фази:

$$X_{\text{ср.л}} = \frac{8 \cdot 10^{-9} \cdot \pi^2 \cdot (l_1 - 2 \cdot r_1 - 2 \cdot r_2) \cdot I^2}{8 \cdot 8 \cdot 2} =$$

$$= \frac{8 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \cdot 40^2 \cdot (47,4 - 2 \cdot 2,56 - 9,5) \cdot 1}{3,68 \cdot 3,84} = 0,074$$

оскільки $(l_{\text{ср}} - 2 \cdot r_1 - 2 \cdot r_2) < 0$ крайньої фази:

$$X_{\text{ср.л}} = \frac{8 \cdot 10^{-9} \cdot \pi^2 \cdot (l_1 - 2 \cdot r_1 - 2 \cdot r_2) \cdot I^2}{8 \cdot 8 \cdot 2} =$$

$$= \frac{8 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \cdot 40^2 \cdot (47,4 - 2 \cdot 2,56 - 9,5) \cdot 1}{3,68 \cdot 3,84} = 0,074$$

де $l_{\text{ср}} = (l_1 + l_2) / 2 = (47,4 + 47,4) / 2 = 47,4 \text{ см}$

Середні геометричні відстані, см:

$$g^{\wedge} = 0,223 \cdot [2 \cdot (*! + /i) + A,] = 0,223 \cdot [2 \cdot (3,3 + 0,8) + 8,3] = 3,68$$

$$g_2 = 0,223 \cdot [2 \cdot (B_2 + i_2) + \kappa_2] = 0,223 \cdot [-2 \blacksquare (3,3 + 0,8) + 9] = 3,84$$

$$\&\}2 \text{ --- } 2 \text{ ' } C \cdot ^{\wedge}0,22 + 0,75 : y^{\wedge} = 2 \cdot 4,1 \cdot ^{\wedge}0,22 + 0,75 \cdot \quad = 8,29$$

$$A = (A_1 + A_2)/2 = (8,3 + 9)/2 = 8,65,$$

$$_ \text{f} > i + / > 2 + \text{Л} + ^{\wedge} 7 \quad 3,3 + 3,3 + 0,8 + 0,8$$

$$\text{де } C = -i^{-2} \text{ --- } * \quad i = \text{ --- } = 4,1 \text{ см}$$

$$2 \quad 2$$

¹⁰. Максимальна відстань між котушками, см:

$$2 \quad 1$$

$$y \text{ --- } \text{ --- } \cdot y \quad \text{ --- } y$$

$$\text{Л}_{\text{тах } 3 \text{ кр.л}}^{\wedge} \text{CР}^{\text{Л}} A, + / \text{Г} 2$$

$$, 2 - \text{Л} / 3) \text{ --- } , \quad 2 \quad 3$$

$$\bullet 2 - i \text{Г} - / - \text{Ц}_0 - \% \wedge$$

$$\underline{0.273 - 1.0.074} \quad ' \quad \underline{83 \text{н} \bullet 9}$$

йй)

3 ^{o,45,}

$$2 \cdot 3,14 \blacksquare 50 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{\text{“}9} \cdot 40^2 \cdot 2,56$$

де $|x_0| = 4\text{-я-}10 \text{ Гн/м}$

2. МЕТОДИКА ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ 427 КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРИФАЗНОГО ІНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА

^{2.1}. Короткі відомості про конструкції генераторів

Існують генератори підвищеної частоти: з різнойменно-полюсними та однойменно-полюсними магнітними системами. Ці генератори мають не принципові, а лише конструктивні відмінності.

Обидва різновиди мають нерухомі котушки збудження 4 (рис. 3, 4).

Рис. 3. Схематична будова різнойменно-полюсного індукторного генератора: а - з однофазним статором, б - із трифазним статором

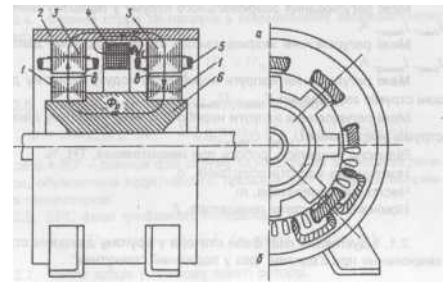


Рис. 4. Схематична будова однойменно-полюсного індукторного генератора: а - з однофазним статором, б - із трифазним статором

Магнітна вісь циліндричної котушки збудження-4 однойменно- полюсних генераторів (рис. 4) співпадають з віссю обертання ротора-6. При збудженні генератора в роторі і в корпусі-2 поле має аксіальний напрямок (паралельно осі обертання). У шихтованих пакетах статора-3 та ротора поле приймає або радіальний напрямок від ротора до статора, або протилежний, пересікаючи повітряні проміжки між ротором та статором переважно проти зубців ротора.

З цього випливає, що пакети статора є своєрідними кільцевими полюсами збудження однойменної полярності.

Різнйодно-полюсні індукторні генератори (рис. 3) мають по одному шихтованому пакету на роторі-1 та статорі-3. Близько 20-25% зубців статора видаляються та в утворені широкі пази вкладаються й закріплюються клинами котушки збудження-4. У підсумку утворюється магнітна система з різнойменними полюсами збудження на пакеті статора.

2.2. Методика розрахунку однойменно-полюсного генератора Вихідні дані для розрахунку

де $\kappa_{cx} = 3$ — коефіцієнт приведення опору фази еквівалентної “зірки” до опору фази дійсної схеми обмотки статора (при з’єднанні фаз “зіркою” $\kappa^{\wedge} = 1$, при з’єднанні трикутником $\kappa_{cx} = 3$); $\gamma = 0$ - кут комутації діодів силового випрямляча, рад.; $u_{\Sigma} = 20 + 0,04 \cdot I_{2ном}$ - розрахункова напруга на дузі, В; $\Delta U_{\Sigma} = 0,55$ В - спад напруги на діоді; ε_2

- активний опір фази, розраховується за формулою:

$$\varepsilon_2 = (0,2 \cdot I_{2ном} - 0,25)$$

2.2. Діюче значення лінійного струму, що відповідає номінальному режиму, А

$$I_L = 0,75 \cdot I_{2ном}$$

2.3. Діюче значення лінійної напруги, що відповідає номінальному режиму, В

$$U_L = \sqrt{U_{\Sigma}^2 + 2 \Delta U_{\Sigma} I_L + \Delta U_{\Sigma}^2}, \text{ де } \Delta U_{\Sigma} = (5 + 7) \cdot 10^{-3} \cdot I_{2ном},$$

де ΔU_K - спад напруги на контактах та проводах, що з’єднують генератор із випрямлячем, В.

2.4. Фазний струм та напруга у номінальному зварювальному режимі:

$$I_{\phi} = I_L / \sqrt{3}, \quad U_{\phi} = U_L / \sqrt{3}$$

$$U_N = U_{Nn}$$

2.5. Фазовий зсув між ЕРС і струмом, у градусах

$$\varphi_i = \arctg [X_2 \cdot I_N \sin \phi + U_N \cos \phi] / (I_N \cdot r_2 + U_N \sin \phi),$$

де $\phi = 30^\circ$ - різниця фаз струму та напруги на затискачах генератора, обумовлена індуктивністю проводів, що з’єднують випрямляч із генератором.

2.6. ЕРС фази трифазного генератора, В

$$E_n = U_N \cos(\varphi_i - \phi) + I_N (r_2 \cos \varphi_i + X_2 \sin \varphi_i)$$

2.7. Число зубців у кожному пакеті ротора:

$$z_2 = 60 / \Pi$$

$$\Pi$$

2.8. Число зубців у кожному пакеті статора:

$$Z_1 = 2mz_2$$

Для подальшого розрахунку необхідно заповнити таблицю 1.

У таблиці використані наступні позначення:

δ - зазор між зубцями статора та ротора, см;

B_{δ} - індукція поля збудження у проміжку, Т;

I_{k1} - число витків котушки статора;

$a_2 = 2$ - число паралельних гілок обмотки статора для другого діапазону зварювальних струмів;

X_{δ} - змінна складова магнітної провідності проміжку під зубцем статора, Г/см;

l_{δ} - осьова довжина пакета статора, см;

τ - зубцеве ділення статора, см;

D_i - внутрішній діаметр статора, см;

D_{e1} - зовнішній діаметр статора, см;

$(L_{\delta 1} + l_{\delta 1})$ - сума висот зубця та спинки статора, см. Визначається з таблиці 2.

X - індуктивний опір фази статора, Ом.

Найбільш прийнятним результатом слід вважати той, для якого приблизно виконуються умови $X = X_2$ та $\theta^{0,3}$.

2.9. Розміри паза та зубця статора (рис. 5).

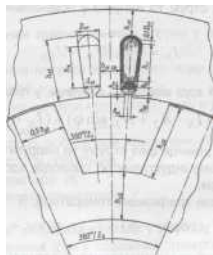


Рис. 5. До
розрахунку
зубцевої
зони та
параметрів
обмотки
статора

Варіанти розрахунку конструктивних даних елементів статора Та

$5B_0 \text{ см} \cdot \text{Т}$	0	0	0	0	0	0	7	0	0	8	-
$65B_0 \text{ см} \cdot \text{Т}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-
$Л/, IO'' -$											
Δ_{1000}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$1 = 0.67 \cdot 10^8 \text{ В/с}$									я	1	
$\Pi 2nM_{l22} \text{ Б,} = -$											
$O_{\alpha} = \alpha_i^+$											
$X = 25 + 10 \text{ —}$											
№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблиця 2

Г	100	200	300	500
Г	2	4	4	6

Діаметр меншого півкола, статора см:

$$d_{п1} = 11(A + 2^{\wedge}) / [(1 + e_d - 11)],$$

де $L_{ш} = 0,1$ см - висота шліца;

$\kappa = (3+4)Im$ - відношення ширини зубця в середній частині до діаметру малого кола паза.

Діаметр більшого півкола, статора см:

$$D_{п1} = 1 + 4$$

$$i_{4л8}$$

Де $S_{п1} = (D_{п1}^2 - d_{п1}^2) / 4$ - площа перерізу паза статора, см²; $J = 5+8$ - густина струму обмотки статора, А/мм²; $\kappa_z = 0,3+0,4$ - коефіцієнт заповнення паза статора.

Відстань між центрами півкола паза статора, см:

Ширина головки зубця статора, см:

$$b_{zi} = C_{ш} \cdot B_{ш},$$

де $B_{ш} = 0,35$ см - ширина шліца паза статора.

Ширина зубця статора в середній частині, см:

$$b_{ш} = d_{п1} + 2(b_{ш} + 0,5d_{п1})$$

$$z_{ш} \sim \pi$$

$$z_1$$

Висота зубця статора, см:

$$L_{zi} = L_{ш} + 0,5 (D_{п1} + d_{п1}) + A_{ц}$$

2.10. Розміри елементів ротора.

Зовнішній діаметр ротора, см:

$$D_{23} = 0,28 \text{ Зубцеве ділення ротора, см: } _$$

Ширина (по дузі кола) зубця і паза ротора, см: $B_{32} = (0,4+0,45)G_2; B_{п2} = i_2 -$

$$B_{32}$$

Висота зубця ротора, см:

$$L_{32} = (0,6+0,7)B_{п2} \text{ Висота спинки ротора, см:}$$

$\frac{1}{2} \ll 2+3$ см Внутрішній діаметр пакета ротора, см:

$$O_2 = O_2 \cdot 3 - \frac{1}{2} \cdot y$$

2.11. Розміри елементів обмотки статора та котушки збудження. Діаметр ізолюваного елементарного провідника обмотки статора, мм:

$$4\epsilon i = 10 \cdot (O_{\text{ш}} - 2O_{\text{ш}} - A), \text{ де } \delta_{ni} = 0,055 + 0,08 - \text{одностороння товщина пазової ізоляції};$$

$A = 0,08 + 0,12$ см - проміжок на проведення елементарного провідника через шліц в паз.

З таблиці 3 (с. 441) обирають стандартний провід та визначають найближчий діаметр $c_{ei} < c\Gamma_{ei}$ і площу поперечного перетину q_6 .

Число елементарних провідників у ефективному проводі обмотки статора: m

$$q = \frac{1}{2} \cdot$$

$^a I_{\text{Ше}}$

Середня довжина витка котушки статора, см:

де $\frac{1}{2} = 2 - l + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot$ - середня довжина лобової частини

$$l_{\text{пр}} \cdot 2 - \Gamma,$$

котушки статора, см;

$\frac{1}{2} \text{пр} \gg 0,5 + 1$ см - вихід ізоляції із паза.

Виліт лобової частини котушки статора, см:

$$\epsilon_{\text{п}} = \frac{1}{2} \text{пр} + \frac{1}{2} \cdot T7.$$

2.12. Висота перетину котушки збудження, см:

При розміщенні між котушками ротора:

$$= + \frac{1}{2} \cdot (0,7 + 1,5)$$

Ширина перетину котушки збудження, см:

де $\kappa_{33} = 0,4+0,6$ - коефіцієнт заповнення котушки збудження міддю;

$j_3 = 2+3 \text{ А/мм}^2$ - щільність струму в котушці збудження;

$F_{3u} = F_{\theta}^* + F_a$ - намагнічуюча сила обмотки збудження, де F_{θ} - падіння магнітної напруги в магнітному колі генератора; $F_{\theta} = 1,6 \cdot B_S K_H \cdot 10^4$, де $K_H = 1,25+1,35$ - коефіцієнт насичення магнітного кола;

Намагнічуюча сила реакції статора

$$F_a = 0,7 \cdot m \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{M_{\text{max}} - M_{\text{min}}}{M_{\text{max}} + M_{\text{min}}} \cdot \sin \gamma$$

Мінімальна питома магнітна провідність проміжку в межах кроку котушки статора:

$$\mu_{\text{min}} = 4 \cdot 10^{-4} \cdot \left[8 \cdot \lg \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} + X_{\text{min}}} \right) \right], \text{ Г/ш};$$

$X_{\text{max}} = X_{SI} + 2 \cdot \mu_{\text{min}}$ - максимальна питома магнітна провідність проміжку в межах кроку котушки статора, Г/см.

$$\mu_{51} = 4 \cdot 10^{-9} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} + X_{\text{min}}} \right) \cdot J,$$

$$\mu_{51} = 4 \cdot 10^{-9} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} + X_{\text{min}}} \right) \cdot J,$$

Середня довжина витка котушки збудження, см:

$$V_3 = \pi (A - K_3 \cdot \delta)$$

2.13. Площа перерізу проводу котушки збудження, мм^2 :

$U = K \cdot \frac{1}{2} \cdot u_{20} \cdot J_{W3} [1 + 0,004(\gamma_3 - 1,5)] / (5700 \cdot U_3)$, $k_t = 1,2 \dots 1,3$ - коефіцієнт запасу збудження, де F_{v20} - намагнічуюча сила, що відповідає номінальній напрузі неробочого ходу і визначається за номограмою рис. 4.

$53 = 65+75 \text{ }^\circ\text{C}$ - температура нагріву котушки збудження при неробочому ході генератора;

$U_3 = 5+10 \text{ В}$ - напруга збудження при неробочому ході/ Стандартні розміри проводу q_B , d_3 та d_3 . обирають з таблиці 3, яка наведена на прикладі розрахунку генератора.

При цьому: $\gamma > \gamma$

Число витків котушки збудження:

$$P_{2u_n}$$

$$|\varphi_{--}$$

$$93-/30$$

де $y_{30} = 0,9 + 1,5 \text{ A/мм}^2$ - щільність струму збудження при номінальній напрузі неробочого ходу генератора.

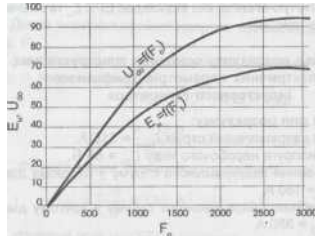


Рис. 6. Номограма визначення ЕРС E_n

Число витків в одному шарі котушки збудження:

$$w = \frac{10}{A_z} \text{ зш Ю5;}$$

Кінцева висота перетину котушки збудження, см:

$$\frac{0,105^{3 \cdot i}}{3 \cdot \text{ш}}$$

При цьому повинна виконуватись умова $L_{кз} < B_{\text{з}}$ Довжина витка котушки збудження, см:

$$= \pi (\sqrt{2z} - K_z - l)$$

Опір котушки збудження, приведений до робочої температури $\theta_{zn} \cdot 100^\circ\text{C}$, що відповідає номінальному режиму зварювання, Ом:

$$\frac{\sqrt{1 + 0,004(\theta - 15)}}{5700}$$

Струм збудження при номінальному режимі зварювання, А:

$$P_{p..} + K$$

$$I \ll -$$

$$W_3$$

де E_H - намагнічуюча сила, яка відповідає ЄРС E_H та визначається за номограмою (рис. 6).

2.3. Приклад розрахунку основних конструктивних та електричних параметрів трифазного індукторного генератора

Вихідні дані для розрахунку:

Номінальний зварювальний струм $I_{2ном} = 315$ А.

Номінальна напруга неробочого ходу $U_{20} = 65$ В.

Межі регулювання зварювального струму у першому діапазоні

$$I_{2min1} = 40 \text{ А}, I_{2max1} = 180 \text{ А}.$$

Межі регулювання зварювального струму у другому діапазоні $I_{2max2} = 160$ А,

$$I_{2max2} = 350 \text{ А}.$$

Межі регулювання напруги неробочого ходу у першому діапазоні струмів зварювання $U_{20min1} = 48$ В, $U_{20max1} = 66$ В.

Межі регулювання напруги неробочого ходу у другому діапазоні струмів зварювання $U_{20min2} = 55$ В, $U_{20max2} = 65$ В.

Відносна тривалість роботи при навантаженні, $T_H = 60\%$. Номінальна частота обертання, $n = 2000$ об/хв.

Число фаз генератора, $m = 3$.

Номінальна частота генератора, $f = 267$ Гц.

4. Індуктивний опір фази статора у другому діапазоні струмів зварювання при з'єднанні фаз у подвійний "трикутник", Ом:

$$-0,024 \cdot 315^2 = 0,237$$

де $\kappa_a = 3$ - коефіцієнт приведення опору фази еквівалентної "зірки" до опору фази дійсної схеми обмотки статора (при з'єднанні

фаз “зіркою” $\kappa_m = 1$, при з’єднанні “трикутником” $\kappa_{cx} = 3$); $\gamma = 0$ - кут комутації діодів силового випрямляча, рад.

$u_2 = 20 + 0,04 \cdot 315 = 32,6$ В - розрахункова напруга на дузі. $DC/d = 0,55$ В - спад напруги на діоді; r_2 - активний опір фази, Ом:

$$r_2 = 0,23 \cdot | - + 0,04 | = 0,024$$

$$2^{315})$$

2. Діюче значення лінійного струму, що відповідає номінальному режиму, А:

$$I_{Нл} = 0,75 \cdot 315 = 236$$

3. Діюче значення лінійної напруги, що відповідає номінальному режиму, В:

$U_{\{ / \kappa}$ - спад напруги на контактах та проводах, що з’єднують генератор із випрямлячем, В:

$$U_{\{ / \kappa} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 315 = 1,89;$$

$$U_{кл} = 0 + 2 \cdot 0,55 + 1,89 = 27.$$

4. Фазний струм та напруга у номінальному зварювальному режимі: об

$$I_{\kappa} = 136 \text{ А}; U_{\kappa} = U_{М.л} = 27 \text{ В}$$

5. Фазовий зсув між ЕРС і струмом:

$$\gamma = \arctan \frac{36 \cdot 0,237 + 27 \cdot 0,5}{(36 \cdot 0,024 + 27 \cdot 0,866)} = 60^\circ,$$

де $\gamma = 30^\circ$ - різниця фаз струму та напруги на затискачах генератора, обумовлена індуктивністю проводів, що з’єднують випрямляч з генератором.

6. ЕРС фази трифазних генераторів, В:

$$E_{\kappa} = 27 \cos(60^\circ - 30^\circ) + 136(0,024 \cos 60^\circ + 0,2378 \sin 60^\circ) = 53.$$

7. Число зубців у кожному пакеті ротора:

$$267 \cdot 60^\circ$$

$$2000$$

8. Число зубців у кожному пакеті статора:

$$r_1 = 2 \cdot 3 \cdot 8 = 48$$

Розрахунок основних розмірів генератора.

Для подальшого розрахунку необхідно заповнити таблицю 1.

Варіанти розрахунку конструктивних даних елементів статора

$8B_{cm}T$	0.06		0.07		0.07 0.8		0.08 0.8	
$(6B_{cm})^2 / (2\pi)$	0.16		0.19		0.22		0.16	
$\bullet 1\# = 35,1 \blacksquare$	208,		179,		156,		208,	
$L \cdot 10^8 = L_1 -$	6	4	5	3	5	3	5	4
$1 = 0.67 \bullet$	2	1	2	1	2	1	2	1
$2gA^2_2$	4	2	4	2	3	2	3	2
$\sigma_{is} = \Pi + 2/L + L$	5	2	5	2	4	2	4	2
$X =$	0.25	0.26	0.23	0.21	0.18	0.22	0.15	0.13
	0.25	0.26	0.23	0.21	0.18	0.22	0.15	0.13
№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8

Таблиця 5.4 (продовження)

У таблиці використані наступні позначення:

τ - проміжок між зубцями статора та ротора, см;

B_5 - індукція поля збудження у проміжку, Т;

$1L'_{к1}$ - число витків котушки статора;

$a_2 = 2$ - число паралельних гілок обмотки статора для другого діапазону зварювальних струмів;

γ_{τ} - змінна складова магнітної провідності проміжку під зубцем статора, Г/см;

l_{τ} - осьова довжина пакета статора, см;

τ_{τ} - зубцеве ділення статора, см;

O_{τ} - внутрішній діаметр статора, см;

O_{13} - зовнішній діаметр статора, см;

$(L_{31} + l_{\tau c1})$ - сума висот зубця та спинки статора, см. Визначається з таблиці 2.

X - індуктивний опір фази статора, Ом.

Найбільш прийнятним результатом слід вважати той, для якого приблизно виконуються умови: $X=X_2$ та $O_{\tau} = O_{13}$, тобто обираємо шостий варіант розрахунку з таблиці 1.

¹⁰Розміри паза та зубця статора (рис. 5).

Діаметр меншого півкола статора, см:

де $L_{ш} = 0,1$ см - висота шліца;

$\kappa = 3,5/3 = 1,2$ - відношення ширини зубця в середній частині до діаметру ⁴³⁹малого кола паза.

Діаметр більшого півкола статора, см:

$$D_{ш1} = \frac{2,4 + 0,76 \cdot \frac{48}{4} \cdot \frac{\pi}{8}}{\frac{4 \cdot \pi}{8}} = 1,02,$$

де $O_{ш1} = 135 - 8 - 10^2 / (6,75 \cdot 0,332 - 2) = 2,4 \text{ см}^2$ - площа перерізу паза

статора;

$U_{\tau} = 6,75 \text{ А/мм}^2$ - густина струму обмотки статора; $\kappa_3 = 0,332$ - коефіцієнт заповнення паза статора. Відстань між центрами півкола паза статора, см:

$B_{з1} = 1,61 - 0,35 = 1,26$, де $B_{ш} = 0,35$ см - ширина шліца паза статора;

$\{, = 1,61$. Ширина зубця статора в середній частині, см:

$$0,76 \text{ Д } _$$

$z_{1cp} \quad 48$

Висота зубця статора, см:

$$B_{з1} = OD + 0,5(1,02 + 0,76) + 1,9 = 2,9$$

11. Розміри елементів ротора.

Зовнішній діаметр ротора, см:

$$D_{23} = 0,25 = 24,5 - 2 \cdot 0,07 = 24,36 \text{ Зубцеве ділення ротора, см:}$$

Ширина (по дузі кола) зубця і паза ротора, см:

$$B_{з2} = 0,425 - 9,56 = 4,1; \quad \text{Ширина головки зубця статора, см:}$$

$$B_{п2} = 9,56 - 4,1 = 5,46 \text{ Висота зубця ротора, см:}$$

$$L_{з2} = 0,65 - 5,46 = 3,5 \text{ Висота спинки ротора } h_{с2} = 2,2 \text{ см.}$$

Внутрішній діаметр пакета ротора, см:

$$D_2 = 24,36 - 2(3,5 + 2,2) = 13$$

12. Розміри елементів обмотки статора та котушки збудження: Діаметр ізолюваного провідника обмотки статора, мм:

$$d_d = 10 \cdot (0,35 - 2 \cdot 0,055 - 0,12) = 1,2,$$

де $5_{пн} = 0,055$ см одностороння товщина пазової ізоляції;

$A = 0,12$ см - проміжок на проведення провідника через шліц у

паз.

[illegible]

Ширина перетину котушки збудження, см:

$$2243 \cdot 10^{-2} \text{ .}$$

$$B_{\text{н}} = 4,$$

$$\kappa^3 0,45 \quad -2,5 \cdot 5$$

де $\kappa_{33} = 0,45$ - коефіцієнт заповнення котушки збудження міддю; $Y_3 = 2,5 \text{ А/мм}^2$

- щільність струму в котушці збудження.

$I'_{\text{зи}} = 1120 + 1123 = 2243 \text{ А}$ - намагнічуюча сила обмотки збудження.

$F_0 = 1,6 \cdot 0,07 \cdot 0,8 \cdot 1,25 \cdot 10^4 = 1120 \text{ А}$, де $K_u = 1,25$ - коефіцієнт насичення магнітного кола.

Намагнічуюча сила реакції статора, А:

$$F_{\text{с}} = 0,7 \cdot 3 \cdot 1123 \cdot \frac{70,6 \cdot 10^8}{\sin W} \cdot 1,23 \text{ ,}$$

$$2 \quad 70,6 \cdot 10^8 \quad - 4,5 \cdot 10^8$$

Мінімальна питома магнітна провідність проміжку в межах кроку котушки статора, Г/см:

$$A_{\text{min}} = 4 \cdot 10^9 - 4,18 - \lg 1 + \dots = 4,5 \cdot 10^8$$

$$\{ 2 \cdot 0,07 + 5,46 - 3 - 1,61 \}$$

Максимальна питома магнітна провідність проміжку в межах кроку котушки статора, Г/см:

$$X_{\text{тах}} = 25,46 \cdot 10^8 + 2 \cdot 22,59 \cdot 10^8 = 70,6 \cdot 10^8$$

$$\text{де } X_6 = 4 \cdot 10^9 \cdot B_{21} + 4,8 \quad + \quad 11^{\wedge} 25,46 \cdot 10^8,$$

$$61 \quad [^{\circ} > 0,07 \quad V 2 \cdot 0,07 \quad JJ$$

$$2 \quad \begin{matrix} 2,09 \cdot 10^{-1} + \\ + 2,09 \cdot 10^{-1} + \\ 1,04 \cdot 10^{-1} + \end{matrix} \quad \begin{matrix} 0,35 \\ \blacksquare 0,07 \end{matrix} \cdot T \quad 2 \cdot 0,1$$

$$3 - \quad \underline{1,61 - 4,1 - 0,35} \cdot 2 - 0,07 \cdot I$$

$$z - \underline{0,35}$$

Середня довжина витка котушки збудження, см:

$$\epsilon'_3 = \pi(24,5 - 4,0 - 1) = 60$$

14. Розрахунок котушки збудження:

Площа перерізу проводу котушки збудження, мм²:

$$S_3 = \frac{P_{\text{н}}}{\eta \cdot U_3} \cdot \frac{60}{\pi \cdot I_3} = 2,44$$

$$5700 - 7,5$$

$$\frac{4,1 - 1,26 - 2 \cdot 0,35}{2}$$

де $P_{\text{н}} = 1100 \text{ А}$ - намагнічуюча сила, що відповідає номінальній напрузі неробочого ходу і визначається за номограмою (рис. 6)

$\theta_3 = 100^\circ\text{C}$ - температура нагріву котушки збудження; $U_3 = 7,5 \text{ В}$ - напруга збудження при неробочому ході.

Обраний стандартний провід марки ПСТВ з $S = 2,57 \text{ мм}^2$, $cI_3 = 1,81 \text{ мм}$ та $cI_{3l} = 1,93 \text{ мм}$ із таблиці 3.

Число витків котушки збудження:

$$1100$$

$$= 500, \quad \text{де}$$

$$2,57 \cdot 0,903$$

де $y_{30} = 0,903 \text{ А/мм}^2$ - щільність струму збудження при номінальній напрузі неробочого ходу генератора.

Число витків в одному шарі котушки збудження:

$$10 - 4$$

$$= 20$$

$$\frac{1,05 - 1,93}{2}$$

Кінцева висота перетину котушки збудження, см:

$$0,105 - 500 \cdot 1,93 \cdot$$

$$\eta = \frac{1}{2} = 5$$

^{кз} 20 При цьому повинна виконуватись умова $L_{кз} < L'_{ікз}$ 443

15. Довжина витка котушки збудження:

Оскільки кінцева висота перерізу котушки збудження дорівнює висоті, яка визначалась у п.13, то уточнювати середню довжину витка не потрібно, тобто $l_m = 60$ см.

Опір котушки збудження, приведений до робочої температури $t_{zn} = 100^\circ\text{C}$, що відповідає номінальному режиму зварювання, Ом:
$$= \frac{500 - 60[1 + 0,004(100 - 15)]}{5700 \cdot 2,57}$$

Струм збудження при номінальному режимі зварювання, А:
$$= 1680 + 1123 = 5,61,$$

де $\hat{e}_H = 1680$ - намагнічуюча сила, яка відповідає ЕРС E_H (рис. 6).

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров А. Г., Заруба И. И., Пиньковский И. В. Эксплуатация сварочного оборудования. - Киев: Будивельник, 1978. - 72 с.
2. Андреев В. В. Электрическая сварочная дуга и ее источники питания. - Киев: Наукова думка, 1983. - 67 с.
3. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977.
4. Белинский С. Н., Бельчук Б. А., Темкин Б. Я. Оборудование для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов. -Л. : Энергия, 1975. - 118 с.
5. Браткова О. Н. Источники питания сварочной дуги: Учебник. - М. : Высшая школа, 1982. - 182 с.
6. Браткова О. Н., Лепп В. Р. Источники питания для газoeлектрической сварки неплавящимся электродом. - М.: МВТУ, 1977. - 28 с.
7. Бункин П. Я., Донской А. В. , Многопостовые сварочные системы. - Л.: Судостроение. - 1985. -228 с.
8. Быховский Д. Г. Плазменная резка. Л. : Машиностроение, 1972. - 168 с.
9. Демянцевич В. П., Дулов С. И. Технология электрической дуговой сварки. - М.: Машгиз, 1959.
10. Дудко Д. А., Федотенков В. Г., Махлин Н. М. Тиристорные генераторы импульсов типа УПД - 1 //Автоматическая сварка . - 1980, N 6,61.-63 с.
11. Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н., Ленивкин В. А. Оборудование для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. М.: Энер- гоатомиздат, 1983. - 80 с.
12. Зайцев М. П., Кулешов О. М. Средства автоматизации в оборудовании для дуговой сварки. - Л.: Энергия, 1975. - 144 с.
13. Закс М. И. Сварочные выпрямители . - Л.: Энергоатомиз- дат, 1983. - 94 с.
14. Закс М. И., Кошелев П. А., Перевозник С. П. Новые сварочные источники питания. - Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. - 141 с.
15. Заруба И. И., Андреев В. В. Источники питания для сварки. - М. : Машиностроение, 1983. -42 с.
16. Заруба И. И., Дыменко И. И. Многопостовые источники питания для сварки

переменным током. Новые сварочные источники питания. - Киев ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. - 141 с.

17. Кобозев В. А., Коваленко В. В. Сварочные трансформаторы. - Ставрополь:, 1998. -277 с.

18. Лебедев В. К. Современные тенденции развития сварочных источников питания. Новые сварочные источники питания. - Киев, ИЭС им. Е. О. Патона. - 1992. - 141 с.

19. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. - М.: Машиностроение, 1970.

20. Макмак Н. И. Устройство для модулирования сварочного тока при помощи индуктивных накопителей энергии. Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук. - Киев, 1987. - 14 с.

21. Микроплазменная сварка /под редакцией акад. Б. Е. Патона. - Киев: Наукова думка, 1979. - 248 с.

22. Милютин В. С., Шанчуров С. М. Источники питания для сварки. - УПИ, 1987.

23. Милютин В. С., Коротков В. А. Источники питания для сварки. - Челябинск: Металлургия Урала, 1999. - 368 с.

24. Нестеров Б. З. Электросварочные генераторы повышенной частоты. - Л.: Энергия, 1978. - 120 с.

25. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие / Под редакцией Смирнова В. В. - Л.: Энергоатомиздат, 1986. - 656 с.

26. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. - М.: Машгиз, 1958. - 359 с.

27. Пащенко. Обладнання для газотермічного нанесення покриттів: Навч. посіб. - К.: І ВЦ «Політехніка», 2002. - 416 с.

28. Пентегов И. В., Латанский В. П., Склифос В. В. Малогабаритные источники питания с улучшенными энергетическими показателями. Новые сварочные источники питания. - Киев, ИЭС им. Е. О Патона, 1992. - 141 с.

29. Пентегов И. В., Мещеряк С. Н., Кучеренко В. А., Смирнов В. В., Закс М. И. Источники питания для дуговой сварки с использованием инверторов // Автоматическая сварка, 1982, N 7,29. - 34 с.

- ^{30.} Рабинович И. Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги. - М.: Машгиз, 1958. - 380 с.
- ^{31.} Розаренов Ю. Н. Оборудование для электрической сварки плавлением: Учебник. - М.: Машиностроение, 1987.
- ^{32.} Технология и оборудование сварки плавлением. /Под редакцией Никифорова Г. Д. М.: Машиностроение, 1978 - 327 с.
- ^{33.} Шейко П. П., Павшук В. М. Источник питания для импульс- но-дуговой сварки плавящимся электродом с плавным регулированием параметров. - Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. - 141 с.
- ^{34.} Шигаев Т. Г., Белый Н. Д., Нагайцев В. А. Источник питания для сварки переменным модулированным током. - Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. - 141 с.

Навчальне видання

ГОЛОШУБОВ Валеріан Іванович

ЗВАРЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Навчальний посібник

В авторській редакції

Редактор - Чвертко Є. П.

Технічний редактор - Демчук Т. М. Комп'ютерна верстка - Денисюк Л. П.

Коректори - Сидорук О. О., Алексєєва Н. А.

Підписано до друку 8.08.2005 р. Формат 60х84/16. Папір офсетний. Друк
офсетний. Гарнітура Arial. Ум. друк. арк. 26,04. Обл.-вид. арк. 28,74.

Зам. № 7530.

Видавництво “Арістей”

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 1066 від
27.09.2002 р.

02105, м. Київ, вул. Там пере, 13 Б т/ф (+38 044) 451-44-66 (багатоканальний)
aristey@optima.com.ua (комерційний відділ) aristey1@optima.com.ua (видавничий
відділ) [www, aristev.kiev. ua](http://www.aristev.kiev.ua)