

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

Методичні вказівки до самостійної роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 131 «Технічна механіка» за освітньою програмою «Технології та
устаткування зварювання»

Затверджено
на засіданні кафедри технологій
зварювання та будівництва,
протокол №1 від 24 січня 2024 р

ЧЕРНІГІВ 2024

Джерела живлення для зварювання. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньою програмою «Технології та устаткування зварювання» /Укл.: Болотов Г.П., Болотов М.Г.– Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 18 с.

Укладачі: Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор кафедри технологій зварювання та будівництва
Болотов Максим Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва

Відповідальний за випуск: Прибисько Ірина Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва

Рецензент: Ганєєв Тимур Рашитович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка»

Зміст

Вступ.....	4
1. Організація самостійної роботи.....	4
2. Загальні методичні вказівки	5
3. Робоча програма і методичні вказівки до вивчення тем курсу	6
3.1. Змістовий модуль 1. Основні характеристики зварювальних дуг та джерел живлення	6
3.1.1. Методичні вказівки	6
3.1.2. Питання до самоперевірки	7
3.2. Змістовий модуль 2. Зварювальні джерела живлення постійного і змінного струму	7
3.2.1. Методичні вказівки	8
3.2.2. Питання до самоперевірки	9
3.3. Змістовий модуль 3. Спеціалізовані зварювальні джерела живлення .	
3.3.1. Методичні вказівки	10
3.3.2. Питання до самоперевірки	10
4. Виконання розрахунково-графічної роботи	11
4.1. Методичні вказівки	11
4.2. Склад розрахунково-графічної роботи	12
5. Розрахункова частина	12
5.1. Порядок розрахунку зварювального трансформатора з рухомими обмотками	12
5.2. Розрахунок зварювального трансформатора з рухомим магнітним шунтом	15
5.3. Варіанти завдань на розрахунково-графічну роботу	16
5.4. Вибір варіанту завдання	17
Рекомендована література	18.

Вступ

Основний об'єм робіт, що виконуються на даний час у зварювальному виробництві, здійснюється за допомогою дугового зварювання. Якість цих робіт в значній мірі залежить від властивостей та характеристик джерел живлення, що застосовуються при зварюванні. Це пов'язано з тим, що джерело живлення та дуга утворюють єдину енергетичну систему, що впливає на характер та стабільність горіння дуги, плавлення металу та перенос його у зварювальну ванну.

Мета вивчення курсу «Джерела живлення для зварювання» - поширення та поглиблення підготовки спеціалістів зварювального виробництва в галузі техніки та технології зварювання на базі сучасного зварювального обладнання.

Стрімкий розвиток електротехніки, електроніки, обчислювальної техніки сприяє вдосконаленню існуючих та розробці нових джерел живлення для зварювання із покращеними технологічними властивостями, засобами автоматизації визначення та налагодження на необхідний режим зварювання, підтримання його або зміни за заданою програмою. Для успішного вивчення дисципліни необхідно знати принцип роботи основних електротехнічних апаратів – трансформаторів, генераторів, знати елементну базу електронних схем, що входять до складу зварювальних джерел живлення.

1 Організація самостійної роботи

Вивчення навчальної дисципліни складається з аудиторних занять (лекції та лабораторні роботи) та самостійної роботи студента. Кількість часу, що виділяється для цих видів робіт, визначається навчальним планом підготовки фахівців за напрямом "Зварювання" та навчальною програмою дисципліни "Зварювальні джерела живлення". Завдання до самостійної роботи видаються здобувачу викладачем під час аудиторних занять. На аудиторних заняттях та на консультаціях викладач контролює виконання поставлених завдань в процесі поточного контролю, під час захисту лабораторних та розрахунково-графічних робіт, а також допомагає здобувачу правильно організувати самостійну роботу.

Самостійну роботу необхідно розпочинати з початком семестру, що б виконати весь її обсяг та створити найбільш сприятливі умови наприкінці семестру для успішного складання семестрових заліків та екзаменів.

Для підвищення ефективності самостійної роботи необхідна її правильна організація, для чого доцільно розробити розпорядок дня після завершення аудиторних занять. Розпорядок дня варто складати на початку нового семестру. Розподіл часу на самостійну роботу з окремих дисциплін необхідно виконувати

з врахуванням завдань та строків їх виконання, що доводяться до здобувача викладачем на початку семестру. При плануванні самостійної роботи доцільно відводити стільки часу для виконання певного виду роботи, щоб його було достатньо для її завершення.

На результативність самостійної роботи в значній мірі впливає інтерес до матеріалу, що вивчається, зацікавленість у кінцевому результаті. Основними причинами відсутності інтересу є відсутність або обмеженість знань про предмет, нечітке уявлення про його значимість для формування фахівця.

Основна роль у навчальному процесі надається лекціям. Лектор допомагає студенту зрозуміти та засвоїти матеріал на самій лекції, вказує, над чим варто працювати в першу чергу, надає методичку вивчення дисципліни. Велику допомогу при засвоєнні лекційного матеріалу надає конспект, де своїми словами записуються основні моменти, за якими згодом буде легше відтворити матеріал, засвоєний на лекції. Якість конспекту має велике значення для якнайкращого засвоєння матеріалу. Охайний, осмислено написаний конспект зменшує витрати часу на повторювання матеріалу при підготовці до нової лекції та контрольних заходів (заліків, екзаменів, модульних контролів).

Теоретичний матеріал, що надається студентам на лекціях, закріплюється на практичних заняттях та лабораторних роботах. Лабораторні заняття дають наочне уявлення про явища та процеси. Експериментальні навички, що здобуваються в учбових лабораторіях є вкрай важливими для формування фахівця з даної галузі знань або спеціальності.

Готуватися до лабораторної роботи слід завчасно. До приходу в лабораторію студент повинен не тільки знати, що він буде робити, але й підготувати протокол зі схемами виконання експериментів, таблицями для запису результатів спостережень.

Для підвищення ефективності та продуктивності самостійної роботи необхідно враховувати також ергономічні фактори. Необхідно підтримувати порядок на своєму робочому місці. Для кожної речі повинне бути своє визначене місце. Освітлення повинне бути достатнім для зменшення втомлюваності очей.

2 Загальні методичні вказівки

При вивченні курсу «Джерела живлення для зварювання» студенти знайомляться з основними властивостями та характеристиками енергетичної системи «дуга – джерело живлення», із вимогами, які ця система пред'являє до зварювального джерела, з основними принципами побудови джерел та регулювання режиму їх роботи.

Матеріал курсу розглядається на прикладі джерел дугового зварювання як загальнопромислового призначення, що знайшли найбільше поширення, так і

спеціалізованих джерел для сучасних способів зварювання. Окрім проробки самостійно теоретичного матеріалу курсу необхідно також виконати письмову контрольну (розрахунково-графічну) роботу.

3 Робоча програма і методичні вказівки до самостійного вивчення тем курсу

3.1 Змістовий модуль 1

Основні характеристики зварювальних дуг та джерел живлення

Теми за навчальною програмою дисципліни:

- основні характеристики зварювальної дуги;
- характеристики системи «дуга – джерело живлення»;
- особливості горіння дуги змінного струму;
- дуги змінного струму у колі з активним та індуктивним опором;
- статична стійкість системи «дуга – джерело живлення»;
- принципи та способи формування зовнішніх характеристик джерел живлення;
- динамічні властивості джерел живлення;
- класифікація джерел живлення зварювальної дуги.

3.1.1 Методичні вказівки

Зварювальна дуга є водночас джерелом енергії та інструментом для реалізації процесу плавлення та утворення нероз'ємного з'єднання. При вивченні властивостей дуги необхідно звернути увагу на її склад, характеристики основних зон дуги. Вміти пояснити нелінійний вигляд статичної вольт-амперної характеристики дуги та його залежність від густини струму, розуміти поняття динамічного опору дуги та вміти визначати його за СВАХ дуги. Визначати, що розуміється під поняттями статичної та динамічної рівноваги системи «джерело живлення - дуги».

Основний обсяг робіт в зварюванні здійснюється на змінному струмі. Необхідно визначити основні проблеми, що виникають при горінні дуги змінного струму, до яких негативних наслідків для процесів у зварювальній ванні та у джерелі живлення вони призводять, яким чином можливо обмежити їх вплив. Знати основні способи усунення постійної складової зварювального струму.

Вміти виконати аналіз умов запалювання та горіння дуги при активному та індуктивному опорі короткого замикання джерела, пояснити способи підвищення стійкості горіння дуги в цих умовах.

Основною вимогою до системи «дуга - джерело живлення» є забезпечення її стійкості, тобто здатність сні повертатися у вихідний стан при дії збурюючих факторів. Необхідно вміти зробити загальний аналіз стійкості системи при зміні зварювального струму та довжини дуги. Розуміти поняття коефіцієнта стійкості системи та його величини, вміти обирати необхідну зовнішню характеристику джерела в залежності від динамічного опору дуги.

Зовнішня характеристика джерела живлення визначається обраним способом зварювання. Необхідно знати принципи формування зовнішніх характеристик та способи регулювання зварювального струму в джерелах живлення. Вміти охарактеризувати динамічні властивості джерел, знати основні вимоги до них та навести їх класифікацію.

3.1.2 Питання до самоперевірки

- надати поняття зварювальної дуги;
- які основні зони входять до складу зварювальної дуги;
- навести узагальнену статичну вольт-амперну характеристику дуги та пояснити її вигляд в залежності від довжини дуги та густини струму;
- пояснити причину нестійкого горіння дуги змінного струму та її вплив на процес зварювання;
- привести основні способи усунення постійної складової зварювального струму;
- пояснити способи підвищення стійкості горіння дуги змінного струму в колі з активним опором;
- пояснити, яким чином введення індуктивного опору в коло дуги сприяє підвищенню стійкості її горіння;
- проаналізувати стійкість системи «дуга - джерело живлення» при зміні струму дуги;
- здійснити аналіз стійкості системи при зміні довжини дуги;
- охарактеризувати сутність поняття еластичності дуги;
- навести поняття та основні принципи формування зовнішньої характеристики джерел живлення;
- навести способи формування зовнішньої характеристики джерел та способи регулювання зварювального струму;
- що розуміється під динамічною характеристикою джерела живлення;
- навести основні вимоги до джерел живлення;
- привести класифікацію та умовне позначення джерел живлення.

3.2 Змістовий модуль 2

Зварювальні джерела постійного і змінного струму

Теми за навчальною програмою дисципліни:

- зварювальні трансформатори;
- засоби керування режиму в зварювальних трансформаторах з механічним регулюванням;
- зварювальні трансформатори з електричним регулюванням;
- джерела живлення дуги постійним струмом;
- зварювальні випрямлячі із жорсткими зовнішніми характеристиками;
- зварювальні випрямлячі із падаючими зовнішніми характеристиками;
- багатопостові та універсальні зварювальні випрямлячі.

3.2.1 Методичні вказівки

Джерела змінного струму є самими масовими джерелами живлення дугового зварювання. Основним вузлом джерел змінного струму є однофазний зварювальний трансформатор.

При вивченні цього розділу необхідно звернути увагу на відмінність ідеального та реального трансформаторів, вміти охарактеризувати роботу зварювального трансформатора в режимі холостого ходу, навантаження та короткого замикання. Вміти побудувати та проаналізувати схему заміщення трансформатора. Знати основні електромагнітні схеми зварювальних трансформаторів, способи формування падаючої зовнішньої характеристики трансформатора та способи регулювання режиму зварювання.

Вміти навести конструкцію та електричну схему трансформаторів із нормальним магнітним розсіюванням та реактивними котушками в зварювальному колі, трансформаторів із рухомими обмотками, трансформаторів із рухомими магнітними шунтами, зі ступінчастою зміною магнітного зв'язку обмоток. Особливу увагу звернути на способи регулювання зварювального струму.

При вивченні зварювальних трансформаторів із електричним регулюванням звернути увагу на особливості схем регулювання режиму зварювання, способи підвищення стійкості горіння дуги.

Першими джерелами постійного струму для зварювання були зварювальні генератори. Необхідно знати загальний принцип роботи генераторів, мати уявлення про конструкцію та способи формування зовнішніх характеристик генераторів із незалежним збудженням та послідовною обмоткою в колі якоря, генераторів із самозбудженням. Знати способи регулювання режиму зварювання в генераторах.

Зварювальні випрямлячі – це статичні перетворювачі енергії мережі змінного струму в енергію випрямленого струму, що застосовується для

дугового зварювання. В залежності від способу зварювання застосовують випрямлячі із жорсткими (повільнопадаючими), або падаючими зовнішніми характеристиками. При вивченні зварювальних випрямлячів необхідно звернути увагу на конструктивні або схемні рішення формування необхідної зовнішньої характеристики випрямляча, способи регулювання режиму зварювання, способи стабілізації горіння дуги.

Багатопостові зварювальні випрямлячі призначені для одночасного живлення декількох зварювальних постів ручного дугового або механізованого зварювання. Необхідно відзначити основні вимоги до багато постових джерел живлення, знати, яким чином здійснюється регулювання режиму роботи зварювальних постів та забезпечується їх автономність, які схеми випрямлення застосовуються. Знати способи формування жорстких та падаючих характеристик в універсальних випрямлячах.

3.2.2 Питання до самоперевірки

- показати різницю між ідеальним та реальним трансформаторами;
- пояснити сутність коефіцієнту магнітного зв'язку в зварювальних трансформаторах;
- надати пояснення трансформаторів з нормальним та збільшеним магнітним розсіюванням;
- призначення та принципи побудови схеми заміщення зварювального трансформатора;
- навести основне рівняння роботи зварювального трансформатора;
- основні електромагнітні схеми зварювальних трансформаторів;
- способи формування зовнішньої характеристики та регулювання режиму в трансформаторах із нормальним магнітним розсіюванням та реактивними котушками в зварювальному колі;
- способи формування зовнішньої характеристики та регулювання режиму в трансформаторах із збільшеним магнітним розсіюванням;
- способи формування зовнішньої характеристики в зварювальних генераторах;
- способи регулювання режиму в зварювальних генераторах із незалежним збудженням і послідовною розмагнічуючою обмоткою;
- навести класифікацію зварювальних випрямлячів;
- охарактеризувати основні схеми випрямлення в зварювальних випрямлячах;
- пояснити, яким чином формується жорстка зовнішня характеристика в зварювальних випрямлячах;
- показати, як формується падаюча зовнішня характеристика в зварювальних випрямлячах;

- навести основні вимоги до багатопостових джерел живлення;
- показати, як формуються жорстка та падаюча характеристика в універсальних випрямлячах.
-

3.3 Змістовий модуль 3

Спеціалізовані зварювальні джерела живлення

Теми за навчальною програмою дисципліни:

- інверторні джерела живлення;
- джерела живлення для зварювання кольорових і тонких металів;
- допоміжні пристрої джерел живлення;
- джерела живлення плазмової дуги та імпульсно-дугового зварювання;
- послідовне та паралельне з'єднання джерел живлення.

3.3.1 Методичні вказівки

До спеціалізованих відносять джерела живлення дуги із технологічними властивостями, що забезпечують стійке горіння дуги і стабілізацію режиму зварювання на постійному і змінному струмі при ручному і механізованому зварюванні легких металів і сплавів, високолегованих сталей, тонких та особливо тонких металів.

Необхідно розглянути допоміжні пристрої джерел живлення, які забезпечують підвищення їх технологічних властивостей: осцилятори, імпульсні стабілізатори горіння дуги, регулятори зварювального струму, визначити їх призначення та основні схемні рішення. Прослідити їх застосування на прикладі установок для аргоно-дугового зварювання та джерел живлення для зварювання тонких металів. Уявити, яким чином створюється вертикальна зовнішня характеристика та забезпечується стабілізація зварювального струму в транзисторних джерелах живлення

Визначити основні переваги інверторних джерел живлення підвищеної частоти перед джерелами, що застосовують промислову частоту електричної мережі. Розглянути схеми мостових та напівмостових тиристорних та транзисторних інверторних джерел живлення, способи формування зовнішніх характеристик та регулювання режиму.

Уявити способи формування імпульсів струму в зварювальному колі при імпульсно-дуговому зварюванні із накопичення та без накопичення енергії в елементах випрямляча. Розглянути особливості схем джерел енергії для плазмового зварювання та різання, звернути увагу на вимоги до процесу запалювання дуги та виходу на робочий режим, необхідну форму зовнішньої характеристики джерел та способи її створення.

Визначити умови, при яких необхідно послідовне та паралельне з'єднання джерел живлення зварювальної дуги, уявити вимоги, за яких можливо здійснити таке з'єднання.

3.3.2 Питання до самоперевірки

- призначення та склад осциляторів;
- принцип роботи осцилятора паралельного вмикання;
- особливості вмикання імпульсних стабілізаторів горіння дуги;
- основні складові установок для аргоно-дугового зварювання;
- пояснити спосіб стабілізації зварювального струму в транзисторних джерелах живлення;
- основні вимоги до джерел живлення плазмової дуги;
- пояснити по схемі спосіб формування імпульсів струму в джерелах для імпульсно-дугового зварювання;
- вказати галузь застосування та спосіб послідовного з'єднання джерел живлення;
- привести основні вимоги до паралельного з'єднання зварювальних джерел живлення;
- паралельне з'єднання зварювальних трансформаторів.

4 Виконання розрахунково-графічної роботи

4.1 Загальні вказівки

Виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни "Зварювальні джерела живлення" призначено як для поглибленого вивчення теоретичного матеріалу з вказаної дисципліни, так і для надбання практичних навичок в визначенні основних параметрів зварювальних джерел живлення, використанні методик визначення їх електричних, енергетичних та геометричних характеристик.

На сучасному етапі основний об'єм робіт при дуговому зварюванні виконується на змінному зварювальному струмі. Змінний струм використовується при ручному зварюванні штучним електродом, при автоматичному дуговому зварюванні під флюсом та при аргонодуговому зварюванні легких сплавів.

Джерела змінного зварювального струму - самі масові джерела живлення зварювальної дуги. Основним вузлом джерел змінного струму є спеціальний, як правило, однофазний зварювальний трансформатор. По цьому основному вузлу джерела змінного струму називають просто зварювальними трансформаторами.

Трансформатор - електричний апарат, призначений для перетворення однієї змінної напруги в другу тієї ж частоти.

Трансформатор має дві (або більше) електрично не зв'язані між собою обмотки, розміщені на замкнутому сталевому магнітопроводі, як правило, стержневого типу. Для зменшення витрат на вихрові струми магнітопроводи виготовляють із листової електротехнічної сталі. В сучасних зварювальних трансформаторах використовується рулонна сталь марок Э-404, Э-405 товщиною 0,35мм та Э-414 товщиною 0,35 і 0,5мм із термостійким електроізоляційним покриттям.

При ручному дуговому зварюванні найбільш широко використовуються трансформатори з механічним регулюванням зварювального струму. До них відносяться трансформатори з рухомими обмотками та трансформатори з рухомими магнітними шунтами. Регулювання режиму в цих трансформаторах пов'язано зі зміною величини їх індуктивного опору. Підвищений індуктивний опір забезпечує падаючу зовнішню характеристику цих трансформаторів.

4.2 Склад розрахунково-графічної роботи

4.2.1 Розрахунково-графічна робота складається з титульного аркуша, завдання, пояснювальної записки.

4.2.2. Завдання на роботу оформлюється на окремому бланку та включає:

- прізвище, ім'я та по-батькові студента;
- номер варіанта завдання;
- вихідні дані до роботи;
- дату видачі завдання;
- строк здачі закінченої роботи.

4.2.3. Пояснювальна записка повинна мати всі розрахунки, необхідні для конструювання зварювального трансформатора згідно вихідних даних. В кінці пояснювальної записки наводиться перелік технічної літератури, що була використана під час виконання роботи.

5 Розрахункова частина

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

5.1 Порядок розрахунку зварювального трансформатора з рухомими обмотками

Регулювання режиму плавно-ступінчасте. В діапазоні великих струмів котушки первинної та вторинної обмоток з'єднані паралельно, в діапазоні малих струмів – послідовно.

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

$$X_{min} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{22}^2}}{I_{22}}, \quad X_{max} = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_{21}^2}}{I_{21}} \quad (1)$$

де U_{20} – напруга холостого ходу;

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

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

$$U_2 = 20 + 0,04I_2, \quad (2)$$

5.1.2 Кількість витків обмоток. В зварювальному трансформаторі вибір числа витків обмоток має принципове значення, так як витки визначають межі регулювання зварювального струму. Для вибору числа витків обмоток W_1 і W_2 рекомендовано користуватись емпіричною залежністю параметра E_w (у вольтах на один виток) від розрахункової потужності трансформатора - P_p (в кіловольт-амперах):

$$E_w = 0,55 + 0,095 P_p \quad (3)$$

Потужність трансформатора в кіловольт - амперах:

$$P_p = U_{20} I_{2ном} \sqrt{\frac{ПН}{100}} 10^{-3} \quad (4)$$

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

$ПН$ - протяжність навантаження, %.

Числа витків обмоток:

$$W = \frac{U_1}{E_w}, \quad W = \frac{U_{20}}{E_w} \quad (5)$$

5.1.3. Числа витків котушок.

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

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

5.1.4. Номінальний струм первинної обмотки в амперах:

$$I_{1\text{ном}} = \frac{I_{2\text{ном}}}{n} k_{\mu} \quad (6)$$

де - $k_{\mu} = 1,05 \dots 1,1$ - коефіцієнт, що враховує намагнічуючий струм трансформатора;
 n - коефіцієнт трансформації.

4.1.5. Переріз сталі осердя трансформатора у квадратних сантиметрах:

$$S_c = \frac{U_{20} 10^4}{4,44 f W_2 B_m} \quad (7)$$

де B_m - індукція в сердечнику, Тл

Для холодної сталі індукція складає $B_m = 1,6 \dots 1,7$ Тл.

5.1.6 Конструктивні розміри трансформатора. Розрахунок конструктивних розмірів проводиться для стержневого магнітопроводу, ескіз якого наведено на рисунку 1. Далі всі лінійні розміри дано в міліметрах, перерізи - в квадратних міліметрах.

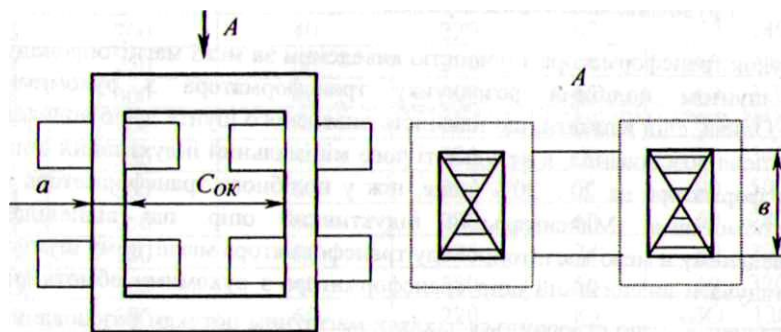


Рисунок 1 - До розрахунку геометричних розмірів трансформатора

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

$$a = \sqrt{\frac{S_c \cdot 10^2}{P_1 K_c}}, \quad C_{ок} = \frac{b}{P_2} \quad (8)$$

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

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

v – висота набору магнітопроводу.

Перерізи намотувальних дротів:

$$q_1 = \frac{I_{1ном}}{2J_1}, \quad q_2 = \frac{I_{2ном}}{2J_2}, \quad (9)$$

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

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

5.2 Розрахунок зварювального трансформатора з рухомим магнітним шунтом

Плавне регулювання струму в трансформаторі здійснюється переміщенням магнітного шунта. При повністю встановленому у вікно шунті магнітна проникність для потоку розсіювання та, відповідно, індуктивний опір трансформатора максимальні, зварювальний струм при цьому мінімальний. При висуненні шунта з вікна магнітопровода магнітна проникність зменшується і зварювальний струм зростає.

Розрахунок трансформатора з повністю виведеним за межі магнітопроводу магнітним шунтом подібний розрахунку трансформатора з рухомими обмотками, порядок розрахунку якого наведений у п.3.1. Однак, слід вважати, що наявність виведеного шунта дещо впливає на характер поля розсіювання, в результаті чого мінімальний індуктивний опір такого трансформатора на 20... 30% вище, ніж у подібного трансформатора з рухомими обмотками. Максимальний індуктивний опір, що відповідає повністю введеному в межі магнітопроводу трансформатора магнітному шунту, буде перевищувати аналогічний опір трансформатора з рухомими обмотками X_{max} на складову $X_{ш}$, що створюється завдяки магнітним потокам розсіювання через шунт:

$$X_{ш} = \frac{K_b \omega \mu_0 W_2^2}{2\delta} S_{ш}, \quad (10)$$

де $\hat{E}_A = 1,1$ - коефіцієнт, що враховує "випучування" магнітного потоку шунта;

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

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

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

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

5.3 Варіанти завдань на розрахунково-графічну роботу

5.3.1 Розрахувати кількість витків, індуктивний опір обмоток та площу перерізу намотувальних дротів зварювального трансформатора з рухомими обмотками при наступних даних:

Таблиця 5.3.1.- Вихідні дані

Варіант	Номінальний зварювальний струм $I_{2ном}$, А	Протяжність навантаження $ПН$, %	Первинна напруга U_1 , В	Напруга х.х., U_{20} , В	Межа регулювання зварювального струму ΔI , А
1	120	60	220	70	30...150
2	180	80	220	64	40... 200
3	200	40	220	62	50... 240
4	250	60	220	60	60... 280
5	300	60	380	65	60... 320
6	400	80	380	58	80... 450
7	500	40	380	60	90... 540
8	600	60	380	55	90... 600
9	250	60	220	68	60... 280
10	180	80	220	74	40... 200
11	300	40	380	66	60... 320
12	100	60	220	80	30... 120
13	400	80	380	56	80... 440
14	250	60	220	68	60... 280
15	300	40	380	60	60... 330
16	500	60	380	62	90... 540

5.3.2 Розрахувати кількість витків, індуктивний опір обмоток та площу перерізу намотувальних дротів зварювального трансформатора з рухомим магнітним шунтом при наступних вихідних даних:

Таблиця 5.3.2. Вихідні дані

Варіант	Номинальний зварювальний струм $I_{2ном}$, А	Протяжність навантаження $ПН$, %	Первинна напруга U_1 , В	Межа регулювання зварювального струму ΔI , А	Площа перерізу магнітопровода шунта $S_{ш}$, м ²
1	200	60	220	50...220	0.008
2	300	80	380	60...340	0.01
3	400	40	380	50...450	0.016
4	250	60	220	60...280	0.008
5	180	50	220	460...280	0.008
6	400	60	380	60...420	0.016
7	500	80	380	80...540	0.02
8	600	50	380	90...500	0.025
9	120	40	220	30...150	0.007
10	240	60	220	50...280	0.01
11	315	60	380	60...350	0.014
12	200	60	220	50...240	0.012
13	300	50	380	60...330	0.016
14	250	40	380	50...280	0.015
15	400	60	380	80...430	0.018
16	500	80	380	80...540	0.022

5.4. Вибір варіанту завдання

Варіант завдання вибирається з таблиць 5.3.1 та 5.3.2 згідно порядкового номера у списку групи за допомогою таблиці 5.4.1.

Таблиця 5.4.1 – Вибір варіанту завдання

Номер	1	2	3	4	5	6	7	8
Варіант	3.1.1	3.2.1	3.1.2	3.2.3	3.1.3	3.2.3	3.1.4	3.2.4

Продовження таблиці 5.4.1

Номер	9	10	11	12	13	14	15	16
-------	---	----	----	----	----	----	----	----

Варіант	3.1.5	3.2.5	3.1.6	3.2.6	3.1.7	3.2.7	3.1.8	3.2.8
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Продовження таблиці 5.4.1

Номер	17	18	19	20	21	22	23	24
Варіант	3.1.9	3.2.9	3.1.10	3.2.10	3.1.11	3.2.11	3.1.12	3.2.12

Продовження таблиці 5.4.1

Номер	25	26	27	28	29	30	31	32
Варіант	3.1.13	3.2.13	3.1.14	3.2.14	3.1.15	3.2.15	3.1.16	3.2.16

Рекомендована література

1. Болотов, Г. П. Джерела живлення для дугового та плазмового зварювання і різання : навч. посіб. [Електронний ресурс] / Г. П. Болотов, М. Г. Болотов. – Чернігів : РВВ ЧНТУ, 2017. – 178 с.
2. Драган С. В. Джерела живлення для зварювання плавленням : навч. посіб. для студ. вузів / С. В. Драган ; Укр. держ. морський техн. ун-т імені адм. Макарова. – Миколаїв : УДМТУ, 2002. – 320 с.
3. Повстень, В. О. Фізичні основи та джерела живлення зварювальної дуги: навч. посіб. / В. О. Повстень, Е. К. Посвятенко. – К. : Арістей, 2004. – 166 с.
4. Александров, О. Г. Проектування та експлуатація обладнання для дугового зварювання : навч. посіб. : рекомендовано МОН України / О. Г. Александров, Д. А. Антонюк. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 309 с.