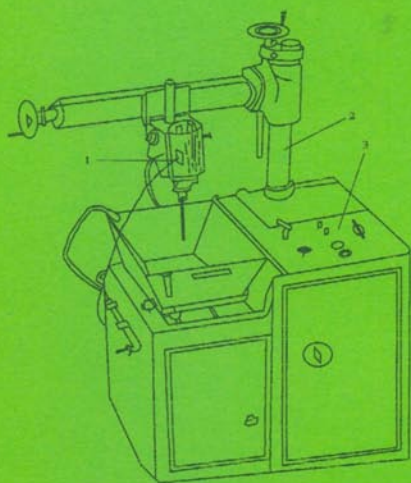


В. О. Милосердов

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ ТА ПРИСТРОЇ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. О. Милосердов

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ ТА ПРИСТРОЇ

Навчальний посібник

Вінниця
ВІТУ
2009

УДК [621.365+621.357] (075.8)

М 90

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 2.07.2007 р.)

Рецензенти:

В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор

Б. С. Рогальський, доктор технічних наук, професор

В. І. Нагул, кандидат технічних наук, доцент

Милосердов, В. О.

М 90 Електротехнологічні установки та пристрої : навчальний посібник / В. О. Милосердов. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 135 с.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціальності „Електротехнологічні системи електроспоживання”, які вивчають дисципліну „Електротехнологічні установки та пристрої”. Для самостійного вивчення дисципліни наведені методичні вказівки, запитання і завдання для самоконтролю. Зміст даного посібника спрямований на здобуття студентами знань під час практичної роботи.

УДК [621.365+621.357] (075.8)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Розділ 1. Теоретичний аспект дисципліни.....	6
1.1 Програма та методичні вказівки до самостійної роботи з вивчення дисципліни.....	6
1.2 Приклади задач для виконання контрольних робіт.....	21
1.3 Методичні вказівки до розв'язування завдань з контрольної роботи.....	27
1.4 Використання програмного середовища Mathcad при розв'язуванні задач у контрольних роботах.....	47
1.5 Тести для перевірки знань.....	48
Розділ 2. Практичний аспект дисципліни. Лабораторний практикум.....	62
2.1 Лабораторна робота № 1 “Зрівноваження і симетрування навантаження електричних печей”.....	62
2.1.1 Вступ.....	62
2.1.2 Зрівноваження навантаження електричних печей.....	62
2.1.3 Симетрування навантаження електричних печей.....	65
2.1.4 Порядок виконання лабораторної роботи.....	67
2.1.5 Вимоги до звіту.....	68
2.1.6 Приклад розрахунку та побудови векторних діаграм.....	68
2.1.7 Контрольні запитання.....	75
Література.....	75
2.2 Лабораторна робота № 2 “Визначення параметрів імпульсних розрядів електроерозійного верстата”.....	75
2.2.1 Вступ.....	75
2.2.2 Опис установки.....	76
2.2.3 Методичні вказівки.....	81
2.2.4 Порядок виконання лабораторної роботи.....	83
2.2.5 Вимоги до звіту.....	84
2.2.6 Контрольні запитання.....	88
Література.....	89
2.3 Лабораторна робота № 3 “Дослідження точкового контактного електрозварювання”.....	89
2.3.1 Вступ.....	89
2.3.2 Основні теоретичні відомості.....	89
2.3.3 Методика проведення лабораторної роботи.....	95
2.3.4 Порядок виконання лабораторної роботи.....	95
2.3.5 Вимоги до звіту.....	96
2.3.6 Контрольні запитання.....	96
Література.....	97
2.4 Лабораторна робота № 4 “Дослідження роботи автоматичного регулятора температурного режиму електричних печей опору”.....	102
2.4.1 Опис установки.....	102

2.4.2 Короткі теоретичні відомості про позиційний метод регулювання температури і робота схеми КСП-4 при двопозиційному регулюванні.....	105
2.4.3 Порядок виконання лабораторної роботи.....	109
2.4.4 Вимоги до звіту.....	109
2.4.5 Контрольні запитання.....	110
Література.....	110
2.5 Лабораторна робота №5 “Дослідження електричного режиму та побудова робочих характеристик дугової сталеплавильної печі, яка представлена її фізичною моделлю”.....	110
2.5.1 Опис фізичної моделі дугової сталеплавильної печі	
ФМДСП.....	110
2.5.2 Порядок виконання лабораторної роботи.....	111
2.5.3 Контрольні запитання.....	111
Література.....	113
2.6 Лабораторна робота №6 “Дослідження зовнішньої вольт-амперної характеристики зварювального агрегату”.....	113
2.6.1 Теоретичні відомості	114
2.6.2 Порядок виконання лабораторної роботи.....	117
2.6.3 Методичні вказівки.....	118
2.6.4 Вимоги до звіту.....	119
2.6.5 Контрольні запитання.....	119
Література.....	120
2.7 Лабораторна робота № 7 “Дослідження роботи установки високочастотного діелектричного нагріву (ВЧД)”.....	120
2.7.1 Теоретичні відомості.....	120
2.7.2 Порядок виконання лабораторної роботи.....	127
2.7.3 Приклад розрахунку потужності високочастотного генератора.....	127
2.7.4 Вимоги до звіту.....	128
2.7.5 Контрольні запитання.....	128
Література.....	129
ЛІТЕРАТУРА.....	132
Додаток А. Запитання для підготовки до іспиту.....	133

ВСТУП

Діяльність людей з початку ХХ століття нерозривно пов'язана з виробництвом та використанням електричної енергії. Значна частина електричної енергії в теперешній час використовується безпосередньо для технологічної обробки різних виробів. Відповідні технологічні процеси отримали назву **електротехнологічних процесів**. Прикладами цих процесів є такі напрямки в науці і техніці, як: електromеталургія чорних та кольорових металів; електротермія; електрозварювання; електричні методи розмірної обробки металів; електроліз; електрофарбування та багато інших.

Кожний з вищенаведених напрямків має державне значення, а їх стан визначає саму можливість існування на сучасному рівні провідних галузей промисловості: металургії, хімії, машинобудування, електроніки тощо. Тому широке впровадження електротехнологічних процесів в різні галузі промислового виробництва є безперечною умовою подальшого розвитку економіки нашої держави та переходу до кола промислово розвинутих країн. У всіх передових, в економічному плані, країнах світу спостерігається тенденція неухильного зростання споживання електричної енергії електротехнологічними установками, тобто тими, що створюють обладнання і пристрої на базі використання електротехнологічних процесів. В сьогоднішній промисловості біля 30% спожитої електричної енергії припадає на електротехнологічні установки. Тому для студентів спеціальності "Електротехнічні системи електроспоживання" актуальним є знання суті електротехнологічних процесів, відповідного обладнання, схем живлення, систем автоматизації та оптимізації режимів, які набули широкого застосування в багатьох галузях промислового виробництва.

Зміст даного посібника спрямований на отримання студентами знань під час практичної роботи в процесі виконання лабораторних робіт з цієї дисципліни. Наведена програма дисципліни, а також методичні рекомендації щодо вивчення окремих її розділів, дозволять студентам самостійно працювати над засвоєнням запропонованого матеріалу. Кожна окрема тема супроводжується переліком запитань, які дозволяють перевірити результати роботи над кожною окремою темою дисципліни.

Крім опису лабораторних робіт, в посібнику також представлені перелік запитань до екзамену, контрольні завдання, в тому числі, для студентів заочної форми навчання та методичні вказівки до їх виконання.

В написанні і постановці лабораторних робіт, крім автора, брали участь викладачі кафедри "Електротехнічні системи електроспоживання і енергетичного менеджменту" Аввакумов В.Г. і Терешкевич Л.Б.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ АСПЕКТ ДИСЦИПЛІНИ

1.1 Програма та методичні вказівки до самостійної роботи з вивчення дисципліни

Тема 1 Вступ

Поняття про електротехнологічні процеси. Застосування електротехнологічних процесів в промисловості та їх значення для створення матеріально-технічної бази сучасної економіки держави. Деякі історичні відомості щодо розвитку електротехнологічних процесів. Стан електротехнології в Україні і за кордоном. Актуальність широкого впровадження електротехнологічних процесів у виробництво. Питома вага споживання електроенергії електротехнологічними установками в загальному енергобалансі держави та її динаміка. Предмет і зміст дисципліни. Значення виробничої практики студентів в оволодінні знаннями з дисципліни.

Література: [1, 3]

Методичні вказівки При вивченні питань, які відносяться до вступу, треба спочатку чітко окреслити для себе предмет і зміст дисципліни, а також визначити місце, яке вона займає у підготовці інженерів-електриків. Важливим є усвідомлення того, що сучасні електротехнологічні процеси належать до передових технологій, які набувають широкого застосування як в розвинутих іноземних країнах, так і в нашій державі. Обов'язково треба звернути увагу на велику різноманітність методів прямого використання електроенергії для технологічних цілей.

Питання для самоконтролю:

1. Який зміст вкладається в термін “електротехнологічні процеси”?
2. В чому полягає доцільність прямого використання електроенергії в технологічних процесах?
3. Приведіть класифікацію електротехнологічних процесів.
4. Назвіть прізвища вчених, які внесли вагомий вклад у розвиток електротехнології.
5. За якими ознаками здійснюється ідентифікація різноманітних установок, що споживають електроенергію, і їх віднесення до електротехнологічних установок?
6. Які перспективи розвитку електротехнології?
7. Вкажіть приблизно питому вагу споживання електроенергії електротехнологічними установками в загальному енергобалансі держави.

Тема 2 Електричні печі опору

Матеріали, які використовуються при будівництві електричних печей

(вогнетривкі, теплоізоляційні, жаротривкі). Матеріали для нагрівальних елементів.

Конструкції печей опору непрямої дії. Плавильні і термічні печі періодичної і безупинної дії. Терморадіаційні сушильні установки. Печі з газовою атмосферою. Футеровка печей, механізми для транспортування виробів, що підлягають нагріву. Конструкції стрічкових і дротяних нагрівальних елементів. Електричні інфрачервоні і кварцові трубчаті випромінювачі, неметалеві стержневі нагрівачі, низькотемпературні випромінювачі.

Соляні печі-ванни. Установки прямого контактного нагріву. Розрахунок печей опору. Теплопередача теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням. Змішана теплопередача.

Енергетичний баланс печі. Визначення коефіцієнта корисної дії і питомих витрат електроенергії. Заходи щодо економії електроенергії і підвищення продуктивності печей.

Елементи електричного обладнання печей опору. Приклади електричних схем печей опору живлення і керування. Автоматизація роботи електричних печей. Вимірювання і регулювання температури.

Література: [1, 2, 3, 4, 5, 9]

Методичні вказівки При вивченні цієї теми треба звернути увагу на спосіб, яким електрична енергія перетворюється в теплову, яка, в свою чергу, використовується для нагрівання виробів. Треба ознайомитись з різноманітністю конструкцій печей опору, а також їх технологічними перевагами, у порівнянні з іншими способами нагрівання для термічної обробки. Пропонується ознайомитись і з матеріалами, які використовуються при будівництві електричних печей.

Особливу увагу треба звернути на електрообладнання печей опору та автоматизацію їх режиму. Керування режимом роботи цих печей здійснюється за допомогою пристроїв температурного контролю та спеціальних терморегуляторів. При вивченні питання розрахування печей опору, треба обмежитись тепловим розрахуванням, а також розрахуванням параметрів нагрівальних елементів печей опору.

Питання для самоконтролю:

1. Приведіть найменування основних теплоізоляційних та вогнетривких матеріалів, що використовуються при будівництві електричних печей.
2. Які жаротривкі матеріали використовуються в будівництві печей?
3. Які матеріали використовуються для виготовлення нагрівальних елементів? Назвіть ті особливі властивості, які повинні мати ці матеріали.

4. Яким вимогам повинні відповідати вогнетривкі, жаротривкі і теплоізоляційні матеріали?
5. Які існують конструкції нагрівальних елементів та способи їх розміщення в робочому просторі печі?
6. Які види теплопередачі є в печах опору?
7. Дайте характеристику конструктивним особливостям та перевагам печей опору неперервної дії у порівнянні з печами періодичної дії.
8. Приведіть перелік конструкцій печей періодичної дії та галузі їх застосування.
9. Охарактеризуйте галузь застосування високотемпературних печей опору.
10. В чому полягають особливості печей опору прямого нагріву? В яких технологічних процесах вони застосовуються?
11. Які фізичні принципи покладені в основу різних методів вимірювання температури в електричних печах?
12. Охарактеризуйте принцип дії електричного термометра опору та схеми вимірювачів, в яких він використовується, як датчик температури.
13. В чому полягають переваги і недоліки вимірювання температури за допомогою термометрів опору?
14. Який принцип дії термопар?
15. З яких сплавів виготовляються термопар? Приведіть типи найбільш розповсюджених термопар.
16. В чому полягає принцип компенсаційного методу вимірювання температури?
17. Приведіть принципову схему потенціометра.
18. Яку безперечну перевагу має компенсаційний метод вимірювання температури у порівнянні з іншими методами?
19. Охарактеризуйте принцип дії радіаційних, оптичних, кольорових і фотоелектричних пірометрів. Приведіть можливі галузі їх застосування для вимірювання температури в різних електротермічних установках.
20. Поясніть роботу принципової схеми двопозиційного регулювання температури.
21. В чому полягає принцип дії ділатометричного регулятора?
22. Поясніть принцип дії електронного потенціометра.
23. Які можливі шляхи підвищення продуктивності електропечей опору та зниження технологічних витрат електроенергії?

Тема 3 Установки індукційного та діелектричного нагрівання
Фізичні основи індукційного нагрівання. Індукційні печі зі сталевими осердями (каналні індукційні печі). Печі з горизонтальними і

вертикальними каналами. Динамічні і теплові ефекти в ванні індукційної печі.

Електричне обладнання і схема живлення печі. Технологія плавлення алюмінію і його сплавів. Енергетичний баланс печі і питомі витрати електроенергії. Індукційні високочастотні плавильні печі. Конструкція індукційної печі: індуктор та його охолодження, механізм нахилу, струмопровід, джерела живлення, конденсатори. Електричне обладнання і схеми керування індукційними печами. Питомі витрати електроенергії. Сучасні типи високочастотних печей. Крізне нагрівання під ковку, штампування і прокатку. Лампові генератори високої частоти. Принцип дії і типові схеми. Пристрої і установки для поверхневого загартовування. Приклади автоматизації процесу нагрівання під загартовування в серійному і масовому виробництві. Діелектричний нагрів та приклади його використання в промисловості. Типові установки і джерела живлення.

Література: [1, 3, 10]

Методичні вказівки При вивченні цієї теми спочатку необхідно зрозуміти загальний принцип дії індукційної печі з залізним осердям. Треба звернути увагу на відмінності конструкцій індукційних печей з відкритим та закритим плавильним каналом. Також треба визначити переваги і недоліки індукційних печей з залізним осердям.

Дуже важливим є з'ясування складу електричного обладнання, яке застосовується у схемах живлення індукційних печей, ознайомлення з типовими схемами живлення, а також з енергетичним балансом печі.

Окремої уваги потребує вивчення теорії індукційного нагрівання в печах без залізного осердя (тигельні індукційні печі). Треба запам'ятати формулу глибини проникнення електричного струму в металеве тіло, а також, як впливає на цю величину частота струму, опір індуктора та шихти. Треба вміти розраховувати потужність генератора та ємність конденсаторів пічної установки.

Установки високої частоти, що використовуються для поверхневого гартування і діелектричного нагрівання, отримують живлення від лампових генераторів. Природа перетворення електричної енергії в теплову в індукційних установках та установках діелектричного нагріву принципово відрізняється. Треба на цю обставину звернути особливу увагу. Наприкінці треба ознайомитись з типовими схемами установок високої частоти, ламповими генераторами високої частоти та принципом їх дії.

Питання для самоконтролю:

1. Поясніть фізичні основи індукційного і діелектричного нагріву.
2. Охарактеризуйте принцип дії електричних індукційних печей з залізним осердям.

3. Які електродинамічні явища виникають в електричних печах з відкритим каналом? В чому полягає їх негативне і позитивне значення?
4. Яка галузь застосування індукційних печей з залізним осердям та з закритим каналом?
5. Приведіть перелік електрообладнання індукційних печей.
6. Які переваги та недоліки мають індукційні печі?
7. Поясніть принцип дії індукційних печей без осердя.
8. Яка галузь застосування індукційних печей без залізного осердя? Які переваги і недоліки мають ці установки у порівнянні з канальними індукційними печами?
9. Приведіть основні формули індукційного нагрівання в установках без залізного осердя.
10. Приведіть схему живлення індукційної установки.
11. Охарактеризуйте височастотні генератори, які застосовуються для живлення тигельних індукційних печей.
12. В чому полягає принципова відмінність індукційних установок для поверхневого гартування від індукційних печей, які застосовуються для плавлення металів?
13. Приведіть відмінності, які повинні бути властиві установкам для кризного нагрівання під ковку та штампування.
14. Поясніть принцип роботи одноконтурного лампового генератора.
15. Поясніть принцип дії та галузь застосування установок діелектричного нагрівання.
16. На яку потужність і частоту розраховуються та виготовляються перетворювачі частоти різних типів?
17. Поясніть роботу схем одно контурного та двоконтурного генератора діелектричного нагрівання.
18. Яка економічна ефективність індукційних і діелектричних установок?

Тема 4 Дугові та руднотермічні електричні печі

Електричне плавлення легованих сталей, кольорових металів та рафінованих чавунів. Сталеплавильні печі, їх конструкції та історія розвитку. Електроди та електродотримачі. Водоохолодження печі. Дугові сталеплавильні печі (ДСП) мають механізоване завантаження та поділяються на печі з пересувним порталом, з пересувною ванною та поворотним зводом. Конструкції та принцип роботи руднотермічних печей. Плавлення феросплавів та конструкції феросплавних печей. Печі для плавлення карбіду кальцію, фосфору, алунду та карборунду. Установки для шлакового переплавлення. Коливальні печі для плавлення кольорових металів.

Електрична схема комутування та електрообладнання дугових сталеплавильних печей. Вимірювальна, захисна та комутувальна апаратура. Коротка мережа. Автоматичні регулятори режиму роботи печей. Електричний та тепловий баланс дугової печі. Побудова кругової діаграми та робочих характеристик. Заходи щодо покращення техніко-економічних показників при експлуатації печей: підвищення продуктивності, зниження питомих витрат електроенергії тощо.

Література: [1, 3, 6, 8, 18]

Методичні вказівки Рекомендується розпочати вивчення цієї теми з теорії виникнення та горіння електричної дуги. Далі розглядається класифікація дугових та руднотермічних печей, яка ґрунтується на принципах перетворення електричної енергії в теплову. Далі треба перейти до вивчення конструкцій сучасних дугових сталеплавильних печей і їх основних конструктивних елементів. Після цього здійснюється вивчення типових схем живлення ДСП, електрообладнання та його особливостей. При цьому звертається увага на специфічні особливості пічних трансформаторів, масляних, вакуумних та повітряних вимикачів, реакторів, релейний захист тощо. Окремо розглядаються питання автоматичного регулювання положення електродів дугових печей.

При розгляді руднотермічних печей вивчаються конструкції печей для виплавки феросиліцію та карбіду бору. Студенти повинні також ознайомитись зі схемами живлення та відповідним високовольним електрообладнанням. Окрему групу руднотермічних печей представляють вакуумні дугові печі, при вивченні яких треба звернути увагу не тільки на відмінності технологічного процесу і живлення постійним струмом, а також на відмінності електрообладнання та релейного захисту.

Питання для самоконтролю:

1. Які основні умови виникнення дуги постійного струму?
2. Як змінюється спад напруги в міждуговому проміжку?
3. Що таке катодний та анодний простір?
4. Від чого залежить спад напруги в катодному і анодному просторах?
5. Який вигляд має статична вольт-амперна характеристика дуги?
6. Динамічна характеристика дуги змінного струму.
7. Умова стійкості горіння дуги постійного струму.
8. В чому полягає головна умова неперервності горіння дуги змінного струму?
9. Приведіть класифікацію дугових та руднотермічних печей.
10. Які існують конструкції ДСП і чим вони відрізняються між собою?
11. Назвіть основні елементи конструкції ДСП з поворотним зводом.

12. Яка потужність пічного трансформатора ДСП ємністю 200 Т і яка приблизно величина струму в короткій мережі пічного трансформатора?
13. В чому полягає особливість конструкції кабелів і шин короткої мережі пічного трансформатора ДСП і з чим вона пов'язана?
14. Які типи високовольтних вимикачів можуть використовуватись в схемах живлення ДСП?
15. Яке призначення в схемі живлення ДСП масляного реактора?
16. З якою метою передбачається шунтування реактора в схемі живлення ДСП високовольтним вимикачем?
17. Які види релейного захисту передбачені в схемі живлення ДСП?
18. Що вважається експлуатаційними короткими замиканнями і чому вони виникають?
19. Який технологічний етап виплавлення сталі є найбільш важким для електрообладнання ДСП?
20. Як здійснюється електромагнітне перемішування металу?
21. З якою метою будується кругова діаграма ДСП?
22. Які характеристики мають назву "електричні характеристики" ДСП?
23. Чим відрізняються робочі характеристики ДСП від електричних характеристик?
24. Як обирається оптимальна величина струму електричної дуги ДСП під час розплавлення металу?
25. Приведіть однолінійну схему живлення ДСП.
26. Які типи регуляторів можуть використовуватись в системі автоматичного керування електричного режиму ДСП?
27. Приведіть технологічні особливості руднотермічних печей.
28. Конструкції феросплавних печей, їх переваги і недоліки.
29. Які матеріали отримують в руднотермічних печах блок- процесом?
30. Охарактеризуйте електрообладнання і схеми живлення руднотермічних печей.
31. В чому полягає позитивна якість вакуумних печей?
32. Яким струмом (постійним чи змінним) здійснюється живлення вакуумних печей?
33. Які передбачаються запобіжні заходи для відвернення небезпеки виникнення бокової дуги і, як наслідок, пропалювання тигля?
34. Назвіть заходи, які будуть сприяти раціональній експлуатації дугових та руднотермічних печей.

Тема 4 Установки електричного зварювання

Електричне дугове зварювання. Властивості зварювальної дуги постійного і змінного струму. Характеристики електричної дуги. Особливості горіння дуги при зварюванні металевим та вугільним електродом. Статична і динамічна характеристики зварювальних генераторів постійного струму та зв'язок між ними. Генератори електричного зварювання поперечного поля з самозбудженням та з розщепленими полюсами.

Багатопостові генератори для електричного зварювання. Зварювальний випрямляч. Застосування осциляторів. Автоматичне зварювання під шаром флюсу. Газоелектричне зварювання. Дугові зварювальні автомати. Застосування для зварювання плазмових установок.

Електричне контактне зварювання. Теоретичні основи контактного зварювання. Електричний опір контакту. Загальний опір при точковому зварюванні. Рівняння балансу тепла при точковому і стиковому зварюванні. Особливості режимів зварювання вуглецевих та легованих сталей, легких та кольорових сплавів.

Повторно-короткочасний режим роботи, короткочасна і тривала потужності контактних машин. Конструктивні особливості трансформаторів для зварювальних машин. Способи регулювання потужності і електричні схеми трансформаторів.

Спеціальні види зварювання: конденсаторне, зварювання накопиченою енергією магнітного поля, низькочастотне, ультразвукове. Машини для точкового, шовного та стикового зварювання. Кінематичні схеми машин контактного електричного зварювання та конструкції основних вузлів. Апаратура керування: реле, контактори асинхронні та синхронні, ігнітронні перервачі.

Електричні схеми керування зварювальними машинами. Автоматизація зварювального виробництва в машинобудуванні: зварювальні автомати, багатоточкові зварювальні машини, автоматичні лінії.

Література: [1, 10, 15, 16, 17]

Методичні вказівки Сучасне електрозварювальне виробництво пов'язане з дослідженням та впровадженням нових способів з'єднання металів, а також з розробкою нових джерел живлення для зварювання. Розробляються способи зварювання з використанням таких джерел нагрівання, як дугова плазма, формування електронних та іонних пучків, ультразвуку тощо.

При вивченні цієї теми треба спочатку усвідомити галузь застосування та способи електродугового зварювання. Більш детальному вивченню в цій темі підлягають два питання: електрообладнання та

автоматизація дугового зварювання. Пропонується звернути увагу на специфічні особливості електричної зварювальної дуги, запалювання зварювальної дуги, а також на саморегулювання електричної дуги при зварюванні металевим електродом. Ці особливості електричної дуги створюють певні вимоги, що ставляться до однопостових джерел живлення електричного зварювання. При вивченні джерел живлення звертається увага на особливості конструкцій та електричні схеми зварювальних генераторів і трансформаторів.

Вивчення контактного зварювання треба розпочати з класифікації та визначення відмінностей між різними видами контактного зварювання. Звертається увага на способи налагодження режиму контактного зварювання, з'ясовуються відмінності між автоматичним керуванням та дозуванням енергії контакторами.

Питання для самоконтролю:

1. Назвіть галузі застосування різних видів електричного зварювання.
2. В чому полягають переваги автоматичного зварювання під шаром флюсу?
3. В чому полягає принцип саморегулювання дуги при плавленні металевим електродом?
4. Поясніть принцип роботи однопостових зварювальних агрегатів.
5. Які переваги мають напівпровідникові зварювальні перетворювачі?
6. Назвіть вимоги, що ставляться до однопостових джерел зварювального струму.
7. Які Вам відомі конструкції зварювальних трансформаторів?
8. Які зварювальні трансформатори виготовляються в однокорпусному виконанні, а які в двокорпусному?
9. Поясніть принцип роботи зварювального трансформатора з Окремим дроселем, з магнітним шунтом та пересувними обмотками.
10. Які Вам відомі конструкції зварювальних генераторів?
11. Поясніть принцип роботи зварювального генератора з обмоткою розмагнічення.
12. Поясніть принцип роботи генератора з розщепленими полюсами.
13. Як здійснюється регулювання зварювального струму в генераторі з розщепленими полюсами?
14. Приведіть спрощену електричну схему зварювального випрямляча.
15. Приведіть схему живлення осцилятора. В чому полягає принцип його дії?

16. Назвіть спеціальні види зварювання.
17. Чим відрізняються між собою машини точкового та роликового зварювання?
18. В чому полягає відмінність між стиковим зварюванням за рахунок опору та тиску?
19. Назвіть типи машин контактного зварювання.
20. Які особливості машин змінного струму, низькочастотних, конденсаторних і машин постійного струму, що застосовуються при контактному зварюванні?
21. Поясніть принцип дії ігнітронного і напівпровідникового контактора.
22. Як працює електронне реле часу, яке застосовується при контактному зварюванні?
23. Які технологічні можливості зварювання виникають при застосуванні контактних машин з акумулюванням енергії?
24. Які методи накопичення енергії застосовують в сьогоденні при здійсненні контактного зварювання?

Тема 6 Установки для електричної обробки металів

Загальні відомості про фізику процесів електричної обробки металів. Параметри імпульсних розрядів. Полярність електричної ерозії. Електроерозійна оброблюваність. Продуктивність обробки і якість оброблюваної поверхні.

Електричні схеми, конструкції і марки генераторів імпульсів: генератори RC, RLC, LC, машинні генератори МІГ та МПІ, високочастотні генератори. Автоматичні регулятори подачі електродів-інструментів: електромагнітний, електромашинний, електронний, магнітонапівпровідниковий. Приклади схем найбільш розповсюджених типів регуляторів.

Режим роботи: грубий, середній та доводочний. Електричні параметри цих режимів. Робоче середовище: олія, гас тощо. Приклади електроерозійної обробки: обробка порожнин та отворів, електроерозійне шліфування, електроерозійне розрізування тощо. Прецизійні роботи, що виконуються електроерозійною обробкою. Характеристика матеріалів, з яких виготовляються електроди-інструменти. Електроерозійне устаткування. Енергетичні показники та техніко-економічні переваги електроерозійної обробки металів.

Короткі відомості про електрохімічні методи обробки металів та відповідне обладнання. Перспективи розвитку електричних методів обробки металів. Правила електричної та пожежної безпеки при роботі на електроерозійних установках.

Література: [1, 13, 14, 18]

Методичні вказівки Електрична обробка металів вигідно відрізняється від інших методів обробки матеріалів тим, що швидкість, якість та продуктивність обробки практично не залежать від властивостей матеріалу. При застосуванні цього виду обробки металів не виникає потреби у застосуванні в спеціальних інструментах матеріалів більш твердих ніж той, який підлягає обробці. Значно скорочуються витрати матеріалів при високій точності їх виготовлення. Навіть ці неповні перелічені переваги електричної обробки металів переконують у актуальності їх застосування та доцільності уважного вивчення заданої теми.

В цій темі треба ознайомитись з трьома видами електричної обробки матеріалів: електроерозійною, електрохімічною та анодно-механічною. По-перше, потребує уваги ознайомлення із закономірностями процесів електричної обробки металів та середовищами, в яких здійснюється процес обробки. На конкретних прикладах розглядаються операції, обладнання та оснастка відповідного устаткування.

Розрізняють такі види електроерозійної обробки: електроіскровий, електроімпульсний та високочастотний. Потребує розуміння відмінностей цих видів обробки між собою, їх режимами, продуктивністю і тими інструментами, які застосовуються. Обладнання для електроерозійної обробки може бути стаціонарним або переносним. Імпульсні розряди можуть формуватись за допомогою релаксаційних схем, електронних генераторів і електромашинних генераторів імпульсів та інших пристроїв.

Теоретичний матеріал цієї теми закріплюється студентами при виконанні лабораторної роботи на тему: "Електроерозійне оброблення металів. Визначення параметрів імпульсних розрядів електроерозійного верстата".

Питання для самоконтролю:

1. В чому полягають фізичні основи електроерозійного оброблення металів?
2. Класифікація електроерозійної обробки на електроіскрову і електроімпульсну, їх відмінність між собою.
3. Приведіть приклади застосування електроерозійного оброблення в технологічних процесах.
4. Які робочі середовища використовуються при електроерозійній обробці?
5. В чому полягають особливості високочастотної електроерозійної обробки?
6. Приведіть схеми релаксаційних генераторів імпульсів і поясніть принцип їх роботи.

7. Поясніть принцип роботи електромашинних генераторів імпульсів.
8. Поясніть фізичний зміст процесів, на яких ґрунтуються методи електрохімічної обробки.
9. Назвіть особливості електрохімічної обробки.
10. Поясніть особливості анодно-хімічної обробки та галузь її застосування.

Тема 7 Електролізні установки

Аналіз фізичних і хімічних процесів, які супроводжують проходження струму крізь електроліти. Промислове застосування електролізу. Характеристика електрохімічних процесів в металургії. Електроліз алюмінію. Конструктивна будова та електрообладнання електролізерів. Джерела живлення та перетворювальні підстанції електролізних установок.

Використання електролізу в машинобудуванні. Створення металопокриттів, електрохімічне полірування, анодування, формоутворення тощо.

Зміст та приклади практичного застосування цих технологічних процесів. Електрообладнання та електричні схеми живлення електролізних установок для нанесення металопокриттів. Параметри процесів та режими. Правила безпеки при експлуатації.

Література: [1, 10, 11, 18]

Методичні вказівки В поняття електролізу вкладається сукупність електрохімічних процесів, які супроводжують проходження струму крізь електроліти. В основі електролізу знаходиться принцип анодного розчинення металу у водних розчинах солі. Промислове використання електролізу охоплює електрохімічні процеси як в металургії, так і в машинобудуванні.

Базовим законом електролізу є закон Фарадея, що визначає кількість речовини, яка утворилася на електроді з електроліту в результаті проходження електричного струму. При вивченні цих питань треба ознайомитись з електролізом міді, цинку і алюмінію, а також звернути увагу на принципові відмінності цих процесів між собою.

Джерела живлення електролізних установок це сукупність понижувальних трансформаторів з розщепленими обмотками та блоків силових напівпровідникових вентилів, схеми увімкнення яких можуть бути різними. Перетворювальні підстанції електролізних установок на вторинній стороні мають напругу до 100 В і струм до 50 кА.

Електролізні процеси дуже широко застосовуються в машинобудуванні. Одним з таких процесів є електролізне полірування, яке є прогресивним методом обробки поверхні металу та полягає у розчиненні всіх виступів рельєфу металу.

В основі електрохімічного нанесення металів на поверхню виробів (гальваностегії) є утворення металевого осадку на цій поверхні для підвищення механічної та корозійної стійкості, а також надання більш естетичного вигляду. Електрохімічне формування (гальванопластика) це процес нанесення металевого осадку на металеві та неметалеві вироби для виготовлення штампів. Електрохімічне анодування (оксидування) пов'язане з отриманням окисних плівок на поверхні металевих виробів з метою захисту від корозії.

Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте фізичні і хімічні основи процесу електролізу.
2. Приведіть формулювання закону Фарадея.
3. Як визначається кількість виходу металу за струмом і енергією при електролізі?
4. Приведіть класифікацію методів використання електролізу в промисловості.
5. Як здійснюється електроліз міді? В чому особливості цього процесу?
6. В чому полягає суть гідрометалургійного методу отримання цинку?
7. Як здійснюється електроліз алюмінію?
8. Приведіть конструкцію ванни для електролізу міді, а також схему з'єднання цих ванн у блоки та серії.
9. Приведіть розріз ванни для електролізу алюмінію.
10. Приведіть електричну схему живлення електролізних установок для виробництва міді.
11. Назвіть типи джерел живлення електролізних установок та дайте їх характеристику.
12. Поясніть суть методу електрохімічного нанесення металопокриття.
13. В чому полягає принцип електрохімічного анодування (оксидування) металів?

Тема 8 Ультразвукові установки

Загальні відомості про звукові та ультразвукові коливання. Інтенсивність звукових коливань. Значення ультразвуку в інтенсифікації виробничих процесів. Магнітострикційні перетворювачі та концентратори. Конструкції та технічні характеристики різних перетворювачів. Джерела живлення ультразвукових установок. Технічні характеристики та електричні схеми генераторів УЗГ-10М, УЗН-10, УЗГ-2,5. Приклади технологічного використання ультразвуку в машинобудуванні: очищення, знежирювання, миття деталей, механічна обробка твердих сплавів та крихких матеріалів.

Конструкція та технічна характеристика—ультразвукового крізного станка.

Ультразвукове зварювання. Приклади використання ультразвуку при контактному та стиковому зварюванні. Конструкція та технічна характеристика зварювальної ультразвукової установки УЗСМ-1. Ультразвукова дефектоскопія та контроль в машинобудуванні: контроль зварювальних з'єднань; контроль дефектів в ковальських поковках та ливарних виробах, вимірювання товщини декоративних лакофарбових покриттів, контроль якості наклеювання тощо. Ультразвукові, резонансні та імпульсні дефектоскопи.

Література: [1, 10, 11, 18]

Методичні вказівки Ультразвукові технологічні процеси та операції здійснюються на основі різних видів енергій за допомогою механічних пружних коливань частотою вище 16-18 кГц. В сьогоденні ультразвук використовується для інтенсифікації очищення поверхні, інтенсифікації хімічних та електрохімічних процесів, розмірної обробки твердих та крихких металів, зварювання металевих матеріалів невеликої товщини, виготовлення емульсій тощо.

Для перетворення електричної енергії в енергію ультразвукових механічних коливань застосовуються магнітострикційні та п'єзокерамічні перетворювачі.

Ультразвукова розмірна обробка пов'язана з цілеспрямованим руйнуванням твердих та крихких матеріалів за допомогою інструмента, що коливається з ультразвуковою частотою та здійснює на поверхню, яка обробляється, ударну дію за допомогою абразивного порошку. Інтенсифікація гальванічних процесів ультразвуком досягається створенням механічних коливань у робочому середовищі. Точкове, повне, стикове та пресове зварювання ультразвуком виконується введенням в зону зварювання ультразвукових коливань. Крім цього, ультразвук застосовується для обробки матеріалів, а також для контролю якості великих виробів.

Питання для самоконтролю:

1. Приведіть класифікацію методів застосування ультразвуку в промисловості.
2. Які коливання називаються ультразвуковими?
3. Які особливості є характерними для ультразвукової розмірної обробки?
4. Назвіть типи ультразвукових перетворювачів та охарактеризуйте принцип їх роботи.
5. З якою метою застосовуються концентратори та який принцип їх роботи?
6. Приведіть приклади ультразвукової розмірної обробки.

7. Які особливості ультразвукової розмірної очистки?
8. Опишіть будову та принцип дії диспергаторів, емульгаторів і змішувачів.
9. За рахунок чого досягається інтенсифікація гальванічних процесів при застосуванні ультразвуку?
10. Які особливості має зварювання та пайка при застосуванні ультразвуку?
11. Назвіть методи ультразвукової дефектоскопії.

Тема 9 Установки електроаерозольної технології

Фізична суть електростатичних процесів та можливість їх застосування в промисловості. Фарбування виробів в полі високої напруги. Характеристика електрообладнання для установок електрофарбування. Джерела живлення: трансформатори, випрямлячі, електричні генератори. Допоміжне обладнання: пульт керування, розрядники, запобіжники іскроутворення тощо. Електрофарбувальні камери та їх електрообладнання: електродні сітки та грибкові розпилювачі. Технологія електрофарбування. Приклади планування ділянок комплексної автоматизації фарбування в електричному полі. Подальші перспективи використання поля високої напруги в технології машинобудування. Технологічні показники процесу фарбування в полі високої напруги.

Література: [1, 10, 11, 18]

Методичні вказівки Електрофарбування в полі високої напруги базується на електростатичному методі і є найбільш ефективним та економічним способом фарбування. Електростатичні установки використовуються не тільки для фарбування, але і для розподілу на компоненти сипких сумішей, суспензій, колоїдних розчинів та електричних фільтрів. Електричні заряди можуть передаватися незарядженому виробу двома способами: електризацією при торканні та терті (контактна електризація) і електризацією в іонному полі (безконтактна електризація). Контактна електризація застосовується при обробці сипких сумішей, а безконтактна – в газах та рідинах, в середовищах яких створюється велике електростатичне поле зі зваженими частинками в цих середовищах.

При електричному фарбуванні металеві вироби чіпляються до конвеєра, який має заземлення. Він здійснює пересування виробів через камеру, в якій знаходяться електроди у стані коронного розряду. Електроди, на яких виникає коронний розряд, з'єднуються з від'ємним полюсом джерела високої напруги (до 15 кВ). Додатний полюс джерела високої напруги з'єднується із землею. Як випрямлячі в установках електрофарбування застосовують кенотрони, механічні та напівпровід-

никові випрямлячі. Електростатичні установки застосовуються також в металургійному виробництві при покриванні сталевій стрічці тонким шаром олії, в легкій промисловості (нанесення ворсу на штучну тканину) та в харчовій промисловості для коптіння продуктів.

Питання для самоконтролю:

1. Які установки мають назву електростатичні установки (установки електроаерозольної технології)?
2. Які фізичні явища мають місце в електростатичних установках?
3. Назвіть способи передавання зарядів нейтральному тілу.
4. Назвіть галузі використання електростатичних установок.
5. В чому полягає електростатичний спосіб фарбування та нанесення емалі?
6. Які типи випрямлячів використовуються в електростатичних установках?
7. Для яких технологічних процесів застосовуються електростатичні установки в металургійній, легкій та харчовій промисловості?
8. Як здійснюється очищення газів електростатичним способом?

1.2 Приклади задач для виконання контрольних робіт

Варіант завдання на контрольну роботу вибирається у відповідності з порядковим номером прізвища студента в журналі обліку занять академічної групи. Контрольна робота складається з чотирьох задач, зміст яких наведений нижче.

Задача 1

Розрахувати геометричні розміри нагрівальних елементів круглого та прямокутного перерізів печі опору, в якій здійснюють нагрівання сталевих виробів в окислювальній атмосфері. Дані для розрахунку приведені в таблиці 1.1.

В задачі 1 прийняті такі позначення: U_{ϕ} (В) – напруга на одну фазну вітку нагрівального елемента; P (кВт) – потужність печі; $t_{\text{вир}} (^{\circ}\text{C})$ – температура, до якої здійснюється нагрівання виробу; $\rho_n \left(\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{М}} \right)$ – питомий опір матеріалу нагрівального елемента; $t_{\text{роб.н.}} (^{\circ}\text{C})$ – робоча температура нагрівального елемента; $t_{\text{макс. доп.}}$ – максимально допустима температура на нагрівальному елементі.

Таблиця 1.1- Дані для розрахунку задачі 1.1

Дані для розрахунку	№ варіантів														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Р, кВт	30	50	70	90	25	55	85	20	40	60	15	35	65	10	18
U_ф, В	127	110	100	80	220	127	90	220	160	110	220	90	127	220	110
t_{вир}, °C	640	680	820	860	720	830	850	760	840	740	650	860	780	800	840

Продовження таблиці 1.1

Дані для розрахунку	№ варіантів														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Р, кВт	15	25	55	85	20	40	60	35	65	10	18	30	50	70	90
U_ф, В	100	80	220	127	90	220	90	127	220	110	127	110	80	220	127
t_{вир}, °C	760	840	740	650	860	780	800	840	640	680	820	860	720	830	850

Таблиця 1.2 – Перелік і характеристики матеріалів, з яких виготовляються нагрівальні елементи

Найменування матеріалів нагрівальних елементів		Питома вага $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$	Питомий опір при 20 °C $\left(\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 10^{-6}\right)$	Максимальна робоча температура сплаву нагрівального елемента, °C	Максимальна допустима температура на нагрівальному елементі, °C
Ніхром подвійний	X20Н80	$8,4 \cdot 10^3$	1,10	1150	1300
	X20Н80ТЗ	$8,2 \cdot 10^3$	1,27	1200	1300
Ніхром потрійний X15Н60		$8,3 \cdot 10^3$	1,1	1050	1300
Сплав Х13Ю4 (фехраль)		$7,2 \cdot 10^3$	1,26	900	1325
Сплав ОХ17Ю5		$7,1 \cdot 10^3$	1,30	1200	1325
Сплав ОХ23Ю5А (ЭИ595)		$7,3 \cdot 10^3$	1,35	1250	1400
Сплав ОХ17Ю5А		$7,2 \cdot 10^3$	1,42	1300	1400

Примітка: перед початком виконання розрахунків, щодо геометричних розмірів нагрівального елемента, треба обрати матеріал, з якого виготовля-

ються нагрівальні елементи. Для цього можна скористатись даними, які наведені в таблиці 1.2. Умова вибору матеріалу нагрівального елемента така: $t_{\text{вир}} < t_{\text{роб.н.}} < t_{\text{макс. доп.}}$.

Задача 2

Для дугової сталеплавильної печі треба розрахувати і побудувати електричні характеристики: $P_{\text{кор}} = f_1(I_2)$; $P_{\text{втр.}} = f_2(I_2)$; $P_{\text{акт}} = f_3(I_2)$; $\eta = f_4(I_2)$; $\cos\phi = f_5(I_2)$.

Дані для розрахунку, тобто параметри елементів електрообладнання дугової сталеплавильної печі, а також напруга вторинної обмотки пічного трансформатора відносно якої здійснюються розрахунки електричних характеристик, приведені в таблиці 1.3.

Значення опорів електричних елементів, що входять до схеми живлення дугової печі, приведені в таблиці 1.3 і подані для напруги нижньої обмотки трансформатора. Активним опором дроселя можна знехтувати.

Після розрахування і побудови електричних характеристик печі пропонується обґрунтувати оптимальний режим роботи печі, тобто діапазон струму I_2 , який відповідає найкращим показникам роботи печі під час розплавлення металу.

Таблиця 1.3 – Дані для розрахунку по варіантах

№ варіанта	Пічний трансформатор				Дросель		Коротка мережа	
	$S_{\text{тр.}}$ (кВ·А)	U_1 (кВ)	U_2 (В)	$r_{\text{тр.}}$ Ом·10 ⁻⁴	$x_{\text{тр.}}$ Ом·10 ⁻⁴	$x_{\text{дрос.}}$ Ом·10 ⁻⁴	$r_{\text{к.м.}}$ Ом·10 ⁻⁴	$x_{\text{к.м.}}$ Ом·10 ⁻⁴
1	1000	6	224	7,1	28	120	25	70
2	1600	6	180	5,3	24	100	17	50
3	2500	6	170	4,9	21	80	11	21
4	4000	10	210	2,3	8,2	70	9,0	19
5	5000	10	230	1,31	7,5	18	10	17
6	630	6	160	8,0	35	110	30	80
7	1500	6	165	7,2	27	104	17	54
8	2000	10	190	2,5	10	85	14	33
9	3500	10	200	1,42	8,8	19	12	19
10	1800	6	180	6,3	14	98	13	35
11	6000	35	230	0,78	7,6	17	10	28
12	1200	6	165	5,7	24	103	24	75
13	1400	10	155	5,9	26	95	22	68
14	8000	35	260	0,76	7,5	12	6,0	20
15	10000	35	280	0,64	6,5	10	5,0	18
16	9000	35	270	0,68	6,8	12	5,4	19

Продовження таблиці 1.3

17	6300	35	240	0,9	8,2	14	8,0	22
18	7500	35	250	0,8	8,4	11	7,5	18
19	3000	10	215	2,7	14	65	11	25
20	1700	10	180	3,1	21	90	13	57
21	1500	6	165	5,3	24	100	17	50
22	2000	10	190	4,9	21	80	11	21
23	3500	10	200	2,3	8,2	70	9,0	19
24	1800	6	180	1,31	7,5	18	10	17
25	1600	6	180	5,9	26	95	22	68
26	2500	6	170	0,76	7,5	12	6,0	20
27	4000	10	210	0,64	6,5	10	5,0	18
28	5000	10	230	0,68	6,8	12	5,4	19
29	8000	35	260	8,0	35	110	30	80
30	10000	35	280	7,2	27	104	17	54

Задача 3

В індукційній печі без сталевго осердя проходить плавлення металу. Розрахункові дані приведені в таблицях 1.4, 1.5.

Треба зробити наступне:

1. Накреслити конструкційну схему печі.
2. Розрахувати та побудувати графік глибини проникнення вихрових струмів в метал при індукційному нагріванні від температури 20 °С до максимальної температури $t_{\max}^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 1.4 - Вибір параметрів до задачі 3 згідно з варіантами

Дані	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Метал	Сталь	Сталь	Сталь	Сталь	Сталь	Сталь	Алюміній	Бронза	Латунь	Мідь
$t_{\max}^{\circ}\text{C}$	1300	1350	1280	1400	1450	1500	650	900	800	1110
ρ $\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{М}}$ $\times 10^{-6}$	0,35	0,31	0,22	0,12	0,13	0,17	0,028	0,060	0,07	0,012
Середній температурний коефіцієнт										
α	0,0066	0,0066	0,0066	0,006	0,0066	0,0066	0,004	0,004	0,002	0,0039
Магнітна проникність										
μ	50	60	70	80	90	100	1	1	1	1

Продовження таблиці 1.4

Дані	Номер варіанта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Метал	Сталь	Сталь	Алюміній	Бронза	Латунь	Мідь	Алюміній	Бронза	Латунь	Мідь
$t_{\max}^{\circ}\text{C}$	1300	1350	620	850	900	1100	700	900	800	1110
ρ $\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{М}}$ $\times 10^{-6}$	0,2	0,21	0,024	0,055	0,07	0,011	0,028	0,055	0,07	0,01
Середній температурний коефіцієнт										
α	0,0066	0,0066	0,004	0,004	0,002	0,0039	0,004	0,004	0,002	0,0039
Магнітна проникність										
μ	50	60	1	1	1	1	1	1	1	1

Продовження таблиці 1.4

Дані	Номер варіанта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Метал	Сталь	Сталь	Алюміній	Бронза	Латунь	Мідь	Алюміній	Бронза	Латунь	Мідь
$t_{\max}^{\circ}\text{C}$	1400	1450	640	870	910	1150	690	910	820	1100
ρ $\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{М}}$ $\times 10^{-6}$	0,2	0,21	0,024	0,055	0,07	0,011	0,028	0,055	0,07	0,01
Середній температурний коефіцієнт										
α	0,0066	0,0066	0,004	0,004	0,002	0,0039	0,004	0,004	0,002	0,0039
Магнітна проникність										
μ	50	60	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблиця 1.5- Вибір частоти струму до задачі 3 згідно з варіантами

Дані	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f, \text{кГц}$	0,05	1	2,5	3	5	2,5	5	1	5	2
Дані	Номер варіанта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$f, \text{кГц}$	2	5	1	5	2,5	5	3,0	2,5	1	0,05
Дані	Номер варіанта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$f, \text{кГц}$	5	1	5	2,5	5	8,0	0,05	1	2,5	3

Задача 4

Методом діелектричного нагрівання здійснюється сушіння деревини.

Розрахункові дані установки приведені в таблиці 1.6, 1.7.

Треба зробити наступне:

1. Накреслити схему та векторну діаграму, що пояснює явище нагрівання діелектрика в електричному полі.

2. Визначити потужність височастотного генератора для живлення установки, ККД установки можна прийняти $\eta = 0,8$.

Таблиця 1.6 - Вибір параметрів до задачі 4 відповідно до варіантів

Дані	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм дощок V, M^3	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0	3,5
Тангенс кута втрат $tg\delta$	0,2	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,3	0,35	0,4
Відносна діелектрична постійна ϵ	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20

Продовження таблиці 1.6

Дані	Номер варіанта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Об'єм дощок V, M^3	1,8	2,0	2,2	1,0	1,2	1,5	2,4	2,6	3,3	3,1
Тангенс кута втрат $tg\delta$	0,27	0,28	0,3	0,35	0,4	0,2	0,22	0,24	0,25	0,26
Відносна діелектрична постійна ϵ	15	16	17	18	20	10	11	12	13	14

Продовження таблиці 1.6

Дані	Номер варіанта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Об'єм дощок V, M^3	1,5	2,5	1,5	2,4	2,6	2,5	2,8	3,0	3,5	1,8
Тангенс кута втрат $tg\delta$	0,3	0,35	0,4	0,2	0,27	0,28	0,2	0,22	0,24	0,25
Відносна діелектрична постійна ϵ	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20

Таблиця 1.7 – Напруженість електричного поля і частота до задачі 4 згідно з варіантами

Дані	Номер варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напруженість поля E , В/см	300	250	200	200	150	140	120	100	80	50
Частота, МГц	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7

Продовження таблиці 1.7

Дані	Номер варіанта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Напруженість поля E , В/см	140	120	100	80	50	300	250	200	200	150
Частота, МГц	0,5	0,4	0,6	0,65	0,7	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45

Продовження таблиці 1.7

Дані	Номер варіанта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Напруженість поля E , В/см	80	50	300	250	200	200	150	140	120	100
Частота, МГц	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,4	0,6	0,65	0,7

1.3 Методичні вказівки до розв'язування завдань з контрольної роботи

Електричний розрахунок печей опору зводиться до вибору матеріалу нагрівачів і визначення їх геометричних розмірів при відомих розмірах робочого простору, робочої температури і потужності печі. Розрахунок нагрівачів електричних печей опору виконують так:

1. Залежно від температури нагрівання виробу в печі або температури в кінці теплової зони вибирають матеріал нагрівача (рисунок 1.1). За графіком, поданим на рисунку 1.1, задаються мінімальним діаметром дроту (4мм) та максимальним (10мм), і одержують допустимі температури на нагрівачі, відповідно, для мінімального і максимального діаметрів. (Наприклад, для нагрівача круглого перерізу з ніхрому Х20Н80 температура на нагрівачі $t_{\text{нагр}}=1050^{\circ}\text{C}$ і $t_{\text{нагр}}=1130^{\circ}\text{C}$, відповідно, для діаметрів $d_{\text{мін}}=5\text{мм}$ і $d_{\text{макс}}=10\text{мм}$). Можна також приблизно визначати температури на нагрівачі, які відповідають температурам нагрівання виробу, за питомою потужністю $P_{\text{пит.}}(\text{кВт/м}^2)$ (рисунок 1.4).

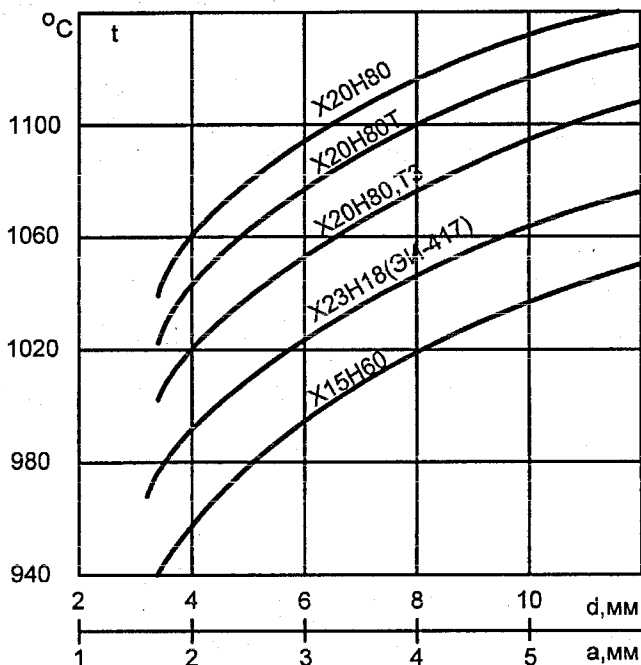


Рисунок 1.1 – Рекомендовані температури для нагрівачів з різних сплавів в залежності від діаметра дроту, товщини стрічки при $m=10$ та терміну використання 10000 годин

$$P_{num.} = \frac{P}{F} \quad (\text{кВт/м}^2),$$

де F - площа футеровки для розміщення нагрівача в (м^2);

P – потужність печі в (кВт).

2. Використовуючи вибрані значення допустимої температури на нагрівачі і задану температуру нагрівання виробу, за графіком (рисунок 1.4) визначають питомі поверхневі потужності ідеального нагрівача для довільно вибраних максимального і мінімального діаметрів нагрівача. Питому поверхневу потужність ідеального нагрівача можна визначити і аналітично. Спочатку визначають питому поверхневу потужність ідеального нагрівача з абсолютно чорного тіла за формулою:

$$\omega_{id.s} = 5,7 \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \quad (\text{Вт/м}^2), \quad (1.1)$$

де $T_2 = t_2 + 273 \text{ } ^\circ\text{C}$ - абсолютна температура нагрівача;

$T_1 = t_1 + 273 \text{ } ^\circ\text{C}$ - абсолютна температура виробу, що нагрівається,

Далі переходять до визначення питомої поверхневої потужності ідеального нагрівача.

$$\omega_{id.} = \varepsilon_{12} \cdot \omega_{id.s} \quad (\text{Вт/м}^2),$$

де ε_{12} - ступінь чорності нагрівача. Для печей з ніхромовими нагрівачами і аналогічними йому сплавами $\varepsilon_{12} = 0,8$.

3. Зв'язок між реально допустимою питомою поверхневою потужністю з питомою поверхневою потужністю ідеального нагрівача виражається залежністю:

$$\omega = \omega_{id.} \cdot \alpha_{ef} \cdot \alpha_z \cdot \alpha_c \cdot \alpha_p$$

α_{ef} - коефіцієнт ефективності випромінювання даної системи нагрівача при мінімально допустимих відносних виткових відстанях, виходячи з конструктивних міркувань.

Значення α_{ef} для різних систем нагрівачів приведені в таблиці 1.8.

- Приведені значення α_{ef} в таблиці 1.8 можна використовувати при розрахунку за вищенаведеною методикою тільки для печей першої групи.

α_z - коефіцієнт кроку, що залежить від відносних виткових відстаней (рисунок 1.2а,б,в) і який буде дорівнювати 1 при мінімальних (з конструктивних міркувань) відносних виткових відстанях.

α_c - коефіцієнт, який враховує величину приведенного коефіцієнта випромінювання виробу $C_{пр}$, що нагрівається (дивись рисунок 1.3).

$$C_{пр.} = \frac{5,7}{\frac{1}{\varepsilon_{виробу}} + \frac{1}{\varepsilon_n} - 1} \quad \left(\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}^4} \right)$$

α_p - коефіцієнт, який враховує вплив розмірів сукупності виробів, що нагріваються, і залежить від співвідношення: $\frac{F_{виробу}}{F_{стін}}$ (рисунок 1.5). Тут мають на увазі повернену до нагрівача зовнішню поверхню виробу.

Примітка: для печей періодичної дії коефіцієнт α_p прирівняти до 1.

4. Знаючи допустиму питому поверхневу потужність, можна перейти до визначення геометричних параметрів нагрівача. Для нагрівачів з матеріалу круглого перерізу (дріт, прут) діаметр перерізу:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot P^2}{\pi^2 \cdot U^2 \cdot \omega}} \quad , \quad (\text{м})$$

Таблиця 1.8 - Значення коефіцієнта випромінювання α_{ef} в залежності від системи нагрівача

Система нагрівачів	α_{ef}	Мінімальні відносні виткові відстані
Дротяний зигзаг	0,68	2,75
Стрічковий зигзаг	0,40	0,90
Стрічковий зигзаг в балках печей типу САН або виймальних полицях	0,34	0,90
Дротяна спіраль на полиці	0,32	2,00
Те ж, на керамічних трубках	0,32*	2,00
Дротяна спіраль в балках печей типу САН	0,22*	2,00

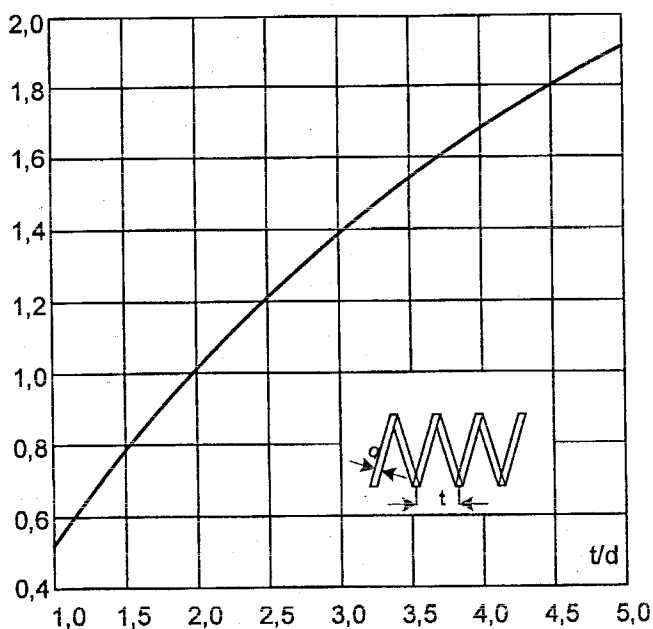


Рисунок 1.2а - Залежність коефіцієнта α_e від відносної міжвиткової відстані для дротового спірального нагрівача

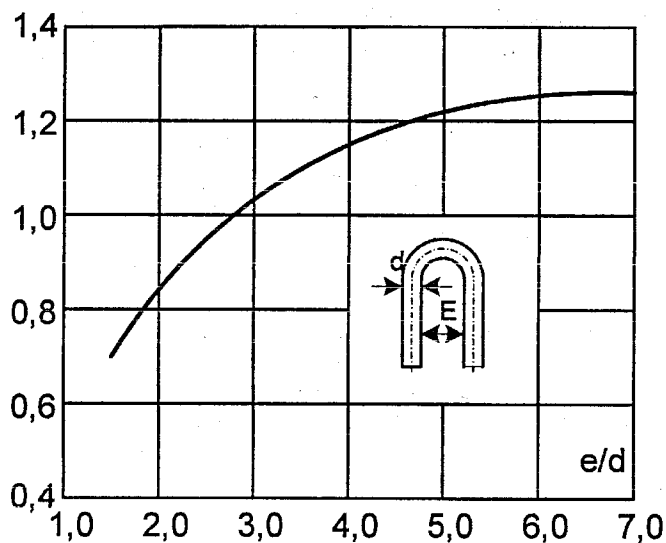


Рисунок 1.26 - Залежність коефіцієнта α_2 від відносної міжвиткової відстані для дротового зигзагоподібного нагрівача

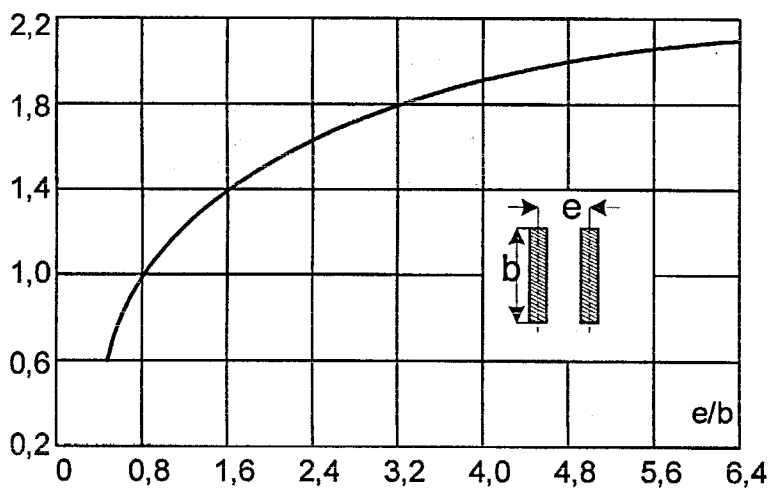


Рисунок 1.2в - Залежність коефіцієнта α_2 від відносної міжвиткової відстані для стрічкового зигзагоподібного нагрівача

Для нагрівачів з матеріалу прямокутного перерізу (стрічка) при співвідношенні сторін $b/a = m$ товщина стрічки a ; b – ширина стрічки.

$$a = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot \rho \cdot P^2}{2m(m+1) \cdot U_{\phi}^2 \cdot \omega}} \quad (\text{м}),$$

де P - потужність на фазну вітку (Вт);
 ρ - питомий електричний опір (Ом мм²/м) $\cdot 10^{-6}$;
 U - напруга на нагрівачі (В);
 ω - питома поверхнева потужність нагрівача (Вт/м²).

Отримане значення діаметра нагрівача округляють до стандартних розмірів (таблиця 1.9) до більшого значення.

Для промислових печей рекомендується застосовувати стрічку товщиною не менше 2мм. Після визначення товщини стрічкового нагрівача, зазвичай здійснюють перерахунок, виходячи з вибраного перерізу стрічки, з визначенням пониженої напруги для живлення нагрівача.

5. Визначають довжину нагрівача з дроту на фазну вітку за формулою:

$$L_{\phi} = \sqrt[3]{\frac{P \cdot U_{\phi}^2}{4\pi\rho\omega^2 \cdot 10^8}} \quad (\text{м})$$

Довжина нагрівача із стрічки на фазну вітку розраховується за формулою:

$$L_{\phi} = \frac{R \cdot S}{\rho \cdot 10^6} = \sqrt[3]{\frac{P \cdot U_{\phi}^2 \cdot m}{4(m+1)^2 \rho \omega^2 \cdot 10^8}} \quad (\text{м}),$$

де U_{ϕ} - напруга фазна (В);
 P - потужність на фазу (Вт);
 L - довжина нагрівача на фазну вітку (м);
 S - переріз нагрівача (мм²);
 R - опір нагрівача на фазну вітку (Ом);
 ρ - питомий опір (Ом мм²/м);

$$m = \frac{b}{a}$$

6. Зіставимо масу нагрівача з дроту та зі стрічки. Розрахунки виконуються за формулами:

$$G = \gamma_n L S \cdot 10^{-6} = \gamma_n \sqrt[3]{\frac{\rho P^5}{160\pi^2 U^2 \omega^4}} \quad - \text{ для нагрівача з дроту;}$$

$$G = \gamma_n L S \cdot 10^{-6} = \gamma_n \sqrt[3]{\frac{m^2 \rho P^5}{160(m+1)^4 U^2 \omega^4}} - \text{для нагрівача зі стріч-}$$

ки.

Методом зіставлення маси нагрівачів обираємо ту, чи іншу форму нагрівача.

Дійсна питома поверхнева потужність нагрівача буде дорівнювати:

$$\omega_{\text{дійсне}} = \frac{P}{F_{\text{нагр.}}},$$

де $F_{\text{нагр.}}$ - дійсна площа нагрівача (м^2).

7. Перевірити, чи розміщується даний нагрівач в заданій площині футеровки. В таблиці 1.9 дані максимальні довжини і поверхні нагрівачів, що розміщуються на 1м^2 футеровки для різних систем нагрівачів.

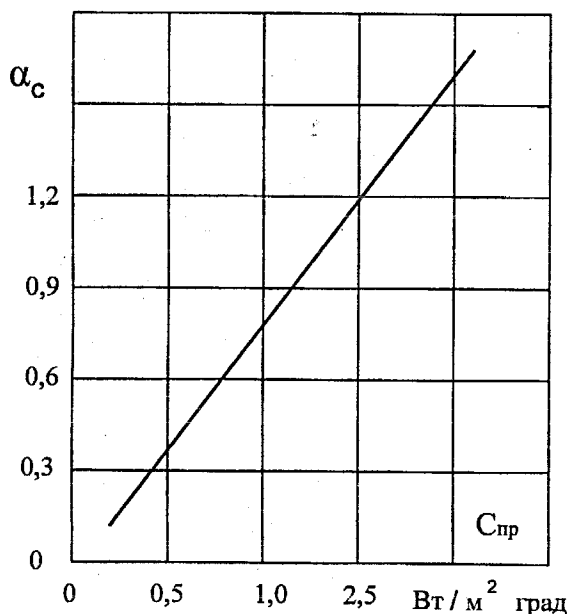


Рисунок 1.3 - Залежність коефіцієнта α_c від величини приведенного коефіцієнта випромінювання виробу $C_{\text{пр}}$

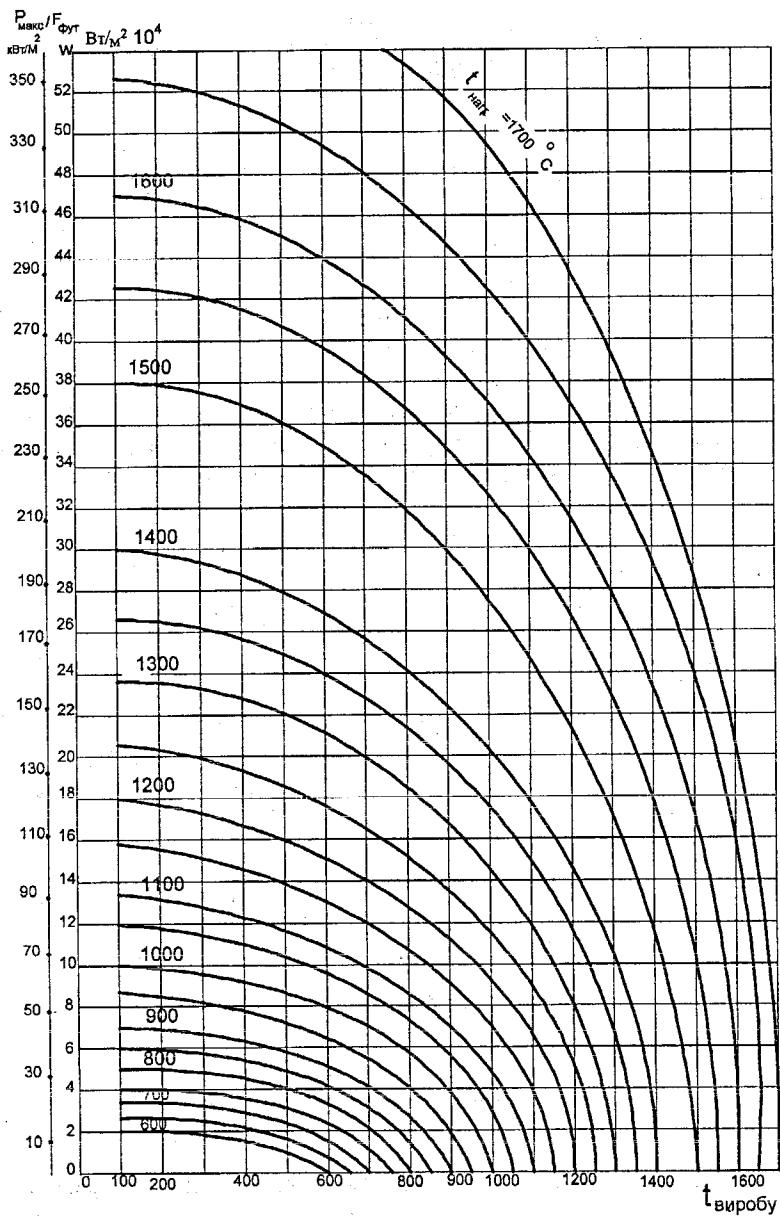


Рисунок 1.4 - Величини питомої поверхневої потужності ідеального нагрівача ω_{i0} та потужності, що припадає на 1 м^2 футеровки $P_{\text{макс}}/F_{\text{футер.}}$ в залежності від температури ви́робу, який підлягає нагріванню, та нагрівача

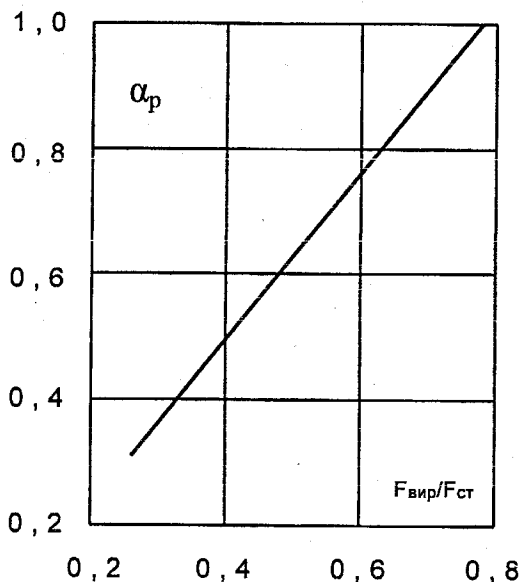


Рисунок 1.5 - Залежність коефіцієнта α_p для нагрівача із стрічки від співвідношення площини поверхні виробів і стін робочої камери печі

Приклад розрахунку задачі 1

Вихідні дані: $P = 18 \text{ кВт}$; $U_{\text{ф}} = 110 \text{ В}$; $t_{\text{виробу}} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$; Відносний коефіцієнт випромінювання сталі $\epsilon = 0,8$.

Виходячи з умови $t_{\text{вир}} < t_{\text{роб.н.}} < t_{\text{макс. доп.}}$ матеріалом нагрівача обираємо ніхром Х15Н60 з максимальною робочою температурою сплаву $1050 \text{ }^\circ\text{C}$.

$t_{\text{вир}}$ – температура нагрівання виробу;

$t_{\text{роб.н.}}$ – робоча температура на нагрівальному елементі;

$t_{\text{макс. доп.}}$ – максимальна допустима температура, яка допускається на нагрівачі при збереженні нормативного терміну служби.

За формулою 1.1 визначаємо питому поверхневу потужність нагрівача з абсолютно чорного тіла.

$$w_{\text{д.с}} = 5,7 \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right]$$

Таблиця 1.9 - Геометричні характеристики і маса 1м дроту та стрічки
зі сплавів опору

Діаметр дроту (розмір стрічки), мм	Площа поперечного перерізу, мм ²	Поверхня 1м, см ²	Маса 1м		
			X15H60; X15H60Ю3; X20H80T; X20H80T3	X23H18; (X25H20) X27H7Ю3	OX23Ю5A; OX27Ю5A
Дріт					
2,0	3,1416	62,800	26,7	24,8	22,8
2,2	3,8013	69,0800	31,2	29,3	27,6
2,5	4,9087	78,5000	41,2	38,8	35,6
2,8	6,1694	87,9200	51,8	48,7	45,7
3,2	8,0425	100,5309	67,7	63,6	59,7
3,6	10,1787	113,0972	85,5	80,3	73,8
4,0	12,5600	125,6000	105,5	99,1	91,1
4,5	15,8962	141,3000	133,5	125,6	115,2
5,0	19,6250	157,0000	164,8	145,0	141,3
5,6	24,6301	175,9290	206,7	181,9	177,2
6,3	31,1724	197,9202	261,6	246,0	225,7
7,0	38,4400	219,8000	322,9	303,6	278,7
8,0	50,2400	251,2000	422,0	396,9	364,6
9,0	63,3350	282,6000	532,0	500,3	459,2
10,0	78,5000	314,0000	659,4	620,1	569,1
11,0	94,9850	345,4000	797,9	750,4	698,6
12,0	113,0400	376,8000	949,5	893,0	819,6
13,0	132,7323	408,4070	1114,4	1048,0	961,8
14,0	153,9380	439,8230	1292,3	1215,4	1063,2
15,0	176,7142	471,2380	1487,4	1395,2	1220,5
16,0	204,0618	502,6544	1686,8	1587,3	1388,5
17,0	226,9799	534,0703	1906,0	1791,9	1567,5
18,0	254,4687	565,4862	2136,0	2008,9	1757,3
19,0	283,5285	596,9021	2379,8	2238,1	1957,9
20,0	314,1590	628,3180	2636,8	2479,8	2169,3
Стрічка					
2,0 x 10	20,0	240	168	158	145
1,5 x 15	22,5	330	189	178	163
2,0 x 15	30,0	340	252	237	217
2,2 x 20	44,0	444	370	347	319
2,5 x 20	50,0	450	420	395	363
3,0 x 20	60,0	460	504	474	435
2,2 x 25	55,0	544	462	434	399
2,5 x 25	62,5	550	525	494	453
3,0 x 25	75	560	630	593	545
2,2 x 30	66,0	644	554	521	478
2,5 x 30	75,0	650	630	593	543
3,0 x 30	90,0	660	756	711	653
2,2 x 36	79,0	764	664	624	573
2,5 x 36	90,0	770	756	711	653
3,0 x 36	108,0	780	907	853	783
2,2 x 40	88,0	844	740	695	638
2,5 x 40	100,0	850	840	790	725
3,0 x 40	120,0	860	1020	947	870

$$T_1 = 1050 + 273 = 1323 \text{ }^\circ\text{K}; \quad T_2 = 900 + 273 = 1173 \text{ }^\circ\text{K}.$$

$$\omega_{\text{ід},s} = 5,7 \left[\left(\frac{1323}{100} \right)^4 - \left(\frac{1173}{100} \right)^4 \right] = 6,67 \cdot 10^4 \text{ (Вт/м}^2\text{)}$$

Далі визначаємо поверхневу потужність ідеального нагрівача:

$$\omega_{\text{ід}} = \varepsilon_{12} \cdot \omega_{\text{ід},s}$$

$$\omega_{\text{ід}} = 0,8 \cdot 6,67 \cdot 10^4 = 5,34 \cdot 10^4 \text{ (Вт/м}^2\text{)}$$

Якщо для визначення $\omega_{\text{ід}}$ скористатись рисунком 1.4, то ми отримаємо той самий результат.

Зв'язок між реальною і ідеальною питомими потужностями визначається за формулою:

$$\omega = \omega_{\text{ід}} \cdot \alpha_{\text{эф}} \cdot \alpha_z \cdot \alpha_c \cdot \alpha_p$$

$\alpha_{\text{эф}} = 0,32$ – для дротової спіралі;

$\alpha_z = 1,4$ – коефіцієнт кроку при співвідношенні $t/d = 3$;

α_c визначаємо користуючись рисунком 1.3. Приведений коефіцієнт випромінювання:

$$C_{\text{пр}} = \frac{5,7}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{виробу}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{н}}} - 1} \quad \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{K}^4} \right)$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{5,7}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{виробу}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{н}}} - 1} = \frac{5,7}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,8} - 1} = 0,67$$

$$\alpha_c = 0,6$$

Нехай співвідношення між площами виробів і внутрішньою площею стін печі складає 0,6. Звідси, на підставі рисунка, маємо $\alpha_p = 0,75$

$$\omega = \omega_{\text{ід}} \cdot \alpha_{\text{эф}} \cdot \alpha_z \cdot \alpha_c \cdot \alpha_p = 5,34 \cdot 10^4 \cdot 0,32 \cdot 1,4 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 1,08 \cdot 10^4 \text{ (Вт/м}^2\text{)}$$

Розглянемо випадок з'єднання нагрівачів трикутником за трифазною схемою живлення. Потужність по відношенню до однієї фази буде складати:

$$P_\phi = \frac{P}{3} = \frac{18}{3} = 6 \text{ (кВт)}$$

Розраховуємо діаметр дротової спіралі:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot P^2}{\pi^2 \cdot U^2 \cdot \omega}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 6000^2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6}}{3,14^2 \cdot 110^2 \cdot 1,08 \cdot 10^4}} = 4,97 \cdot 10^{-3} \text{ (м)},$$

тобто $d = 4,97$ мм. Заокруглюємо отриманий результат розрахунку до стандартного розміру. Приймаємо $d = 5$ мм.

Проведемо аналогічні розрахунки щодо визначення геометричних розмірів нагрівача зі стрічки. Стандартний переріз стрічки може бути в такому співвідношенні між шириною і товщиною: $m = \frac{b}{a} = 5$, або

$m = \frac{b}{a} = 10$. Прийемо $m = 10$. Товщина стрічки буде дорівнювати:

$$a = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot \rho \cdot P^2}{m(m+1) \cdot U^2 \cdot \omega}} = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 6000^2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot (10+1) \cdot 110^2 \cdot 1,08 \cdot 10^4}} = 2,397 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Заокруглюємо отриманий результат до стандартного значення перерізу стрічки і приймаємо $a = 2$ мм. Ширина $b = 10 \cdot a = 20$ мм, а переріз $S = a \cdot b = 40$ (мм²).

Далі визначаємо довжину нагрівача з дроту на вітку фази L .

$$L = \sqrt[3]{\frac{P_\phi \cdot U^2}{4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot 10^8}} = 35,6 \text{ (м)}$$

Довжина нагрівача зі стрічки L :

$$L = \sqrt[3]{\frac{PU^2m}{4(m+1)^2 \rho \omega^2 \cdot 10^8}} = 22,7 \text{ (м)}$$

Визначаємо масу нагрівача з дроту та з стрічки:

з дроту - $G = \gamma_n LS \cdot 10^{-6} = \gamma_n \sqrt[3]{\frac{\rho P^5}{160 \pi^2 U^2 \omega^4}} \sqrt{b^2 - 4ac} = 5,8 \text{ (кг)};$

зі стрічки - $G = \gamma_n LS \cdot 10^{-6} = \gamma_n \sqrt[3]{\frac{m^2 \rho P^5}{160(m+1)^4 U^2 \omega^4}} = 7,54 \text{ (кг)}$

Меншу вагу має нагрівач з дроту. Остаточню обрати форму нагрівача можна після зіставлення площини внутрішніх стін печі, на яких можна розмістити нагрівачі. Якщо площа стін дозволяє розміщення як однієї системи нагрівача, так і іншої, то перевагу треба надати тій, яка має меншу вагу.

Приклад розрахунку задачі 2

Для дугової сталеплавильної печі необхідно розрахувати і побудувати електричні характеристики $P_{пол.} = f_1(I_2)$, $P_{ном.} = f_2(I_2)$, $P_{акт.} = f_3(I_2)$, $\eta = f_4(I_2)$, $\cos \varphi = f_5(I_2)$ за даними, приведеними в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 - Дані для розрахунку

№ варіанта	Пічний трансформатор					Дросель	Коротка мережа	
	$S_{тр.}$ (кВ·А)	U_1 (кВ)	U_2 (В)	$r_{тр.}$ Ом·10 ⁻⁴	$x_{тр.}$ Ом·10 ⁻⁴	$x_{дрос.}$ Ом·10 ⁻⁴	$r_{км.}$ Ом·10 ⁻⁴	$x_{км.}$ Ом·10 ⁻⁴
1	5250	10	170	0,85	6,9	20	9,6	20,1

Значення опорів приведені до напруги вторинної обмотки пічного трансформатора. Активним опором дроселя можна знехтувати. Після розрахунку і побудови електричних характеристик печі треба вибрати і обґрунтувати оптимальний режим роботи печі.

Розв'язання

Побудуємо схему заміщення ДСП. При побудові схеми заміщення користуються такими припущеннями:

- режим роботи ДСП симетричний;
- втрати в сталі пічного трансформатора не враховують (тобто схема заміщення трансформатора ДСП буде не Т-подібною, а набере вигляд послідовного кола активних і індуктивних опорів, під'єднаних на фазну напругу вторинної обмотки пічного трансформатора);
- опори системи живлення ДСП є сталими величинами, крім активного опору дуги R_d .

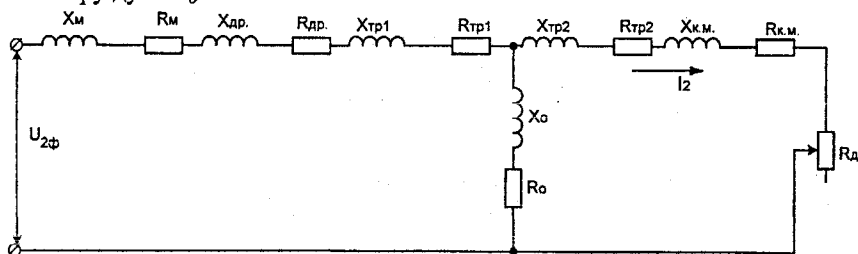


Рисунок 1.6 - Схема заміщення ДСП

З врахуванням вищенаведених припущень, схема заміщення ДСП може бути спрощена і буде мати вигляд такої еквівалентної схеми:

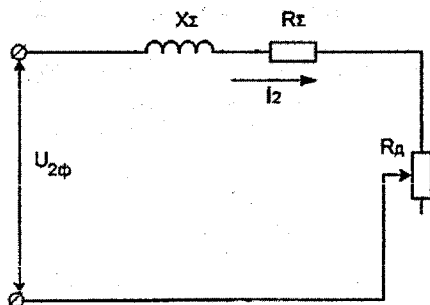


Рисунок 1.7 - Еквівалентна схема заміщення ДСП

1. Визначимо сумарний індуктивний опір схеми:

$$X_{\Sigma} = x_{mp} + x_{dp} + x_{km}$$

$$X_{\Sigma} = (6,9 + 20 + 20,1) \cdot 10^{-4} = 4,7 \cdot 10^{-3} (\text{Ом})$$

2. Визначимо сумарний активний опір кола:

$$R_{\Sigma} = R_{mp} + R_{km}$$

$$R_{\Sigma} = (0,85 + 9,6) \cdot 10^{-4} = 1,045 \cdot 10^{-3} (\text{Ом})$$

3. Визначимо повний опір Z :

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{X_{\Sigma}^2 + R_{\Sigma}^2} = \sqrt{(4,7 \cdot 10^{-3})^2 + (1,045 \cdot 10^{-3})^2} = 4,817 \cdot 10^{-3} (\text{Ом})$$

4. В режимі к.з. $R_d = 0$. Приведений до напруги вторинної обмотки струм к.з. $I_{2к.з.}$:

$$I_{2к.з.} = \frac{U_{2\phi}}{Z_{\Sigma}} = \frac{170}{4,817 \cdot 10^{-3}} = 35,3 (\text{кА})$$

5. Визначимо кут зсуву $\varphi_{2к}$ між $U_{2\phi}$ і $I_{2к.з.}$:

$$\text{tg} \varphi_{2к} = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{4,7 \cdot 10^{-3}}{1,045 \cdot 10^{-3}} = 4,5$$

$\text{tg} \varphi_{2к} = 4,5$ відповідає куту $\varphi_{2к} = 77^\circ$

6. Визначимо повну потужність для режиму к.з.:

$$S_k = U_{2к} \cdot I_{2к} = 170 \cdot 35,3 \cdot 10^{-3} = 6 (\text{МВА})$$

7. Визначимо потужність втрат в режимі к.з. В режимі к.з активний опір дуги дорівнює нулю, тобто $R_d = 0$, і потужність втрат $P_{втр.}$ може бути визначена за формулою: $P_{втр.} = I_{2к}^2 \cdot R_{\Sigma}$

$$P_{втр.} = 35,3^2 \cdot 1,045 \cdot 10^{-3} = 1,3 (\text{МВт})$$

8. Для визначення електричних характеристик ДСП побудуємо кругову діаграму потужностей. Від вертикальної осі проведемо лінію під кутом

$\varphi_{2k}=77^\circ$. Оберемо довільно довжину цього відрізка і позначимо його літерами OA . Нехай $OA=120$ мм. Проведемо горизонтальну вісь від точки O . З точки A проведемо перпендикулярну лінію до перетину її з горизонтальною віссю. Позначимо цю точку літерою C . Трикутник OAC є трикутником потужностей в режимі к.з.

$$AC = P_{\text{втр.}} = I_{2_{к.з.}}^2 \cdot R_{\Sigma};$$

$$OE = Q_{\text{емр.}} = I_{2_{к.з.}}^2 \cdot X_{\Sigma}$$

Визначимо на рисунку довжину відрізка AC . Припустимо, що відрізок $AC = 28$ мм.

9. Тепер визначимо масштаби повної і активної потужності, відповідно, μ_S та μ_P .

$$\mu_S = \frac{S_K}{OA} = \frac{6}{120} = 0,05 (MB \cdot A / \text{мм}) \quad \mu_P = \frac{P_{\text{емр.}}}{AC} = \frac{1,3}{28} = 0,046 \left(\frac{MBm}{\text{мм}} \right)$$

10. З точки A проводимо перпендикулярну лінію до перетину з горизонтальною віссю. Точку перетину позначимо літерою "Е".

11. Визначимо центр відрізка OE і позначимо його O^1 .

12. Через центр O^1 радіусом OO^1 проведемо коло.

13. Оберемо довільно кількість точок для визначення електричних характеристик. Припустимо, що буде достатньо 6-и точок. Визначимо довжину відрізків 0-1; 0-2; 0-3; 0-4; 0-5; 0-6. Відрізок 0-1 буде дорівнювати $\frac{OA}{6} = \frac{120}{6} = 20(\text{мм})$; відповідно, (0-2) = 40 мм; (0-3) = 60мм; (0-4) = 80 мм; (0-5) = 100 мм; (0-6) = 120 мм.

14. Користуючись визначенням масштабом і фізичними залежностями між шуканими величинами, складемо таблицю 1.11.

$$P_{\text{акт.}} = P_{\text{емр.}} + P_{\text{кор.}}$$

Таблиця 1.11 – Результати розрахунків

№ точ ки	S		P _{втр}		P _{кор} = I ₂ ² · R _л		P _{акт} = I ₂ ² · R _Σ		$\eta = \frac{P_{\text{кор.}}}{P_{\text{акт.}}}$	$\cos \varphi = \frac{P_{\text{акт.}}}{S}$
	мм	МВт	мм	МВт	мм	МВт	мм	МВт		
0-1	20	1	1	0,05	18,5	0,85	19,5	0,90	0,95	0,897
0-2	40	2	3	0,14	35	1,61	38	1,75	0,92	0,874
0-3	60	3	7	0,32	46	2,12	53	2,44	0,87	0,81
0-4	80	4	12	0,55	49	2,25	61	2,81	0,8	0,7
0-5	100	5	19	0,87	40	1,84	59	2,72	0,68	0,54
0-6	120	6	28	1,3	0	0	28	1,3	0	0,22

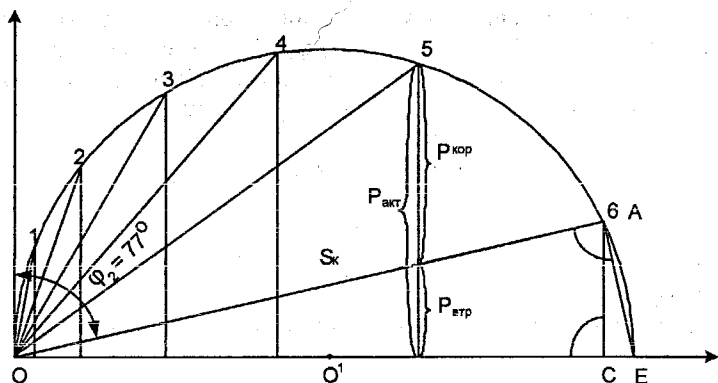


Рисунок 1.8 - Кругова діаграма потужностей ДСП

Максимуму активної потужності відповідає струм I'' . Але це значення струму для періоду розплавлення обирати недоцільно, оскільки при цьому втрати потужності збільшуються відповідно до параболічної залежності, тоді як електричний ККД та $\cos \phi$ будуть зменшуватися. Проте так само нераціональним є режим, який відповідає струму I' , оскільки крива $P_{кор.}$ у вершині йде полого, а $P_{втр.}$ навпаки, круто, і тому треба обрати середнє значення струму дуги $I_{опт.}$ в інтервалі $I' < I_{опт.} < I''$, яке буде відповідати найбільш економічному режиму розплавлення скрапу.

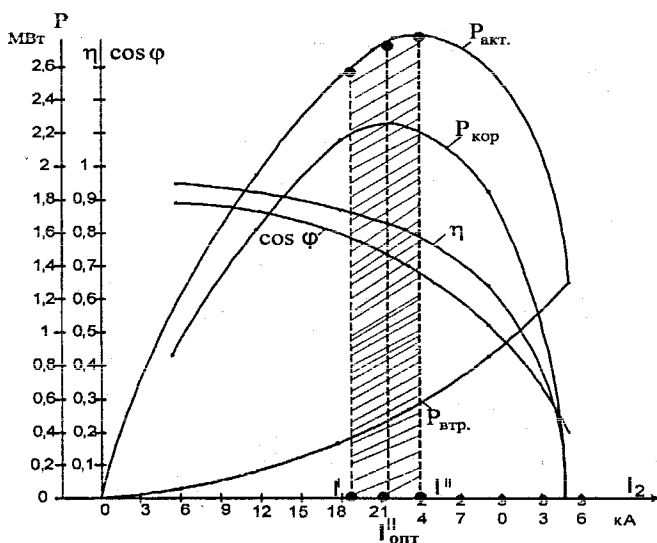


Рисунок 1.9 - Електричні характеристики ДСП

Приклад розрахунку задачі 3

В індукційній печі без сталевого осердя відбувається плавлення металу. Розрахункові дані наведені в таблицях 1.12, 1.13.

Треба зробити таке:

1. Накреслити конструкційну схему печі.
2. Розрахувати та побудувати графік глибини проникнення вихрових струмів в метал при індукційному нагріванні від температури 20 °С до максимальної температури $t_{\max}$ °С.

Приклад розрахунку

Вихідні дані: марка металу, яка підлягає плавленню - сталь;

- $t_{\max}$ °С = 900 °С;
- ρ (Ом·М) = $0,1 \cdot 10^{-6}$;
- α = 0,0066;
- μ = 50;
- f = 1000 Гц.

1. Визначаємо залежність опору металу від температури нагрівання в період розплавлення. $R_t = R_o(1 + \alpha_t)$, тобто питомий опір металу буде змінюватись у відповідності з формулою:

$$\rho_t = \rho_{o_{20^\circ C}} [1 + \alpha(t - t_o)], \text{ де } \rho_o = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ (Ом} \cdot \text{М)} \quad (1.2)$$

За формулою 1.2 здійснюємо розрахування питомого опору для дискретного ряду температур, починаючи від $t=100$ °С з кроком 100 °С.

Результати розрахунку зведемо в таблицю 1.12

Таблиця 1.12 – Результати розрахунку питомого опору металу в залежності від зміни температури

Температура, t_i °С; $i=0, \dots, 11$	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\rho_{ti} \cdot 10^{-6}$, Ом·м	0,1	0,15	0,22	0,28	0,35	0,4	0,48	0,55	0,62	0,68	0,75

2. Визначаємо глибину проникнення вихрових струмів в метал за формулою:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho_t}{\mu f}}$$

Результати розрахунків зведемо до таблиці 1.13

Таблиця 1.13 – Результати розрахунків глибини проникнення вихрових струмів в метал

Температура, t_i °С; $i=0, \dots, 11$	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\delta_{ti} \cdot 10^{-4}$, м	30	8,79	1,52	12,0	13,3	14,8	15,6	16,67	17,6	18,55	19,4

За результатами виконаних розрахунків побудувати графіки $\rho = \varphi_1(t)$ та $\delta = \varphi_2(\rho_t, t)$.

$$\rho = \varphi_1(t)$$

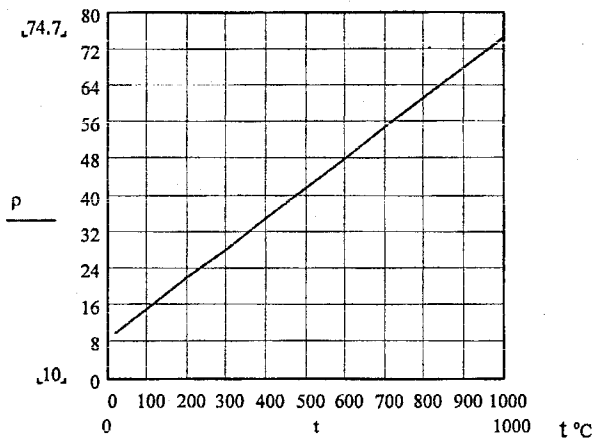


Рисунок 1.10 - Графік залежності $\rho = \varphi_1(t)$

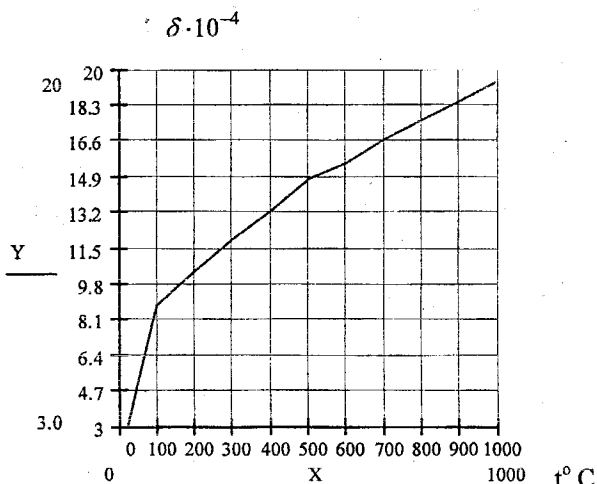


Рисунок 1.11- Графік залежності $\delta = \varphi_2(\rho_t, t)$

Задача 4

За технологією діелектричного нагрівання здійснюється висушування деревини.

Пропонується:

1. Привести схему та векторну діаграму, яка пояснює явище нагрівання діелектрику в електричному полі.

2. Визначити потужність височастотного генератора для живлення установки діелектричного нагріву. Коефіцієнт корисної дії прийняти $\eta = 0,8$.

Вихідні дані для розрахування:

- об'єм деревини для висушування $V, (M^3)$ - 1,0;
- тангенс кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$ - 0,2
- відносна діелектрична стала величина ϵ - 15
- напруженість електричного поля $E (B/cm)$ - 140
- частота $f (MГц)$ - 0,5

Приклад розрахунку

При розміщенні діелектрику між обкладками конденсатора, який під'єднаний до смісного плеча коливального контура височастотного генератора, в останньому виникає поляризація електронів та молекул і, як наслідок, їх тертя між собою, що призводить до втрат енергії. Втрати енергії проявляються при нагріванні діелектрику або напівпровідника, швидкість якого, значною мірою, залежить від частоти зміни поля.

Процеси в діелектрику, який знаходиться в змінному електричному полі, визначаються діелектричною проникністю $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$. Дійсна частина комплексу ϵ' , що характеризує відношення ємностей конденсатора до і після введення в нього діелектрику, називається **відносною діелектричною проникністю речовини**. Уявна частина $\epsilon'' = \epsilon' \operatorname{tg} \delta$, яка характеризує поглинання енергії поля діелектриком, називається **коефіцієнтом втрат діелектрику**.

Схему заміщення смісного контура з діелектриком (деревина), можна зобразити у вигляді паралельного з'єднання ємності і опору (рисунок 1.12).

Повний струм при проходженні крізь конденсатор з діелектриком I має дві складові: струм зміщення $I_{зм.} = j\omega CU$ і струм провідності

$$I_{\text{пр.}} = \frac{1}{R_{\text{л}}} \cdot U, \text{ тобто } I = I_{\text{пр.}} + I_{\text{зм.}} = \left(\frac{1}{R_{\text{л}}} + j\omega C \right) U. \quad \text{Відношення}$$

струму провідності до струму зміщення $\frac{I_{\text{пр.}}}{I_{\text{зм.}}} = \text{tg} \delta$ також визначає коефіцієнт втрат в діелектрику.

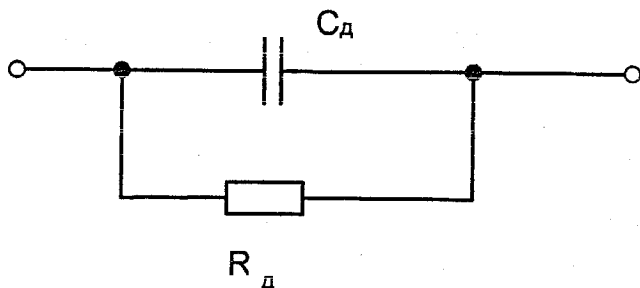


Рисунок 1.12 - Паралельна схема заміщення ємнісного контура

Потужність, яка виділяється в діелектрику, можна отримати з векторної діаграми (рисунок 1.13) $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \approx U \cdot I \cdot \text{tg} \varphi = \omega C U^2 \text{tg} \delta$, де $\omega = 2\pi f$ - кутова частота, рад./сек.; C - ємність плоского конденсатора, Ф; $C = \varepsilon \varepsilon_0 S / d$ (S - площа пластин конденсатора, м^2 ; d - відстань між ними, м; $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$, Ф/м - діелектрична проникність вакууму).

Визначимо тепер потужність високочастотного генератора для установки діелектричного нагрівання:

а) потужність, що виділяється в одиниці об'єму діелектрика

$$\begin{aligned} p_0 &= 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot \varepsilon \cdot \text{tg} \delta \cdot E^2 = \\ &= 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 0,2 \cdot (140 \cdot 10^2)^2 = 16317,0 (\text{Вт} / \text{м}^3) \end{aligned}$$

б) потужність, що виділяється в діелектрику

$$P = p_0 V_{\kappa} = 16317 \cdot 1,0 = 16317 (\text{Вт}) \approx 16 (\text{кВт}).$$

З врахуванням коефіцієнта корисної дії, потужність високочастотного генератора буде складати: $P_{\text{г}} = P / \eta = 16 : 0,8 \approx 20 (\text{кВт})$.

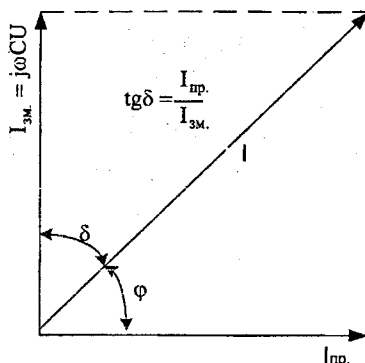


Рисунок 1.13 - Векторна діаграма струмів при нагріванні діелектрику

1.4 Використання програмного середовища Mathcad при розв'язуванні задач у контрольних роботах

Визначення геометричних розмірів нагрівачів в задачі №1 доцільно виконати в програмному середовищі Mathcad. Застосування обчислювальної техніки в цих розрахунках значно зменшить трудомісткість розрахунків і відповідних витрат часу на розв'язування задач.

В задачі №2 при побудові електричних характеристик дугової печі на координатній площині зручно скористатись графічними можливостями Mathcad. Для відображення сукупності кривих (функціональних залежностей основних параметрів ДСП від вторинного струму) на одному рисунку треба скористатись командами і методикою, які проілюстровані нижче.

$$\begin{array}{c} x := \begin{pmatrix} 2.5 \\ 5 \\ 7.5 \\ 10 \\ 12.5 \\ 15 \end{pmatrix} \quad y1 := \begin{pmatrix} 0.016 \\ 0.048 \\ 0.096 \\ 0.16 \\ 0.272 \\ 0.416 \end{pmatrix} \quad y2 := \begin{pmatrix} 0.304 \\ 0.496 \\ 0.624 \\ 0.704 \\ 0.544 \\ 0 \end{pmatrix} \quad y3 := \begin{pmatrix} 0.32 \\ 0.544 \\ 0.72 \\ 0.864 \\ 0.816 \\ 0.416 \end{pmatrix} \quad y4 := \begin{pmatrix} 0.475 \\ 0.456 \\ 0.433 \\ 0.39 \\ 0.25 \\ 0 \end{pmatrix} \quad y5 := \begin{pmatrix} 0.42 \\ 0.357 \\ 0.316 \\ 0.284 \\ 0.214 \\ 0.108 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$s1 := \text{cspline}(x, y1)$$

$$s2 := \text{cspline}(x, y2)$$

$$s3 := \text{cspline}(x, y3)$$

$$s4 := \text{cspline}(x, y4)$$

$$s5 := \text{cspline}(x, y5)$$

$\text{fit1}(x1) := \text{interp}(s1, x, y1, x1)$ $\text{fit2}(x2) := \text{interp}(s2, x, y2, x2)$
 $\text{fit3}(x3) := \text{interp}(s3, x, y3, x3)$ $\text{fit4}(x4) := \text{interp}(s4, x, y4, x4)$
 $\text{fit5}(x5) := \text{interp}(s5, x, y5, x5)$

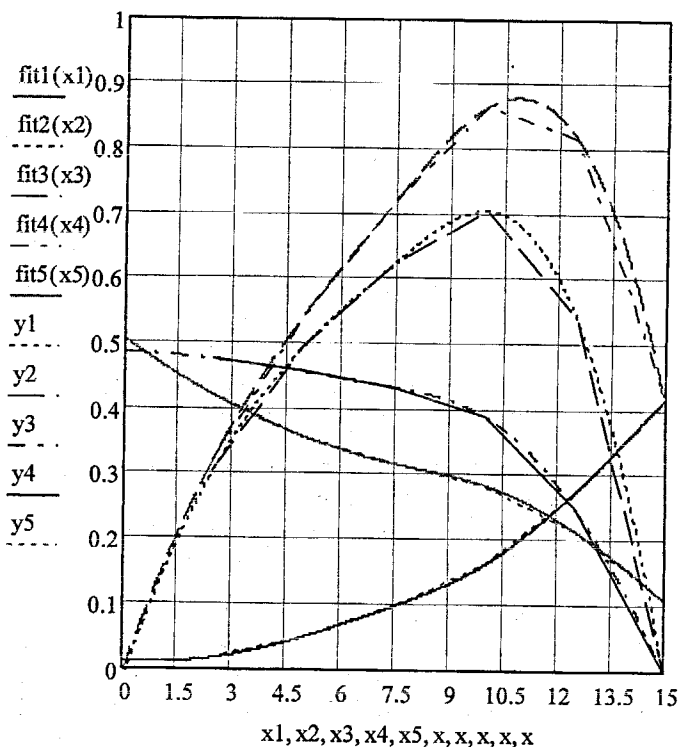


Рисунок 1.14 - Електричні характеристики ДСП, які побудовані за допомогою Mathcad

Побудова графіків залежностей в задачах № 3, № 4 здійснюється аналогічно.

1.5 Тести для перевірки знань

Для проведення модульно-рейтингової системи розроблені тести контролю знань, які наводяться нижче.

Таблиця 1.13 - Тести для контролю знань

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
1. Яке призначення вогнетривких матеріалів?	Виготовлення нагрівальних елементів	Виготовлення теплоізоляційного шару	Виготовлення внутрішніх механізмів	Виготовлення металоконструкцій, що знаходяться в зоні високих температур	Виготовлення внутрішньої частини футеровки
2. Яка вимога є недоречною щодо вогнетривких матеріалів?	Вогнетривкість	Механічна міцність	Достатня тепло і електропровідність	Хімічна нейтральність	Низька вартість
3. Для виготовлення яких вузлів та частин електричних печей застосовують жаротривкі матеріали?	Футеровка печі	Нагрівальні елементи	Теплоізоляційний шар	Металоконструкції і механізми, що знаходяться в зоні високих температур	Металевий кожух печі
4. Яка вимога є недоречною для матеріалів, з яких виготовляються нагрівальні елементи?	Високий питомий електричний опір	Висока електропровідність	Стала величина температурного коефіцієнта електричного опору	Стала величина електричного опору	Жаростійкість і жароміцність
5. Який з елементів не використовується для сплавів, з яких виготовляються нагрівачі печей опору?	Al (алюміній)	Fe (залізо)	Mn (марганець)	Ni (нікель)	Cr (хром)
6. З яких матеріалів виготовляються нагрівачі печей опору з робочою температурою до 1200° С?	Графіт	Карборунд	Діцилід молібдену	Ніхром	Леговане залізо

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
7. З яких матеріалів виготовляються нагрівачі печей опору з робочою температурою вище 1300° С?	Ніхроми	Хромоалюмінієві сплави	Леговане залізо	Дісцилід молібдену	Карборунд
8. Які недоліки є властивими для нагрівачів з дісцилду молібдену, карбиду бору та інших тугоплавких матеріалів?	Недостатня вогнетривкість	Недостатній питомий опір	Зміна величини температурного коефіцієнта електричного опору зі зміною температури	Зміна геометричних розмірів нагрівача в процесі експлуатації	„Старіння”
9. Які з нижчеперелічених недоліків є нехарактерними для хромоалюмінієвих сплавів, з яких виготовляються нагрівачі?	Висока вартість	Постійна зміна величини електричного опору	„Старіння” в процесі експлуатації	Зміна геометричних розмірів нагрівачів в процесі експлуатації	Деформація
10. За яким видом теплопередачі здійснюється передавання теплової енергії від нагрівача до виробу, який нагрівається при температурі > 700° С?	Конвекція	Випромінювання	Теплопровідність	Теплопровідність і випромінювання	Конвекція і теплопровідність
11. Які види теплопередачі застосовуються при розрахунку втрат теплової енергії з поверхні печі?	Теплопровідність	Випромінювання	Конвекція	Конвекція і теплопровідність	Випромінювання і теплопровідність

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
12. Який колір фарби вибрати для фарбування поверхні печі з метою зменшення теплових втрат?	Блакитний	Жовтий	Червоний	Срібний	Чорний
13. Чи зміниться переріз нагрівача при підвищенні напруги, що подається на фазовітку нагрівача?	Не зміниться	Зменшиться	Збільшиться	Не вплине на розміри нагрівача	-
14. Від чого не залежить величина питомої потужності реального нагрівача ω ?	Від матеріалу нагрівача	Від напруги живлення	Від форми нагрівача і способу розміщення в печі	Від співвідношення розмірів деталей, що нагріваються, і площини внутрішньої поверхні робочої камери печі	Від робочої температури печі
15. Вкажіть правильне співвідношення енергії випромінювання полірованого мідного листа q_1 і графіту q_2 , які знаходяться при однаковій температурі.	$q_1 = q_2$	$q_1 > q_2$	$q_1 < q_2$	-	-

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
16. Зміна якої фізичної властивості пов'язана з залежністю від зміни температури і використовується в термометрах опору?	Зміна геометричних розмірів при нагріванні	Зміна величини електрорушійної сили	Зміна величини електричного опору	Зміна величини теплового випромінювання	Зміна максимуму інтенсивності випромінювання в зоні червоного діапазону електромагнітних хвиль
17. Яка напруга подається на електроди соляної печі-ванни?	500 В	380 В	220 В	127 В	Ниже 127 В
18. При застосуванні радіаційного пірометра чи буде величина температури, яку покаже прилад, однаковою для нагрітого в одній печі мідного листа та графіту?	Буде однаковою	Температура нагрітого графіту буде більшою	Температура нагрітого мідного листа буде більшою	-	-
19. Який коефіцієнт потужності мають соляні печі-ванни?	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
20. Який коефіцієнт потужності мають печі опору?	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
21. Які печі застосовуються при поточній термообробці деталей малих розмірів?	Камерні печі	Соляні печі-ванни	Шахтні печі	Конвеєрні печі	Печі з прошиванням деталей в робочому просторі

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
22. Яка з наведених переваг соляних печей-ванн є неправильною?	Висока швидкість нагрівання	Захист поверхні виробів, що нагріваються, від окислення	Високі витрати тепла з поверхні ванни	Висока продуктивність	Неперервність роботи
23. Яким приладам треба надати перевагу при здійсненні постійного контролю температури в соляній печі-ванні?	термопара	Термометри опору	Радіаційні пірометри	Оптичні пірометри	-
24. Який прилад базується на компенсувальному методі вимірювання температури?	Термометр опору	Потенціометр	Радіаційний пірометр	Кольоровий пірометр	Оптичний пірометр
25. Як впливає довжина проводів, що з'єднують термопару з потенціометром на похибку при вимірюванні температури?	Не впливає	Довжина проводів не повинна перевищувати 1,5 м	Довжина проводів не повинна перевищувати 2,5 м	Довжина проводів не повинна перевищувати 3,5 м	Довжина проводів не повинна перевищувати 5 м
26. Який з приладів більш точно показує значення температури, що вимірюється?	Термопара	Термометр опору	Кольоровий пірометр	Радіаційний пірометр	Оптичний пірометр
27. В якому діапазоні температур можна здійснювати вимірювання за допомогою термометра опору?	До 650° С	До 1000° С	До 1200° С	До 150° С	До 1400° С

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
28. Який комутаційний апарат не застосовується в схемах живлення печей опору?	Автомат	Рубильник	Масляний вимикач	Запобіжник	Контактор
29. Який зміст вкладається в поняття "позиційне регулювання температури"?	Регулювання шляхом періодичного ввімкнення і вимкнення нагрівачів печі опору	Регулювання за допомогою дроселів насичення	Регулювання за допомогою реостатів	Регулювання за допомогою автотрансформаторів	Регулювання за допомогою тиристорних контакторів
30. Які елементи електричного обладнання не входять до складу електронних потенціометрів?	Блок задавача температури	Місток електричних опорів	Блок підсилення U і P	Елемент Вестона	Реверсивні двигуни
31. Чому піч опору, як об'єкт автоматичного регулювання, не потребує, в більшості випадків, неперервного регулювання температури?	Внаслідок складності системи регулювання	Внаслідок значної теплової інерції футеровки та датчиків температури	Внаслідок складності регулювання температури по електричних зонах печі	Внаслідок індивідуального живлення кожної електричної зони печі	Внаслідок того, що в цьому немає необхідності
32. Який з елементів не входить до структури дуги постійного струму?	Стовп дуги	Катодний простір	Анодний простір	Анодна пляма	Катодна пляма

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
33. Який з факторів не впливає на величину спаду напруги дуги постійного струму в катодному і анодному просторі?	Сила струму	Матеріал електрода	Вид газу	Тиск газу в між-електродному просторі	Ступінь іонізації міждугового проміжку
34. Від яких факторів залежить напруга дуги постійного струму при струмах > 200 А?	Від довжини дуги	Від величини струму	Від ступеня іонізації міждугового проміжку	Від тиску газу в між-електродному проміжку	Від матеріалу електрода
35. Як зміниться час переривання струму дуги в момент зміни полярності напруги джерела живлення (у випадку підвищення напруги джерела живлення) при відсутності в електричному колі індуктивності?	Зменшиться	Залишиться без змін	Збільшиться	-	-
36. Який з трьох можливих способів регулювання величини струму дуги не застосовується в дугових установках?	Регулювання напруги холостого ходу	Регулювання довжини стовпа дуги	Регулювання величини активного опору дуги	Комбінування регулювання напруги холостого ходу і довжини стовпа дуги	-
37. Як вплине на стійкість дуги збільшення активного опору кола електричної дуги?	Стійкість погіршиться	Стійкість покращиться	Залишиться без змін?	Приведе до втрати стійкості електричної дуги	-

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
38. Як зміниться час переривання струму дуги в момент зміни полярності напруги джерела живлення (у випадку підвищення частоти джерела живлення) при відсутності в електричному колі індуктивності?	Зменшиться	Залишиться без змін	Збільшиться	-	-
39. Струмом якої частоти і напруги здійснюється живлення дугових сталеплавильних печей?	50 Гц і 380 В	1000 Гц і $U = 10$ кВ	50 Гц і $U = (10 - 35)$ кВ	1000 Гц і $U = (10 - 35)$ кВ	Струмом постійної напруги
40. Який період розплавлення сталі є найбільш важким для електрообладнання печі?	Відновлювальний період	Період розплавлення	Окислювальний період	Завантаження в ДСП скрапу (металевого лому)	-
41. З якою метою в схемі живлення ДСП передбачається застосування реактора?	З метою регулювання струму дуги	З метою вибору оптимальних параметрів комутаційного обладнання	З метою обмеження струмів е.к.з.	З метою забезпечення стійкості технологічного процесу	-
42. Де передбачається встановлення реле захисту від перевантажень в схемі живлення дугової печі?	В комірці високовольтного вимикача	В комірці реактора	На стороні вищої напруги пічного трансформатора	На стороні нижчої напруги пічного трансформатора	-

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
46. Як змінюються $\cos \varphi$ і $\eta_{\text{ед}}$ дугової печі при збільшенні струму?	Збільшуються	Залишаються незмінними	Зменшуються	$\cos \varphi$ зростає, а $\eta_{\text{ед}}$ зменшується	$\cos \varphi$ збільшується, а $\eta_{\text{ед}}$ зменшується
47. Які печі і установки є більш енергомісткими?	ДСП	Руднотермічні	Індукційні	Печі опору	Зварювальні установки
48. Які відмінності в схемі живлення руднотермічних печей, у порівнянні зі схемами живлення ДСП, є неправильними?	Електричний режим в руднотермічних печах більш спокійний	Не треба в схемах живлення застосовувати реактор	Неможливо здійснювати вимірювання струмів на стороні нижчої напруги пічного трансформатора	Не треба передбачати регулювання напруги пічним трансформатором під навантаженням	Не треба застосовувати високовольних вимикачів з високим комутаційним ресурсом
49. Від якого параметра не залежить величина е.р.с., що наводиться в плазильному каналі індукційної печі з залізним осердям?	Від частоти струму, що живить первинну обмотку (індуктор)	Від величини електричного опору залізного осердя	Від величини магнітної проникності залізного осердя	Кількості витків індуктора	Перерізу залізного осердя
50. Для плавлення яких металів використовують індукційні печі з залізним осердям?	Кольорових металів	Чавуну	Сталі	Чорних металів	-
51. Як співвідноситься вартість індукційних печей з залізним осердям і тигельними індукційними печами?	Є однаковою	Печі з залізним осердям дорожчі, ніж тигельні	Печі з залізним осердям дешевші, ніж тигельні	-	-

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
52. Вкажіть значення природного $\cos \varphi$ для індукційних печей з залізним осердям	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
53. Вкажіть значення природного $\cos \varphi$ для тигельних індукційних печей	0,1-0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
54. Якою частотою здійснюються живлення індукційних печей з залізним осердям?	50 Гц	100 Гц	500 Гц	1000 Гц	10000 Гц
55. Яка частота не застосовується для живлення тигельних індукційних печей?	50 Гц	(500 – 1000) Гц	(1000-5000) Гц	10000 Гц	100000 Гц
56. Від якого параметра не залежить глибина проникнення індукційного струму в глибину металу?	Питома величина електричного опору металу	Величина струму, що тече через індуктор	Частота струму індуктора	Магнітна проникність	-
57. Який інтервал частот застосовують для поверхневого загартовування струмами високої частоти?	50 Гц	(500 – 1000) Гц	(1000-5000) Гц	10000 Гц	60-100 кГц

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
58. Який тип електромашиного генератора треба обрати для забезпечення робочої частоти тигельних печей в межах 1000-8000 Гц?	Індукторна машина	Генератор з явно вираженими полюсами	Електричний генератор асинхронного типу	-	-
59. Який тип електромашиного генератора треба обрати для забезпечення робочої частоти тигельних печей в межах 100-800 Гц?	Індукторна машина	Генератор з явно вираженими полюсами	Електричний генератор асинхронного типу	-	-
60. Який інтервал частот застосовують для живлення установок діелектричного нагріву?	(0,5-300) МГц	(500 – 1000) Гц	(1000-5000) Гц	10000 Гц	60-100 кГц
61. Яку функцію виконує генераторна лампа в схемі живлення індукційних установок поверхневого загартовування?	Створює височастотні коливання	Перетворює змінний струм у постійний	Виконує роль підсилювального пристрою	Здійснює регулювання частоти	Виконує роль інвертора
62. Від яких факторів не залежить тангенс кута діелектричних втрат $\operatorname{tg}\delta$?	Від виду матеріалу і наявності домішок	Ємності конденсатора	Частоти	Температури	Напруженості електричного поля

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
63. Якому з наведених параметрів треба надати перевагу для збільшення питомої потужності, що виділяється в діелектрику?	Збільшення частоти	Збільшення напруженості електричного поля	Збільшення коефіцієнта втрат	Збільшення $\text{tg}\delta$	-
64. Яка з наведених величин не застосовується для характеристики однополюсних джерел зварювального струму?	Діапазон регулювання зварювального струму	Напруга холостого ходу	Коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт потужності	Струм короткого замикання	Номінальний струм і напруга
65. Вкажіть правильний діапазон напруги підтримання електричної дуги постійного струму	180-220 В	140-180 В	100-140 В	60-100 В	30-40 В
66. Вкажіть правильний діапазон напруги підтримання електричної дуги змінного струму	180-220 В	140-180 В	100-140 В	60-100 В	50-55 В
67. Яка вимога не є характерною для однополюсних джерел зварювального струму?	Струм короткого замикання не повинен перевищувати робочого зварювального струму	Напруга джерела живлення повинна бути більшою, ніж напруга запалення дуги	Джерело живлення повинно передбачати можливість регулювання сили струму електричної дуги	Струм короткого замикання не повинен перевищувати більше, ніж на 40% робочий зварювальний струм	Зовнішня характеристика джерела зварювального струму повинна мати достатню крутизну

Продовження таблиці 1.13

Запитання	Можливі відповіді				
	1	2	3	4	5
68. Який тип зварювального трансформатора може бути віднесений до трансформаторів зі збільшеним магнітним розсіюванням?	СТЕ	СТН	СТШ	-	-
69. Який тип зварювального трансформатора може бути віднесений до трансформаторів з малим магнітним розсіюванням?	СТН	ТС і ТД	ТДФ	СТШ	-
70. Які трансформатори застосовуються в конструкціях зварювальних випрямлячів?	СТЕ	СТН	Однофазні СТШ	3-фазні трансформатори типу СТШ	-
71. В чому полягає відмінність контактного зварювання від електродугового?	У застосуванні інших джерел живлення	У застосуванні зварювальних джерел струму підвищеної частоти	У використанні зварювальних трансформаторів зі збільшеним коефіцієнтом трансформації	У використанні перехідного опору між електродом та виробом для місцевого розплавлення	-
72. Який струм використовується для зварювання в установках контактного зварювання?	Змінний струм	Постійний струм	Струм підвищеної частоти	Струм низької частоти	-

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

2.1 Лабораторна робота № 1 “Зрівноваження і симетрування навантаження електричних печей”

Мета роботи: вивчення явищ зрівноваження та симетрування навантаження електричних печей і освоєння методики розрахунку параметрів для зрівноваження та симетрування.

2.1.1 Вступ

У системах електропостачання промислових підприємств дуже часто зустрічаються такі приймачі електричної енергії, трифазне симетричне виконання яких або неможливе, або через низку причин недоцільне. До таких споживачів, по-перше, відноситься частина печей опору, печі гравітації, більшість установок електричного зварювання тощо.

Спільне живлення однофазних і трифазних приймачів електричної енергії від трифазної чотирипровідної мережі має широке поширення в системах електропостачання промислових підприємств. У таких випадках практично завжди виникає несиметрія навантаження по фазах, а також значні струми в нульовому проводі. Ці фактори призводять до зниження якості напруги і є причиною народногосподарського збитку.

Спеціальними пристроями зрівноваження (ЗП) і симетрування навантажень (СП), компенсацією реактивної потужності, встановленням трансформаторів з автоматичним регулюванням напруги, раціональною побудовою мереж і т.д. вдається звести до припустимого мінімуму зсув нейтралі трифазної системи, відхилення і несиметрію лінійних напруг.

2.1.2 Зрівноваження навантаження електричних печей

Для незрівноваженого режиму характерна наявність струму в нульовому проводі ($3I_0$), який створює зсув нейтралі трифазної системи напруг. Це приводить до зниження фазної напруги приймачів, які живляться від переважаного фази, а також до підвищення фазної напруги приймачів, які живляться з недовантажених фаз. Отже, в окремих випадках, при допустимих відхиленнях і нерівномірностях лінійних напруг, фазні напруги можуть значно відрізнятися від номінальних. Таке явище є характерним для мереж з відносно високим опором четвертого (нульового) провода.

Ліквідувати, або хоча б зменшити зсув нейтралі, можна за рахунок усунення причини виникнення цього явища. З цієї метою здійснюється

повна, або часткова компенсація струму в нульовому проводі. Процес зменшення струму, що протікає по четвертому (нульовому) проводу, отримав назву зрівноваження навантаження.

Зрівноважити трифазне навантаження в чотирипровідній системі можна шляхом під'єднання до мережі нового незрівноваженого навантаження. Такий додатковий пристрій повинен створювати струм нульової послідовності за модулем рівним, а по фазі протилежним, струму нульової послідовності вихідного незрівноваженого навантаження. Відомо, що зрівноваження струмів можна здійснити шляхом "вирівнювання" навантаження, тобто шляхом раціонального попереднього розподілу цих навантажень між окремими фазами. Створення незрівноваженого пристрою здійснюється за рахунок залучення ємнісних і індуктивних елементів. В окремих випадках необхідний для компенсації струм нульової послідовності (ЗП) може бути сформованим тільки ємнісними реактивними елементами.

Дослідженнями встановлено [1], що в загальному випадку зрівноваження може бути здійснене за допомогою конденсаторної установки, увімкненої за схемою несиметричної зірки з заземленою нейтраллю (рисунок 2.1).

Електричне навантаження в даній лабораторній роботі створене однією однофазною пічкою опору. Для такого штучного випадку ефект зрівноваження може бути отриманий за допомогою двопротенової зірки ємностей із заземленою нейтраллю. При врахуванні стодвадцятиградусного зсуву між фазними напругами, а також збігу напрямку струму з напрямком однієї із фазних напруг, для створення відповідного ЗП достатньо тільки дві батареї конденсаторів. Вибір фаз, до яких необхідно приєднати зрівноважувальний пристрій, та його параметри залежать від модуля й орієнтування на комплексній площині вектора струму нульової послідовності вихідного навантаження I_0 (початок відліку на комплексній площині є вектор $\vec{U}_A$). Співвідношення між напрямками струмів нульової послідовності електричного навантаження та зрівноважувального пристрою, а також формули для визначення параметрів ЗП, приведені в таблиці 2.1.

Параметри ЗП за формулами, що приведені в таблиці 2.1, спочатку визначаються в амперах, а потім перераховуються в мікрофаради за формулою (2.1).

$$C = \frac{I}{U \cdot \omega} \cdot 10^6 \text{ мкФ}, \quad (2.1)$$

де I – струм, А;

U – напруга на батареї, В;

ω – кутова частота, радіан.

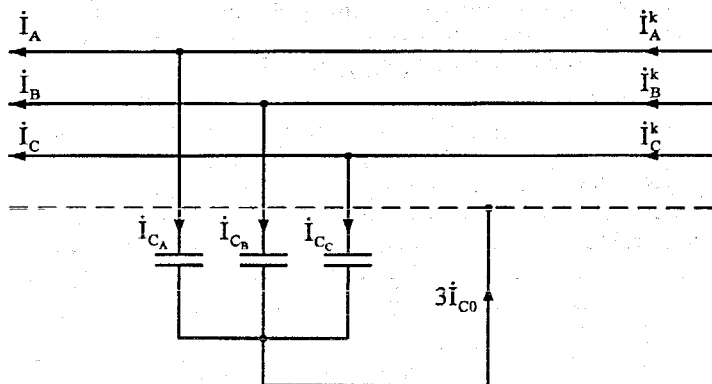


Рисунок 2.1 – Схема зрівноваження

Таблиця 2.1 – Визначення формул для розрахування струмів зрівноважувального пристрою

Положення $\arg \dot{I}_{o_A}$ початкового навантаження відносно $\dot{U}_A$	Необхідний $\arg \dot{I}_{o_A}$ зрівноважуваль- ного пристрою	Формули для вибору струмів зрівноважувального пристрою
1	2	3
$150^\circ \div 270^\circ$	$-30^\circ \div 90^\circ$	$I_{C_A} = \operatorname{Re}(3 \cdot \dot{I}_{o_A}) \cdot \operatorname{tg} \gamma - \operatorname{Im}(3 \cdot \dot{I}_{o_A});$ $I_{C_B} = -\frac{\operatorname{Re}(3 \cdot \dot{I}_{o_A})}{\cos \gamma};$
$270^\circ \div 30^\circ$	$90^\circ \div 210^\circ$	$I_{C_A} = \operatorname{Re}(3 \cdot \dot{I}_{o_A}) \cdot \operatorname{tg} \delta - \operatorname{Im}(3 \cdot \dot{I}_{o_A});$ $I_{C_C} = -\frac{\operatorname{Re}(3 \cdot \dot{I}_{o_A})}{\cos \delta};$
$30^\circ \div 150^\circ$	$210^\circ \div 330^\circ$	$I_{C_B} = \frac{\operatorname{Im}(3 \cdot \dot{I}_{o_A}) \cdot \cos \delta - \operatorname{Re}(3 \cdot \dot{I}_{o_A}) \cdot \sin \delta}{\sin(\delta - \gamma)};$ $I_{C_C} = \frac{\operatorname{Re}(3 \cdot \dot{I}_{o_A}) \cdot \sin \gamma - \operatorname{Im}(3 \cdot \dot{I}_{o_A}) \cdot \cos \gamma}{\sin(\delta - \gamma)}$

У таблиці 2.1 прийняті такі позначення:

$\text{Re } \dot{I}_{0_A}$ - дійсна частина вектора струму нульової послідовності, який орієнтований стосовно фазної напруги $\dot{U}_A$, А;

$\text{Im } \dot{I}_{0_A}$ - уявна частина того ж самого вектора $\dot{I}_{0_A}$, А;

$\gamma=330^\circ$, $\delta=210^\circ$ - сталі величини, які характеризують деякі розрахункові значення кутів, град.

Зрівноважувальний пристрій, як видно з його структури, (рисунк 2.1) одночасно з компенсацією струму нульової послідовності буде змінювати режим зворотної послідовності. Тому, в першу чергу, необхідно виконувати зрівноваження режиму, а потім його симетрування.

2.1.3 Симетрування навантаження електричних печей

Несиметрію навантаження прийнято визначати вектором струму зворотної послідовності основної фази, наприклад, $\dot{I}_{\Pi_A}$, а в низці випадків

коефіцієнтом несиметрії струмів $k_1 = \frac{|\dot{I}_{\Pi_A}|}{|\dot{I}_{I_A}|}$. Процес симетрування режиму

можна здійснити ввімкненням у мережу додаткового несиметричного навантаження (симетрувального пристрою), модуль струму зворотної послідовності якого $\dot{I}_{\Pi_A}^C$ буде рівним $\dot{I}_{\Pi_A}^H$, а фаза зсунута на 180 електричних градусів щодо вектора $\dot{I}_{\Pi_A}$. Симетрувальні пристрої (СП) можуть бути класифіковані за різними ознаками [2]. В даній лабораторній роботі досліджується симетрувальний пристрій зі статичними реактивними (ємнісними) елементами.

Розрахунки показують, що симетрування режиму при симетричних прикладених напругах можна здійснити за допомогою двох однофазних батарей конденсаторів, приєднаних до мережі паралельно. Величини струмів, які формуються цими батареями, і вибір фаз мережі для їх під'єднання, визначаються модулем і аргументом (фазою) вектора струму зворотної послідовності навантаження $\dot{I}_{\Pi_A}$.

Ввімкнення в мережу СП з заданими параметрами забезпечує симетрування режиму. Подальша його оптимізація може зводитися до компенсації реактивної потужності (індуктивної чи ємнісної), тому що в отриманому симетричному режимі будуть мати місце значні кутові зсуви між струмами і напругами. Практично питання симетрування режиму і компенсації реактивної потужності потрібно намагатися вирішувати одночасно, оскільки при цьому можна з найбільшою повнотою

використовувати потужність батарей конденсаторів. Однак у даній лабораторній роботі, з методичної точки бачення, цей єдиний процес оптимізації спеціально розділений для того, щоб повніше з'ясувати процес симетрування електронечей. Усі необхідні дані для визначення параметрів СП зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Визначення формул для розрахування струмів симетрувального пристрою

Положення $\arg \dot{I}_{\Pi_A}$ відносно $\dot{U}_0$	Необхідний $\arg \dot{I}_{\Pi_A}$ симетру- вального пристрою	Формули для вибору струмів симетрувального пристрою
$60^\circ \div 180^\circ$	$0^\circ \div -120^\circ$	$I_{c_{BC}} = -\operatorname{Re}(\dot{I}_{\Pi_A}) + \sqrt{3} \operatorname{Im} \cdot \dot{I}_{\Pi_A}$ $I_{c_{CA}} = -2 \cdot \operatorname{Re}(\dot{I}_{\Pi_A})$;
$180^\circ \div -60^\circ$	$0 \div 120^\circ$	$I_{c_{AB}} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{Im}(3 \cdot \dot{I}_{\Pi_A}) + \operatorname{Re} \dot{I}_{\Pi_A}$ $I_{c_{CA}} = -\operatorname{Re} \dot{I}_{\Pi_A} - \sqrt{3} \operatorname{Im} \dot{I}_{\Pi_A}$;
$-60^\circ \div 60^\circ$	$120^\circ \div 240^\circ$	$I_{c_{AB}} = 2 \cdot \operatorname{Re} \dot{I}_{\Pi_A}$; $I_{c_{BC}} = \operatorname{Re} \dot{I}_{\Pi_A} + \sqrt{3} \operatorname{Im} \dot{I}_{\Pi_A}$

У цій таблиці прийняті такі позначення:

- $\operatorname{Re} \dot{I}_{\Pi_A}$ - дійсна частина вектора струму зворотної послідовності фази А, що утворився після під'єднання симетрувального пристрою;
- $\operatorname{Im} \dot{I}_{\Pi_A}$ - уявна частина вектора струму зворотної послідовності фази А.

На лабораторному стенді представлена деяка електрична мережа. До різних фазних напруг цієї мережі може бути під'єднана однофазна електропіч (її опір чисто активний), що і створює незрівноважений несиметричний режим. Вимірювання струмів здійснюється по черговим перемиканням амперметра на різні фази. Розрахункові параметри ЗП і СП можуть бути набрані за допомогою тумблерів, що вимикають окремі секції ємнісних батарей, розміщених на стенді.

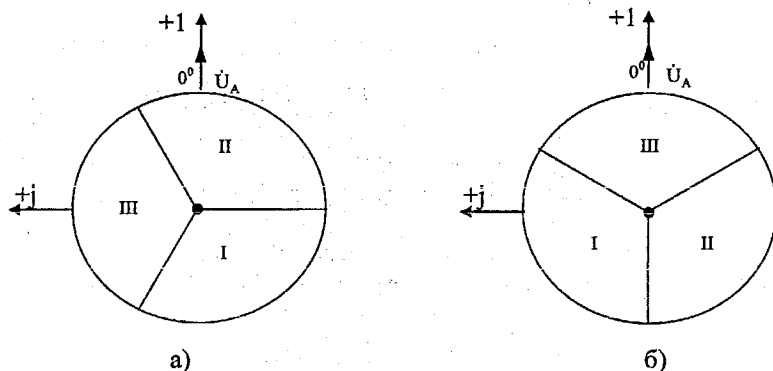


Рисунок 2.2 – Діаграми орієнтування векторів струму:
а) – нульової послідовності; б) – зворотної послідовності

2.1.4 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Після ретельного ознайомлення з методичним посібником і лабораторним стендом, бригада студентів одержує від викладача дозвіл на увімкнення електропечі в мережу.
2. Здійснюється збирання схеми з навантаженням, вимірюються струми в фазах і складається векторна діаграма струмів та напруг.
3. За виразом:

$$\dot{I}_{oA} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) \quad (2.2)$$

визначається вектор струму нульової послідовності електропічного навантаження щодо вектора $\dot{U}_A$.

4. Відповідно до таблиці 2.1, вибираються необхідні розрахункові формули й обчислюються параметри двофазного зрівноважувального пристрою, виражені в струмах. Далі розраховуються параметри ЗП в мікрофарадах і набираються необхідні ємності на стенді.

5. Після спільного ввімкнення навантаження і зрівноважувального пристрою, потрібно переконатися шляхом вимірювань у відсутності струму в нейтральному проводі та виміряти фазні струми.

6. Побудувати векторну діаграму струмів і напруг.

7. Обчислити величину і фазу струму зворотної послідовності відносно $\dot{U}_A$ за формулою:

$$\dot{I}_{IIA} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C), \quad (2.3)$$

де $\dot{a} = e^{j120^\circ}$; $\dot{a}^2 = e^{j240^\circ}$

8. З таблиці 2.2 вибрати необхідні розрахункові формули і визначити параметри СП.

9. Підібрати за допомогою тумблерів на стенді необхідні ємності СП.

10. Увімкнути симетрувальний пристрій і шляхом безпосередніх вимірювань та побудовою векторної діаграми переконатися в симетрії режиму.

УВАГА: На від'єднаних від мережі клемах елементного зрівноважувального і симетрувального пристроїв може зберігатися залишковий заряд!

2.1.5 Вимоги до звіту

У звіті про виконану лабораторну роботу повинно бути наступне:

1. Причини, що мотивують необхідність зрівноваження навантаження.
2. Варіант під'єднання печі опору на одну з трьох фаз (задається викладачем).
3. Векторна діаграма, яка ілюструє орієнтування на комплексній площині вектора струму нульової послідовності навантаження.
4. Розрахункові формули і послідовність розрахунків параметрів зрівноважувального пристрою.
5. Векторна діаграма, що ілюструє процес зрівноваження навантаження (теоретична).
6. Експериментальні значення струмів у фазах і в нейтральному проводі після увімкнення зрівноважувального пристрою.
7. Розрахунок параметрів СП.
8. Векторні діаграми струмів і напруг, що пояснюють орієнтацію вектора $\dot{I}_{\Pi_A}$ і факт симетрування режиму.
9. Експериментальні значення величин струмів після ввімкнення СП.
10. Висновки по роботі.

2.1.6 Приклад розрахунку та побудови векторних діаграм

Розглянемо варіанти під'єднання печі до фази А і фази О. Нехай величина струму дорівнює $I_H=1,6$ А.

1. Зрівноваження режиму

Розрахунок:

Оскільки суто активне навантаження ввімкнуте у фазу А, то вектор струму навантаження буде збігатися з вектором напруги відповідної фази.

$$\dot{I}_{oA}^R = I_H \cdot e^{j0^\circ} = 1,6e^{j0^\circ} \text{ A.}$$

Розрахуємо вектор струму нульової послідовності

$$\dot{I}_{oA} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = \frac{1}{3}(1,6e^{j0^\circ} + 0 + 0) = 0,533e^{j0^\circ} \text{ A.}$$

За рисунком 2.2а та таблицею 2.1 визначаємо формули розрахунку параметрів ЗП. Вектор $\dot{I}_o$ має зсув по фазі 0° . Тому, згідно з рисунком 2.2а, з таблиці 2.1 потрібно вибрати формулу другого варіанта

$$I_{cA} = \text{Re}(3 \cdot \dot{I}_{oA}) \cdot \text{tg} \delta - \text{Im}(3 \cdot \dot{I}_{oA});$$

$$I_{cC} = \frac{\text{Re}(3 \cdot I_{oA})}{\cos \delta}$$

Розрахуємо струм елементів ЗП.

$$\dot{I}_{oA} = 0,533e^{j0^\circ} = 0,533 + j0 \text{ A,}$$

$$I_{cA} = 1,6 \cdot \text{tg} 210 = 0,923 \text{ A}$$

$$I_{cC} = \frac{-\text{Re}(3 \cdot (0,533 + j0))}{\cos 210^\circ} = 1,846 \text{ A.}$$

Визначимо ємності елементів ЗП.

$$C_A = \frac{I_{cA}}{U \cdot \omega} \cdot 10^{-6} = \frac{0,923}{220 \cdot 314,159} \cdot 10^{-6} = 13,354 \text{ мкФ,}$$

$$C_C = \frac{1,846}{220 \cdot 314,159} \cdot 10^{-6} = 26,708 \text{ мкФ.}$$

Розрахуємо струми у фазах аналогічно (див. рисунок 2.2).

Струм у фазі після зрівноваження

$$\dot{I}_{Ao\Sigma} = \dot{I}_{HA} + \dot{I}_{cA}$$

Вектор $\dot{I}_{cA}$ випереджає $\dot{U}_A$ на 90° , тому $\dot{I}_{cA} = 0,923e^{j90^\circ}$, A.

$$\dot{I}_{Ao\Sigma} = 1,6\dot{a}^{j0^\circ} + 0,923\dot{a}^{j90^\circ} = (1,6 + j0) + (0 + j0,923) = 1,6 + j0,923 = 1,846e^{j30^\circ} \text{ A.}$$

Струм фази С дорівнює струму $\dot{I}_{cC}$.

Струм $\dot{I}_{cC}$ випереджає по фазі $\dot{U}_C$ на 90° , тому

$$\dot{I}_{cO\Sigma} = \dot{I}_{cC} = 1,846e^{j(90^\circ + 120^\circ)} = 1,846e^{j210^\circ} \text{ A.}$$

Струм нейтралі $3 \cdot \dot{I}_{O\Sigma}^H$

$$3 \cdot \dot{I}_{O\Sigma}^H = \dot{I}_{Ao\Sigma} + \dot{I}_{Bo\Sigma} + \dot{I}_{cO\Sigma} = 1,846e^{j30^\circ} + 1,846e^{j210^\circ} = (1,6 + j0,923) + (-1,6 - j0,923) = 0$$

Побудова векторної діаграми

Побудуємо вектори фазних та лінійних напруг (див. рисунок 2.7). Зобразимо вектор $\dot{I}_{oA}^R$ у довільному масштабі, початок якого проводимо з точки 0, а напрямок збігається з напрямком фазної напруги $\dot{U}_A$. З кінця вектора $\dot{I}_{oA}^R$ відкладемо вектор $\dot{I}_{cA}$ під кутом 90° в напрямку випередження струмом $\dot{I}_{cA}$ відповідної фазної напруги $\dot{U}_A$. Геометрична сума вектора $\dot{I}_{oA}^R$ і $\dot{I}_{cA}$ дорівнює вектору $-\dot{I}_{Ao\Sigma}$, де $\dot{I}_{Ao\Sigma} = (\dot{I}_{Ao}^R + \dot{I}_{cA})$. З точки 0 відкладемо вектор $\dot{I}_{Co\Sigma}$. Якщо все зроблено правильно, то побачимо, що $\dot{I}_{Ao\Sigma} + \dot{I}_{Co\Sigma} = 0$.

2. Симетрування режиму (Розрахунок)

Обчислимо струм зворотної послідовності

$$\dot{I}_{IIA} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C) = \frac{1}{3}(1,846 e^{j30^\circ} + e^{j240^\circ} \cdot 0 + e^{j120^\circ} \cdot 1,846 e^{j210^\circ}) = \frac{1}{3}((1,6 + j0,923) + (-0,5 + j0,867)(-1,6 - j0,923)) = 1,067 + j0 = 1,067 e^{j0^\circ} \text{ А.}$$

За рисунком 2.2б та таблицею 2.2 визначаємо формули розрахунку параметрів СП. Оскільки вектор $\dot{I}_{IIA}$ має зсув по фазі 0° , то згідно з рисунком 2.2б та таблицею 2.2 потрібно вибрати формули для третього варіанта:

$$I_{cAB} = 2 \cdot \operatorname{Re} \dot{I}_{IIA};$$

$$I_{cBC} = \operatorname{Re} \dot{I}_{IIA} + \sqrt{3} \operatorname{Im} \dot{I}_{IIA}.$$

Розрахуємо струми елементів СП.

$$I_{cAB} = 2 \operatorname{Re}(1,067 + j0) = 2,134 \text{ А.}$$

$$I_{cBC} = \operatorname{Re}(1,067 + j0) + \sqrt{3} \operatorname{Im}(1,067 + j0) = 1,067 + 0 = 1,067 \text{ А.}$$

Обчислимо ємності елементів

$$C_{AB} = \frac{I_{cAB}}{U \cdot \omega} \cdot 10^6 = \frac{2,134}{380 \cdot 314,16} \cdot 10^6 = 18 \text{ мкф,}$$

$$C_{BC} = \frac{I_{cBC}}{U \cdot \omega} \cdot 10^6 = \frac{1,067}{380 \cdot 314,16} \cdot 10^6 = 9 \text{ мкф.}$$

Розрахуємо струми в фазах (див. рисунок 2.4).

Струм у фазі А $\dot{I}_A = \dot{I}_{Ao\Sigma} + \dot{I}_{cAB}$.

Вектор $\dot{I}_{cAB}$ випереджає напругу $\dot{U}_{AB}$ на 90° , тому $\dot{I}_{cAB} = 2,134 \cdot e^{j120^\circ}$,

$$\dot{I}_A = 1,847e^{j30^\circ} + 2,132e^{j120^\circ} = (1,6 + j0,9235) + (-1,066 + j1,846) = 0,532 + j2,77 = 2,821e^{j80^\circ} \text{ A.}$$

$$\text{Струм у фазі В} \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{C_{BC}} - \dot{I}_{C_{AB}}$$

Вектор $\dot{I}_{C_{BC}}$ випереджає напругу $\dot{U}_{BC}$ на 90° , тому $\dot{I}_{C_{BC}} = 1,066 \cdot e^{j0^\circ}$,

$$\dot{I}_B = 1,066e^{j0^\circ} - 2,132e^{j120^\circ} = (1,066 + j0) - (-1,066 + j1,846) = 2,132 - j1,846 = 2,82e^{-j41^\circ} \text{ A.}$$

$$\text{Струм у фазі С} \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{C_{0\Sigma}} - \dot{I}_{C_{BC}}$$

$$\dot{I}_C = 1,846e^{j210^\circ} - 1,066e^{j0^\circ} = (-1,599 - j0,923) - (1,066 + j) = 2,665 - j0,923 = 2,82e^{-j160^\circ} \text{ A.}$$

Струм нейтралі

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = (0,532 + j2,77) + (2,132 - j1,846) + (-2,665 - j0,923) = -0,001 + j0,001 \approx 0.$$

Побудова векторної діаграми

Послідовність побудови векторної діаграми у відповідності з рисунком 2.9 є такою. З кінця вектора $\dot{I}_{A0\Sigma}$ відкладемо вектор $\dot{I}_{C_{AB}}$. З'єднаємо точку 0 з кінцем вектора $\dot{I}_{C_{AB}}$ і отримаємо струм фази А – $\dot{I}_A$.

З кінця вектора $\dot{I}_{C_{BA}}$ відкладемо вектор $\dot{I}_{C_{BC}}$. З'єднаємо точку 0 з кінцем вектора $\dot{I}_{C_{BC}}$ і отримаємо $\dot{I}_B$.

З кінця вектора $\dot{I}_{C_{0\Sigma}}$ ($\dot{I}_{C_c}$) відкладемо вектор $(-\dot{I}_{C_{BC}})$. З'єднаємо точку 0 з кінцем вектора $\dot{I}_{C_{BC}}$ і отримаємо $\dot{I}_C$.

Всі струми, для яких виконуються розрахунки, та їх напрямки зображені на рисунках 2.3-2.4. Векторні діаграми струмів зрівноваження і симетрування навантаження приведені на рисунках 2.5-2.9

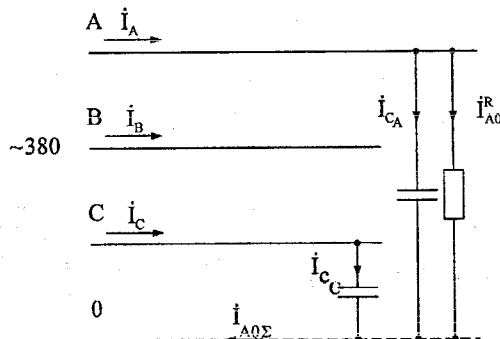


Рисунок 2.3 – Зрівноваження однофазного навантаження в фазі А

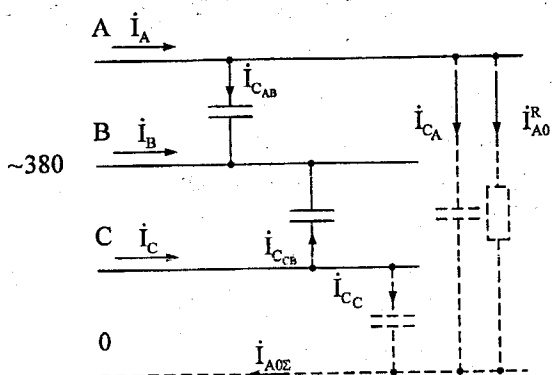


Рисунок 2.4 – Симетрування зрівноваженого навантаження в фазі А

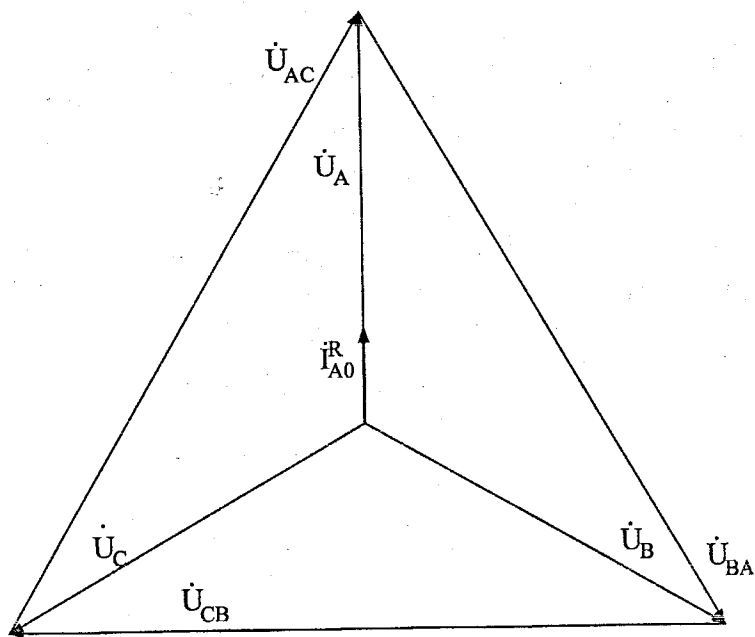


Рисунок 2.5 – Діаграма струму навантаження

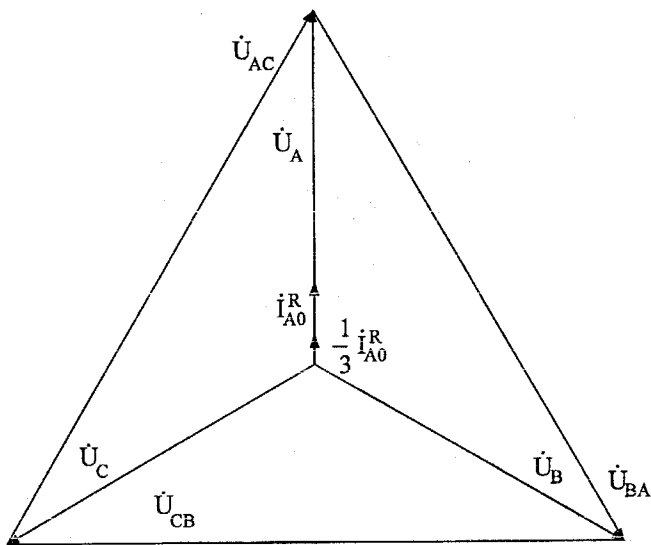


Рисунок 2.6 – Діаграма струму нульової послідовності

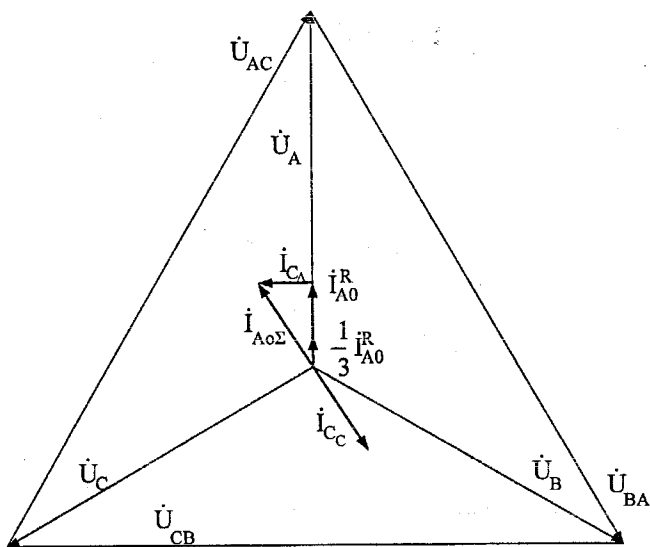


Рисунок 2.7 – Діаграма струмів після виконання зрівноваження навантаження, яке приєднане до фази А

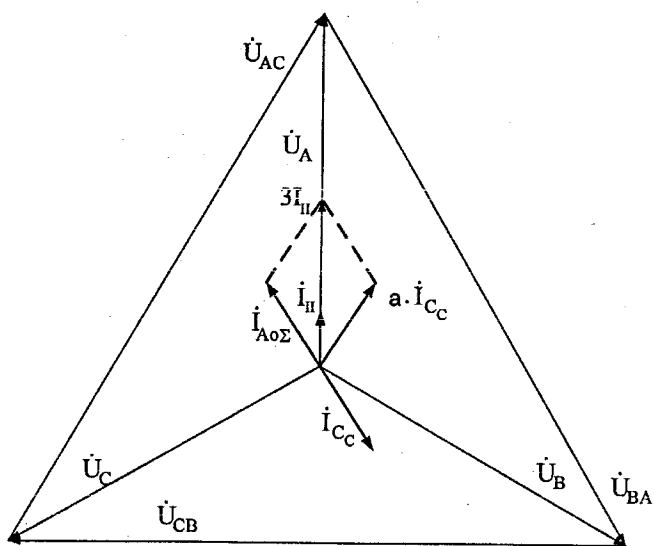


Рисунок 2.8 – Діаграма струмів оберненої послідовності

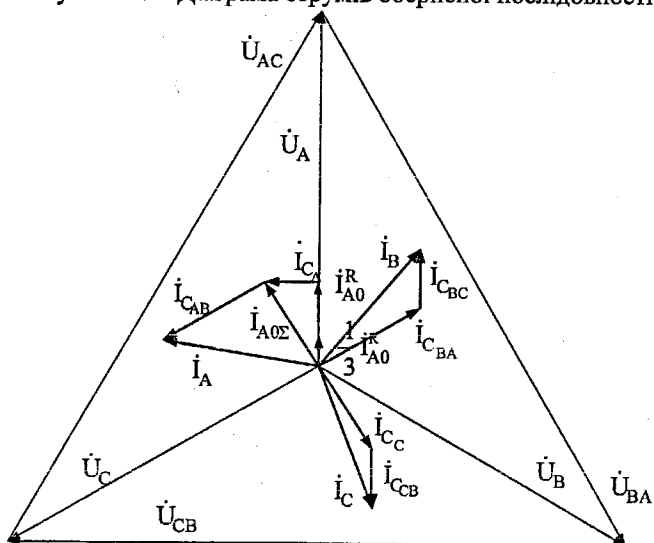


Рисунок 2.9 – Загальна діаграма струмів після виконання зрівноваження та симетрування однофазного навантаження у фазі А

2.1.7 Контрольні запитання

1. Чому існування несиметричних і незрівноважених режимів є небажаним?
2. Чи можуть існувати незрівноважені режими в системах з ізольованою нейтраллю?
3. Який рівень несиметрії напруги допускає ДСТУ на якість електричної енергії?
4. Якими параметрами характеризуються незрівноважені і несиметричні режими?
5. Який характер навантаження мають печі опору (індуктивний, активний, ємнісний, активно-ємнісний, активно-індуктивний)? Поясніть свою відповідь.
6. Як фізично пояснити процес зрівноваження навантаження?
7. Як фізично пояснити процес симетрування навантаження?
8. Чому в лабораторній роботі пропонується спочатку виконати зрівноваження режиму, а потім його симетрування? Чи можна навпаки?
9. Чи можливе самостійне існування несиметричних і незрівноважених режимів?

Література [1, 2, 3]

2.2 Лабораторна робота № 2 “Визначення параметрів імпульсних розрядів електроерозійного верстата”

Мета роботи: вивчення методу електроерозійної обробки матеріалів, відповідного устаткування і системи автоматичного регулювання подачі електрода-інструмента на прикладі електроерозійного верстата моделі 4611, а також визначення параметрів імпульсних розрядів за даними експериментальних осцилограм.

2.2.1 Вступ

Характерними особливостями сучасного науково-технічного прогресу в машинобудуванні, приладобудуванні, інструментальній промисловості є широке впровадження виробів з таких металів і сплавів, які відрізняються надвисокою міцністю, твердістю та іншими особливими властивостями. Механічна обробка таких виробів на металорізальних верстатах пов'язана з великими труднощами, а в деяких випадках взагалі є неможливою. Виключенням є абразивне шліфування, яке також потребує великих зусиль і має обмежене коло застосування. Такий стан речей визначив активні наукові дослідження в напрямку пошуку принципово нових методів обробки понад твердих металів і сплавів. До таких методів відноситься електроерозійний спосіб обробки струмопровідних матеріалів, який вперше був запропонований у 1943 р. радянськими вченими

Лазаренком Б.Р. і Лазаренко Н.І. Цей метод значно розширив можливості сучасної технології, дозволивши успішно обробляти будь-які струмопровідні матеріали незалежно від їх твердості і в'язкості.

В сьогоденні електроерозійні методи обробки матеріалів набули широкого застосування в Україні і у всіх країнах світу, в яких є розвинене промислове виробництво машин і приладів.

Електроерозійна обробка за своїми електрофізичними принципами перетворення і використання електричної енергії відноситься до електротехнологічних процесів.

2.2.2 Опис установки

Визначення параметрів імпульсів в даній роботі виконується на електроерозійному прошивальному верстаті моделі 4611. Даний верстат призначений для видалення залишків зламаного інструмента електроерозійним способом з різних деталей. Крім основного свого призначення верстат може бути використаний для виготовлення, в чорновому вигляді, фасонних отворів в струмопровідних матеріалах будь-якої твердості.

Верстат складається з трьох основних частин (рисунок 2.10):

- 1) головки з приводом подачі електрода-інструмента і вібратором;
- 2) стойки для кріплення головки і її координатних переміщень;
- 3) пульта з електроапаратурою, гідроапаратурою і столом.

Головка

В головці передбачене поступальне переміщення повзунка з інструментом за допомогою електродвигуна через редуктор чи маховичка, вручну, при вимкненій черв'ячній передачі. Крім того, шпиндель з інструментом вібрує. Поступальне переміщення здійснюється від електродвигуна СЛ-261 потужністю 24 Вт на 110 В, увімкненого як виконавчий орган в електричне коло автоматичного регулятора подачі електрода-інструмента.

Пульт з електроапаратурою, гідроапаратурою і столом

Пульт є звареною конструкцією, всередині якої два відсіки. В одному відсіку розміщується бак з електронасосом типу ПА-22 для робочої рідини (масла або води). В іншому відсіку розміщується електроустаткування верстата. Зверху встановлюється панель керування. На пульті кріпиться стілець з трьома пазами.

Електрообладнання і принципова електрична схема верстата

Електроустаткування верстата розміщується в правому відсіку пульта і складається з наступних основних вузлів: 1) панелі електроустаткування; 2) панелі керування; 3) трансформатора; 4) селенового випрямляча; 5) блока опорів; 6) магнітного підсилювача.

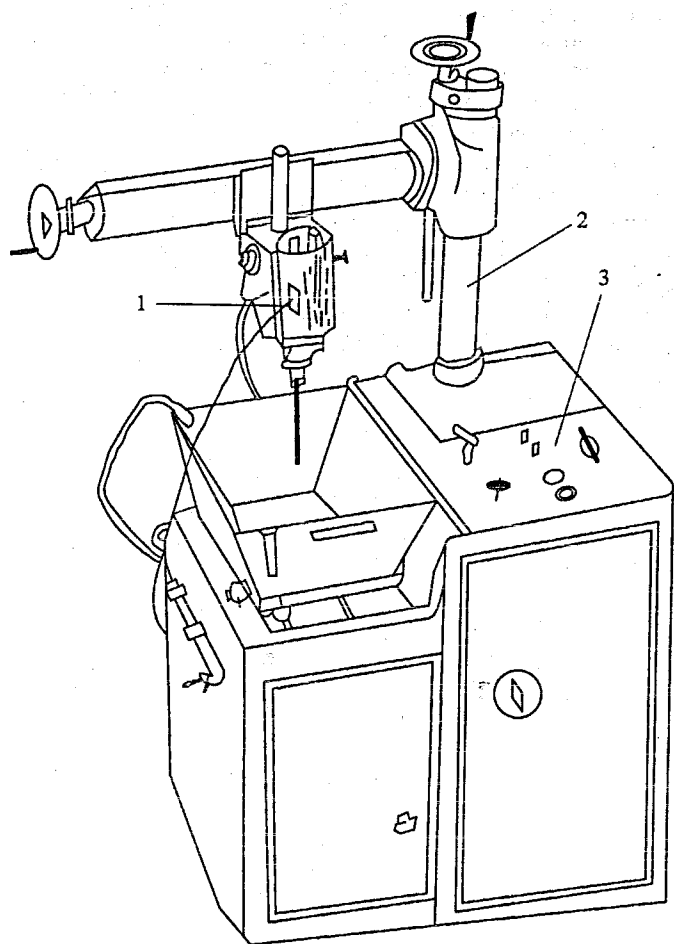


Рисунок 2.10 – Електроерозійний прошивальний верстат моделі 4611
(1-головка; 2-стояк; 3-пульт.)

Імпульсний генератор

Призначений для формування імпульсів струму, підведених до електродів електроерозійного верстата. У верстаті застосований вентильний генератор імпульсів з трьома фіксованими режимами (табл. 2.3), електрична схема якого представлена на рисунку. 2.11. Принцип дії генератора імпульсів даного типу базується на використанні змінного струму промислової частоти для обробки, причому для поліпшення роботи верстата і зменшення зносу електрода-інструмента використовується лише

одна півхвиля синусоїдальної напруги. Це досягається ввімкненням у робоче коло некерованого, у даному випадку, вентиля.

Електрична схема генератора імпульсів забезпечує роботу на маслі і на воді. При роботі на маслі клеми 1-7 і 6-8 замкнуті, а при роботі на воді потрібно замкнути клеми 6-7 і 2-8.

Від силового однофазного трансформатора, що живиться від мережі ($f=50$ Гц), в позитивні півперіоди напруги після пробію міжелектродного проміжку через вентиль 1СВ і проміжок проходить імпульс електричного струму, тривалість якого менша від півперіоду змінної напруги джерела. Для обмеження амплітуди струму в коло ввімкнений струмообмежувальний опір R_6 , величина якого разом з внутрішнім опором трансформатора визначає амплітуду струму, тобто в даному випадку режим обробки.

Таблиця 2.3 – Можливі режими роботи верстата і положення контактів

Схема перемикача - ПР			
Контакти	Режими		
	I режим	---	II режим
ПР1	---	X	---
ПР2	X	---	---
ПР3	---	---	X
ПР4	---	---	X

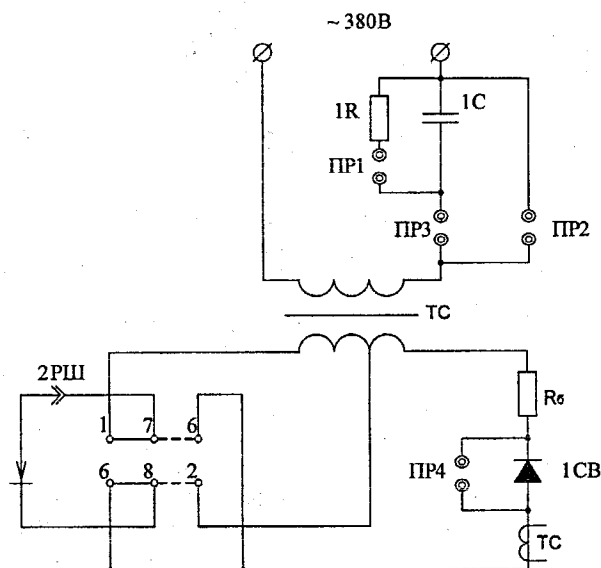


Рисунок 2.11 – Схема імпульсного перетворювача

Пристрій для автоматичного регулювання подачі електрода-інструмента

При електроерозійній обробці необхідно забезпечити сталість певних параметрів (зазору між електродами, робочого струму, напруги на генераторі імпульсів і т.д.). Задача стабілізації цих параметрів, які довільно змінюються під дією випадкових чи важкопрогнозованих факторів, вирішується на основі застосування системи автоматичного регулювання (АР).

Автоматичне регулювання зазору між електродами здійснюється на основі його вимірювання і функціонального перетворення у величину подачі електрода-інструмента V_n , вимірюваної в мм/хвил. При стабільному режимі обробки величина подачі V_n може залишатися постійною, але будь-яка зміна процесу буде викликати зміну регульованої величини зазору, на що система автоматичного регулювання (САР) повинна реагувати зміною подачі V_n так, щоб повернути величину зазору до заданого значення. Зміна величини зазору відбувається внаслідок зносу анода (електрода-інструмента) і зняття металу з катода (деталі).

Слід зазначити, що основний параметр - зазор S між електродами - не може бути використаний як регульована величина, тому що зараз немає прийнятних засобів для його вимірювання в процесі роботи верстата. У зв'язку з цим, для вимірювання величини зазору використовують непрямі параметри, які приблизно відображають зміну основних параметрів - середню чи амплітудну напругу між електродами і робочий струм. В електроерозійному верстаті даної конструкції для керування використовують відразу два параметри (робочий струм і напругу).

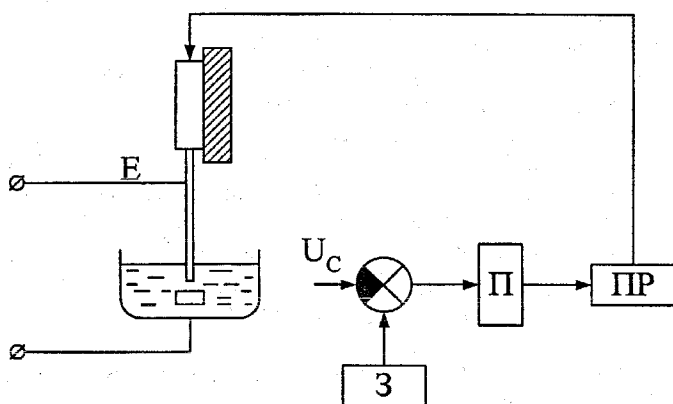


Рисунок 2.12 – Структурна схема САР

Структурна схема САР, яка показана на рисунку 2.12, електроерозійного верстата використовує вхідний сигнал (напруги, струму) U_c , який несе інформацію про величину зазору між електродами. Цей сигнал надходить через підсилювач П на привід ПР, що здійснює подачу електрода-інструмента. Завдання регульованої величини здійснюється органом налагодження З, що впливає на коло підсилювача В чи безпосередньо на привід П.

В електроерозійному верстаті мод. 4611 передбачена САР з магнітним підсилювачем.

Від автотрансформатора АТ змінна напруга 220 В подається на вхід магнітного підсилювача (МП) регулятора подачі (рисунок 2.14). На вихідні клеми обмотки постійного струму МП через запобіжник 4ПП тумблер 2ВТ і мікроперемикач ПВ під'єднаний якір електродвигуна 1М регулятора подачі. Обмотка збудження електродвигуна 1М живиться від випрямляча 12В.

Схема двотактного МП з виходом на постійному струмі складається з двох здвоєних дроселів насичення (рисунок 2.13). На кожному з чотирьох осердь розташовано по дві однакові робочі обмотки.

Обмотки керування розташовані на двох осердях. Послідовно з кожною робочою обмоткою увімкнений випрямляч (германієвий діод 1В - 8В). Таке увімкнення створює внутрішній зворотний зв'язок. Через кожну з обмоток 1W і 2W протікає двонапівперіодний випрямлений струм різних напрямків. Постійна складова магнітного потоку цих обмоток і створює зворотний зв'язок, тобто в даному підсилювачі обмотки 1W і 2W одночасно виконують роль зворотного зв'язку.

Схема є двонапівперіодною, причому в один півперіод проводять випрямлячі 1В та 2В, а в інший 3В та 4В в одній мостовій схемі. В іншій мостовій схемі - в один півперіод проводять 5В та 6В, і в іншій - 7В та 8В. Отже, створюється здвоєна мостова схема, мости якої працюють позмінно по півперіодах і ідентично. Дроселі 1W та 2W відносяться до протилежних плечей моста. Отже, увімкнення початків і кінців робочих обмоток та обмоток керування взаємозворотне, тобто, якщо в осерді 1W потік керування і постійна складова, а також потоки, створені відповідними робочими обмотками, збігаються за напрямком, то в осерді іншого плеча 2W вони повинні діяти зустрічно. Тоді осердя 1W буде насичуватись, а осердя 2W розмагнічуватись, отже індуктивність першого дроселя спаде, другого зросте. Завдяки цьому, рівновага моста порушиться і між точками 25 і 36 виникне різниця потенціалів. Через якір електродвигуна 1М потече випрямлений струм.

Струми в плечах 1W і 2W дорівнюють один одному при нульовому сигналі, тепер будуть різні.

Аналогічно, але з зсувом по фазі на 180° , буде працювати і другий міст, причому дроселю $1W_1-1W_{11}$ відповідає дросель $1W_2-1W_{22}$, дроселю $2W_1-2W_{11}$ - дросель $2W_2-2W_{22}$.

Сигнали на обмотки керування $1W_Y-2W_Y$ дроселів МП надходять з робочого проміжку (додатний сигнал) і від трансформатора ТТ (зворотний зв'язок за струмом) через селенові випрямлячі 2СВ і 3СВ. Величину додатного сигналу можна регулювати потенціометром 4R.

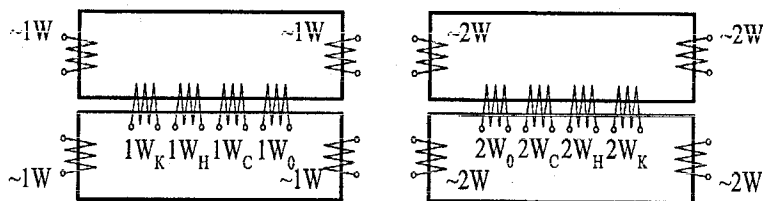


Рисунок 2.13- Схема магнітного підсилювача

Обмотки керування $1W_H-2W_H$ зворотного зв'язку за напругою під'єднані паралельно якорю електродвигуна 1М через потенціометр 11R.

Робота електросхеми верстата

При ввімкненні вхідного пакетного вимикача ВВ напруга мережі подається через запобіжники 1ПП на клеми магнітного пускача "К" і на первинну обмотку трансформатора ТП. При цьому сигнальна лампа 1ЛС засвічується, сигналізуючи про те, що верстат знаходиться під напругою. Пакетний вимикач B_H вимкнений. Перемикач ПР увімкнений на перший чи на другий режим. Натисканням кнопки 2КУ вмикається магнітний пускач К, який здійснює увімкнення трансформатора Тр, електронасоса 2М, автотрансформатора АТ з вібратором ВР. При першому режимі первинна обмотка трансформатора Тр увімкнена через теплове реле 1РТ і перемикач ПР2. Напруга від вторинної обмотки трансформатора Тр подається через баластний опір R_6 , селеновий вентиль 1СВ, трансформатор струму ТТ і далі до електрода-інструмента в головці і на стіл верстата. При другому режимі первинна обмотка трансформатора Тр увімкнена через теплове реле 1РТ, ємність 1С і перемикач ПР3. Напруга від вторинної обмотки трансформатора Тр подається через баластний опір R, перемикач ПР-4, трансформатор струму ТТ і далі до електрода-інструмента в головці і на стіл верстата.

2.2.3 Методичні вказівки

Для здійснення розмірної електроерозійної обробки необхідно підводити до міжелектродного проміжку електричну енергію у вигляді імпульсів.

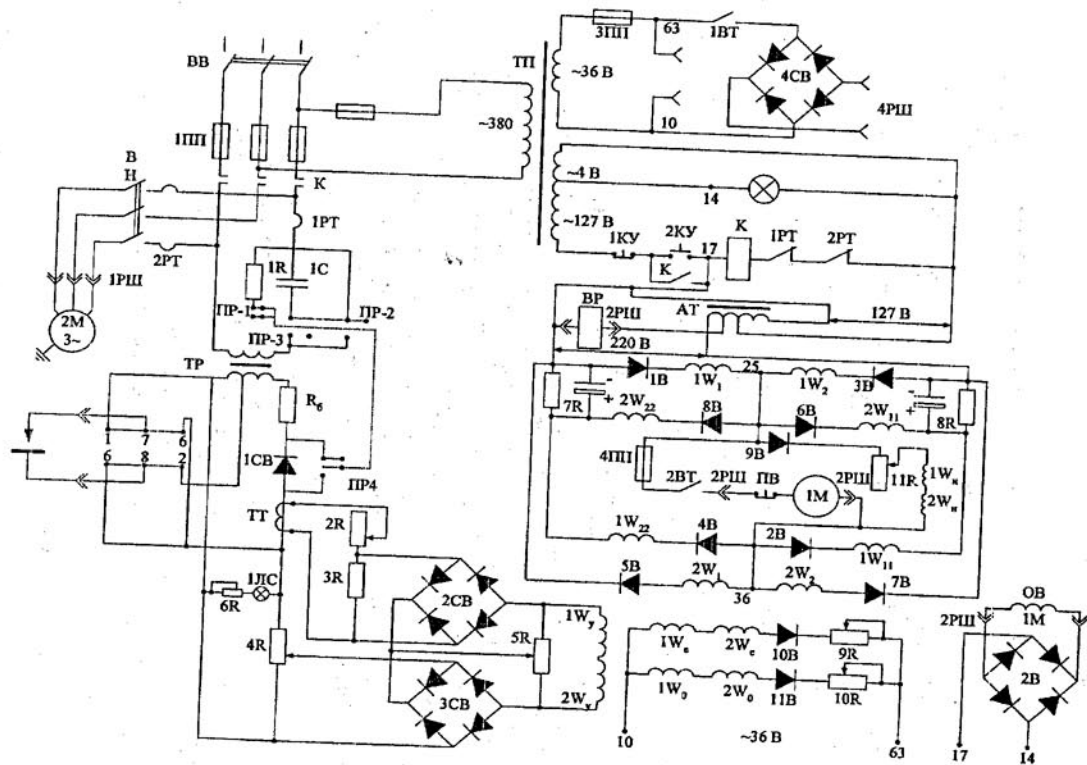


Рисунок 2.14 - Електрична схема електроерозійного верстата

Ефективність обробки і чистота оброблюваної поверхні залежать від параметрів імпульсного розряду. До параметрів імпульсного розряду відносять таке: тривалість імпульсів (мкс), частоту повторення імпульсів (Гц чи імпл/с), шпаруватість, амплітудне значення струму і напруги в імпульсі, енергію імпульсу і деякі інші.

Частота імпульсу f_u - це кількість імпульсів за секунду.

Період імпульсу τ - це величина, яка є оберненою до частоти імпульсу.

Період складається з двох відрізків часу t_u та t_l (рисунок 2.15).

Шпаруватість імпульсу - це відношення періоду до тривалості імпульсу.

Енергія імпульсу визначається виразом $A_u = \int_0^{\Phi} U(t)i(t)dt$

Енергія імпульсу може бути знайдена як $\int_0^{\Phi} U(t)i(t)dt$

Енергію можна визначити наближеним методом - методом прямокутників (див. рисунок 2.15).

Тривалість імпульсів струму і напруги (проміжок інтегрування) розділити точками $t_1, t_2, \dots, t_{n-1}$ на n рівних частин ($6 \div 10$), довжина кожної

$$h = \frac{\tau_u - 0}{n} = \frac{\tau_u}{n}; \text{ вважаємо } t_0 = 0, \tau_u = t_n.$$

Через $t_{1/2}, t_{3/2}, t_{5/2} \dots$ позначимо середини ділянок $(t_0, t_1), (t_1, t_2), (t_2, t_3)$ і т.д. Також позначимо $U(t_0) = U_0; U(t_1) = U_1; U(t_2) = U_2; U(t_3) = U_3 \dots; U(t_{1/2}) = U_{1/2}; U(t_{3/2}) = U_{3/2}; U(t_{5/2}) = U_{5/2} \dots; I(t_0) = I_0; I(t_1) = I_1; I(t_2) = I_2 \dots; I(t_{1/2}) = I_{1/2}; I(t_{3/2}) = I_{3/2}; I(t_{5/2}) = I_{5/2} \dots$

Тоді енергію імпульсу можна визначити за таким наближеним рівнянням:

$$\int_0^{\tau_u} U(t)i(t)dt = \frac{\tau_u}{n} [U_{1/2}I_{1/2} + U_{3/2}I_{3/2} + \dots + U_{2n-1/2}I_{2n-1}] = \frac{\tau_u}{n} \sum_{i=1}^{2n-1} U_i \cdot I_i \text{ [мкДж]},$$

де τ - час імпульсу в мкс,

U_i та I_i - миттєве значення напруги і струму, відповідно, в [В] і [А].

2.2.4 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з конструкцією електроерозійного верстата і принциповою електричною схемою:

- імпульсного генератора та принципом його дії;
- пристрою для автоматичного регулювання подачі електрода-інструмента;

- в) магнітного підсилювача, його призначенням та роботою.
2. Отримати у викладача номер осцилограми, що відповідає визначеному режиму роботи електроерозійного верстата (див. додаток).
3. Перенести осцилограму на кальку.
4. За даною осцилограмою, користуючись масштабом струму і напруги, (див. додаток, осцилограми, рисунок 2.16, 2.17, 2.18) визначити параметри імпульсних розрядів:
 - а) тривалість імпульсів;
 - б) частоту імпульсів;
 - в) період;
 - г) шпаруватість;
 - д) амплітудне значення струму і напруги в імпульсі;
 - е) енергію імпульсу.
5. Ознайомитися з проведенням роботи на електроерозійному верстаті моделі 4611 з вилучення зламаного інструмента.

2.2.5 Вимоги до звіту

Звіт по роботі повинен містити:

1. Короткий опис пристрою імпульсного генератора і принцип його дії.
2. Короткий опис системи САР подачі електрода-інструмента і принцип роботи.
3. Принципову схему електроерозійного верстата.
4. Дослідну осцилограму і осцилограму для визначення масштабу струму та напруги.
5. Розрахунки параметрів імпульсних розрядів електроерозійного верстата.
6. Таблицю, в якій зведені параметри визначених імпульсних розрядів.
7. Висновки по виконаній лабораторній роботі.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків параметрів імпульсних розрядів

τ_U	f_U	T	шпаруватість	I_A	U_A	A_U
мкс	Гц, імпульс/с	мкс	-	А	В	Дж

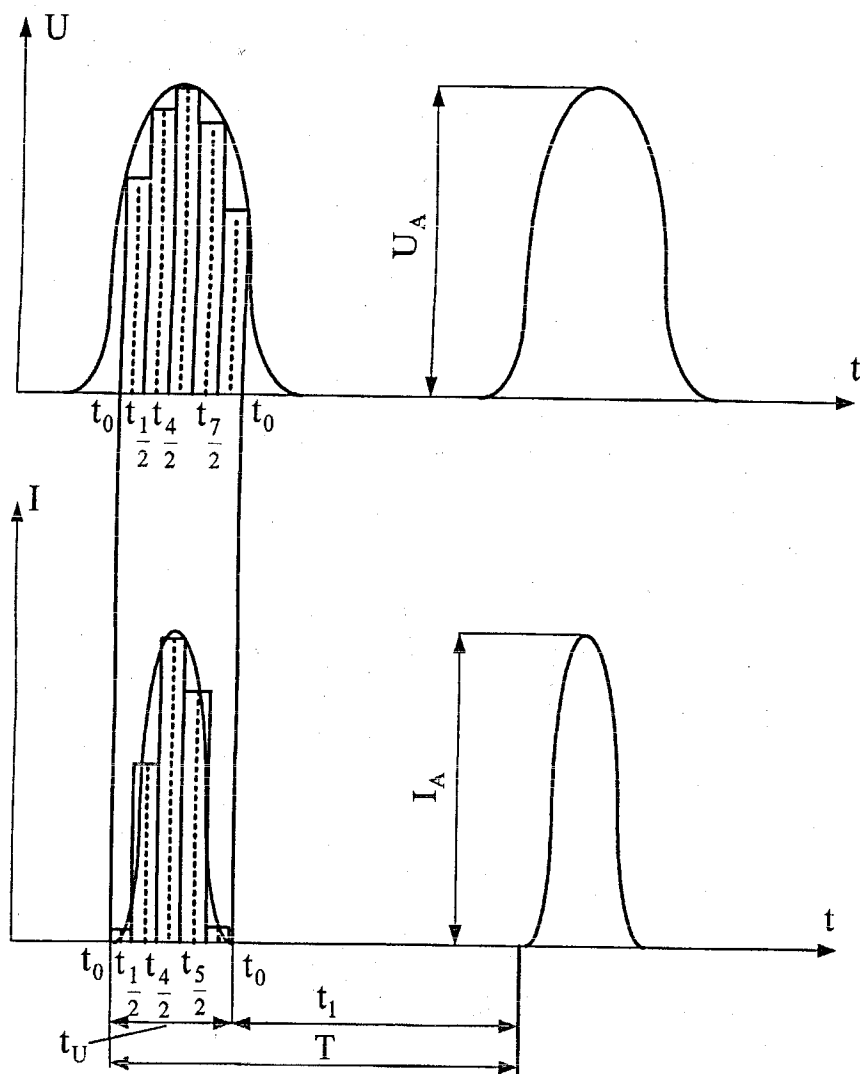


Рисунок 2.15 – Визначення енергії імпульсу методом прямокутників

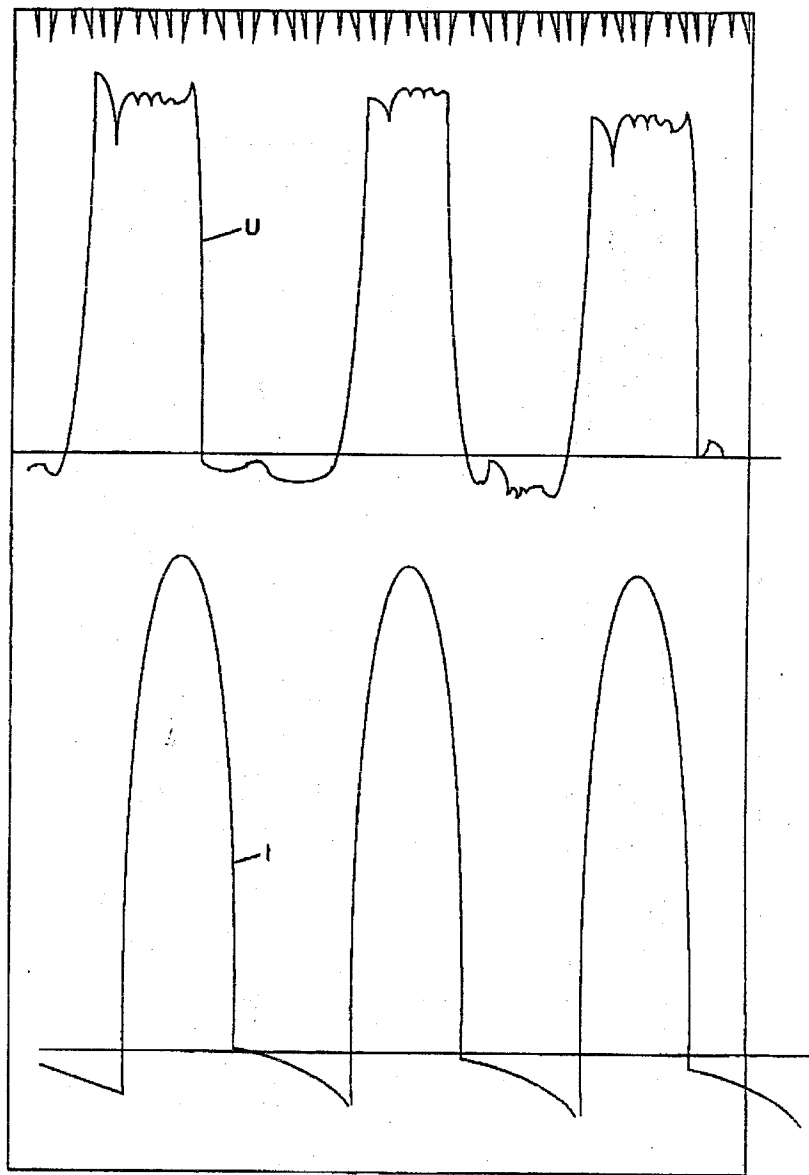


Рисунок 2.16 – Осцилограма струму та напруги імпульсного дугового розряду (відмітка часу в Гц – 500 Гц)

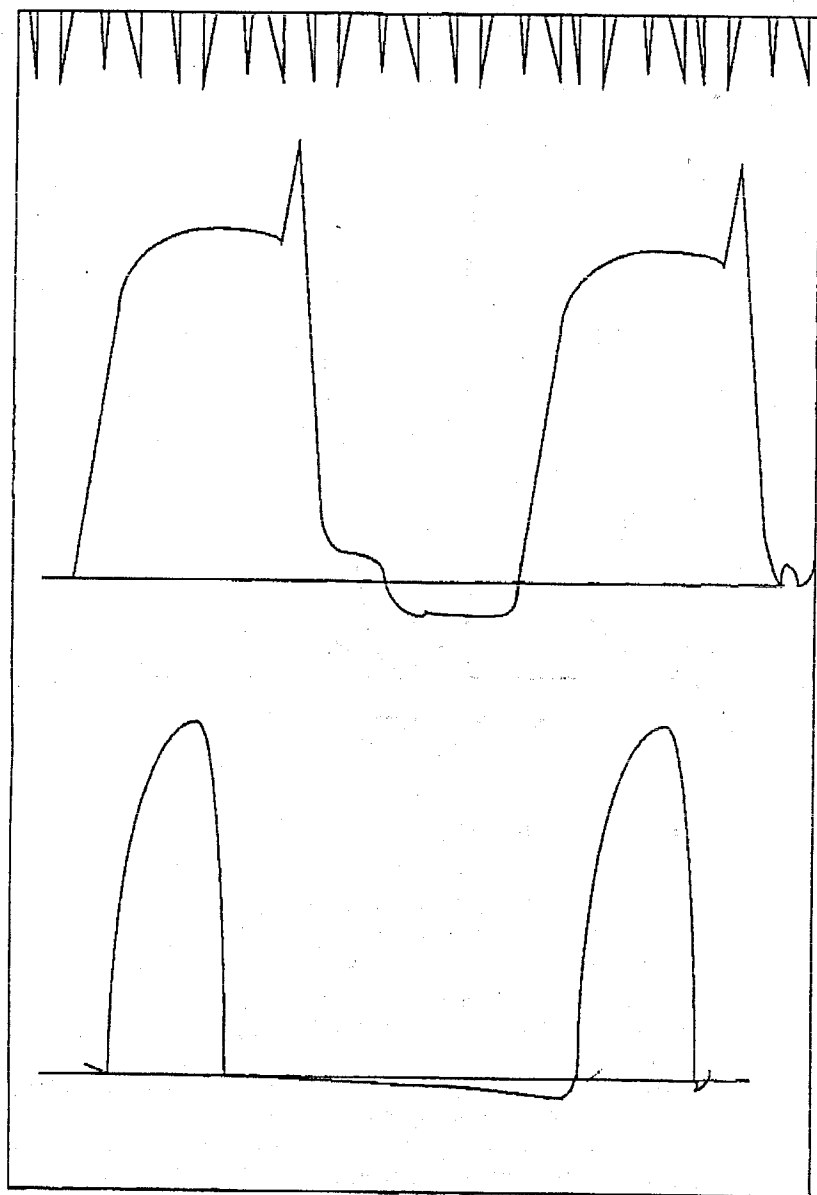


Рисунок 2.17 – Осцилограма струму та напруги імпульсного дугового розряду (відмітка часу в Гц – 500 Гц)

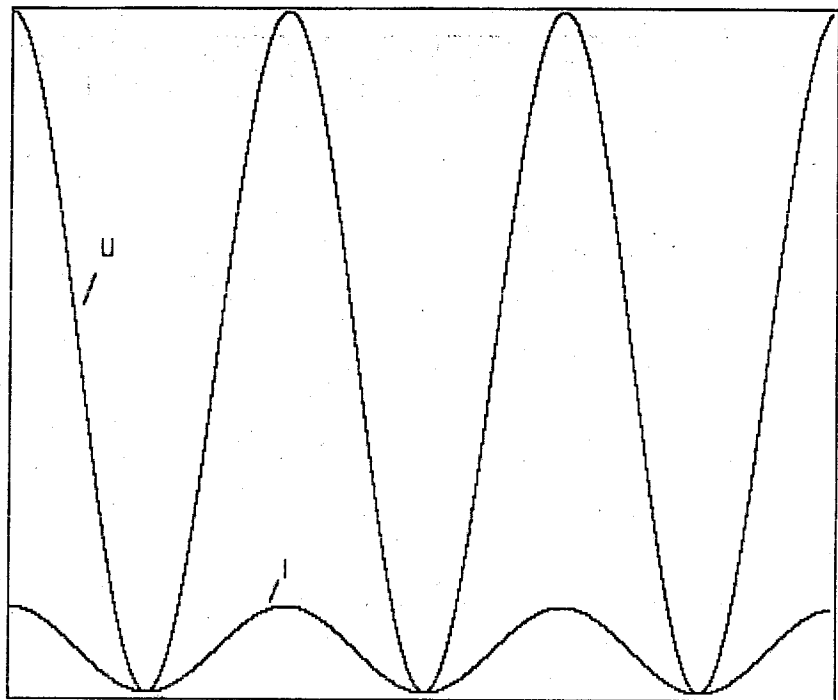


Рисунок 2.18 – Контрольна осцилограма для визначення масштабу струму та напруги ($I_d = 10A$, $U_d = 30B$)

2.2.6 Контрольні запитання

1. Яке призначення генератора імпульсів?
2. Які умови роботи генератора імпульсів повинні бути виконані, щоб запобігти переходу імпульсних розрядів у стаціонарну електричну дугу?
3. Що таке уніполярні імпульси струму і напруги?
4. Який вплив буде мати зміна полярності струму на електродах при електроерозійній обробці?
5. До якого виду електроерозійної обробки (електроіскрової чи електроімпульсної) відноситься обробка на верстаті 4611 ?
6. За яким параметром або параметрами виконується автоматичне регулювання подачі електрода-інструмента?
7. Вкажіть призначення і принцип дії магнітного підсилювача в електросхемі станка.

8. Якому режиму електроерозійної обробки (грубому, середньому або доводжувальному) відповідає режим з параметрами імпульсних розрядів, які були отримані в результаті аналізу експериментальних осцилограм?

9. Яка напруга подається на електрод-інструмент та деталь?

10. Чи можна здійснювати електроерозійну обробку імпульсами різної полярності?

11. Чому обробка матеріалів на електроерозійному верстаті 4611 здійснюється в середовищі трансформаторного масла?

12. Яку функцію при здійсненні електроерозійної обробки виконує вібратор?

13. Які засоби дозволяють запобігти переходу імпульсного розряду в стаціонарну електричну дугу в електроерозійному верстаті 4611?

14. Яку функцію в схемі живлення верстата 4611 виконує селеновий вентиль?

15. Яку функцію в схемі живлення верстата 4611 виконує калібрований реохорд 5R?

Література [9, 12, 13]

2.3.1 Лабораторна робота № 3 “Дослідження точкового контактного електрозварювання”

Мета роботи: вивчити принципи точкового контактного електрозварювання, будову машини точкового зварювання і роботу дозувальника енергії.

2.3.1 Вступ

Розвиток промисловості і зростання продуктивності праці нерозривно зв'язані з комплексною механізацією й автоматизацією технологічних процесів. До них відносять і високопродуктивне, легко автоматизоване контактне зварювання, що забезпечує високу якість і підвищену працездатність багатьох зварних конструкцій.

Контактне зварювання здійснюється з місцевим нагріванням деталей електричним струмом і їх пластичною деформацією на ділянках нагрівання. Місцеве нагрівання досягається за рахунок підвищеного опору електричному струму на ділянках контакту між деталями, що зварюються. Цей опір називається контактним, а зварювання, при якому воно використовується для концентрованого місцевого нагріву - контактним.

2.3.2 Основні теоретичні відомості

В даній лабораторній роботі вивчається один з видів контактного електрозварювання – точкове електрозварювання. Назва точкове

зварювання пов'язана з видом з'єднань деталей, які зварюються, (зварна точка) і формою електродів-інструментів.

При точковому зварюванні деталі, які з'єднуються, розташовані між двома електродами, закріпленими в спеціальних електродотримачах. Під дією натискного механізму електроди щільно стискають деталі, які зварюються, після чого по колу пропускають один чи декілька імпульсів струму, які нагрівають деталі до плавлення на невеликих контактних ділянках (рисунок 2.19), названих крапками. При сильному натисканні верхнього електрода відбувається утворення металевого суцільного стику.

При зварюванні провідник складається з двох контактних деталей. До опорів деталей $2R_d$ додається контактний опір R_k між деталями і перехідні опори $2R_{de}$, які мають місце в зоні контакту електродів з деталями. Опір R_k в міру нагрівання та стискання деталей зменшується, і при певних температурах дорівнює нулю. Опір R_d , а отже, і тепловиділення Q на початку нагрівання будуть тим більшими, чим менше зусилля стиснення $P_{ст}$. Однак зі зменшенням $P_{ст}$ ускладнюється підведення струму до деталей, бо з ростом R_{de} підвищується тепловиділення в контактні електрод-деталь. Основна кількість тепла Q при проходженні струму через деталі, що зварюються, виділяється в зоні контакту деталь-деталь, електрод-деталь.

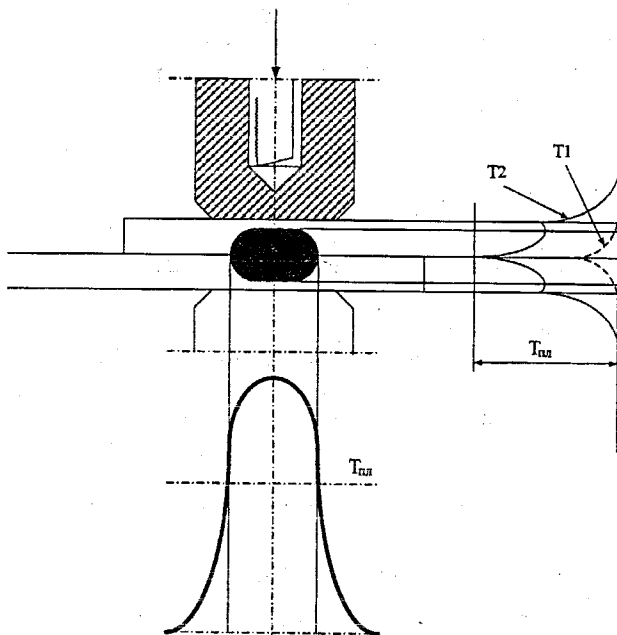


Рисунок 2.19 – Схема контактного зварювання

При зварюванні металів з високим електроопором значна частина тепла виділяється на опорі тіла деталі. З підвищенням температури в зонах навколо точок контакту, тепловідведення від точок контакту сповільнюється, тому що теплопровідність електродів значно вища від теплопровідності деталі, контакт електрод-деталь зберігає досить низьку температуру у той час, коли у точці контакту деталь-деталь температура досягає точки плавлення. Отже, тільки частина тепла витрачається на підвищення температури зварювальної точки. Решта енергії розсіюється в деталях, що зварюються, і електродах. Режим зварювання визначається такими параметрами:

- а) величиною зусилля стиснення $P_{ст}$;
- б) величиною напруги зварювання;
- в) коефіцієнтом трансформації зварювального трансформатора;
- г) формою і тривалістю зварювального імпульсу.

Складність виконання точкового зварювання і його якість значною мірою визначаються „зварюваністю” металів. Зварюваністю вважається здатність матеріалів утворювати якісні сполуки при використанні раціонального технологічного процесу.

При контактному точковому зварюванні найкращою зварюваністю вирізняються метали, які мають високий електроопір і, відповідно, низьку теплопровідність, високу пластичність і не дуже окислюються при температурі зварювання. Вказаним вимогам відповідають нікель, м'яка сталь, ковар, платиніт та ін.

Найгіршу зварюваність мають метали з високою електро- та теплопровідністю — мідь, алюміній та ін.

Опис приладу

Виконання лабораторної роботи проводиться на монтажно-зварювальному столі, який застосовується в радіоелектронній промисловості при зборці внутрішньої арматури електровакуумних приладів. Даний монтажно-зварювальний стіл це машина точкового контактного зварювання, вбудована в монтажний стіл.

Контактні зварювальні машини характеризуються конструкцією механізму стиснення, методом дозування енергії і зварювання.

В механізмі стиснення зварювального верстата нижній електрод є нерухомим. Верхній електродотримач разом зі штоком переміщується у втулках стояка за допомогою педалі і важільного механізму. Величина міжелектродного зусилля встановлюється завдяки попередньому стисненню пружини, яка зв'язує тягу з педалью.

Після контакту ключів тяга зупиняється, а педаль, після того, як зусилля попереднього стиснення пружини буде перевищено, продовжує

рух, стискає пружину і замикає контакти, які вмикають зварювальний струм.

До верхнього електрода підводиться струмопровід (еластичний джгут) від зварювального трансформатора.

Електрична схема машини контактного точкового зварювання складається з регулятора потужності, блока керування, контактора і зварювального трансформатора, вторинна обмотка якого разом зі струмопровідними пинами, верхнім і нижнім електродотримачами утворюють зварювальний контур. Блок керування, регулятор потужності і контактор визначають технологічні можливості машин точкового зварювання і об'єднуються під назвою дозувальник енергії (рисунк 2.20).

Живлення індивідуальних дозувальників здійснюється від мережі 220 В з частотою 50 Гц.

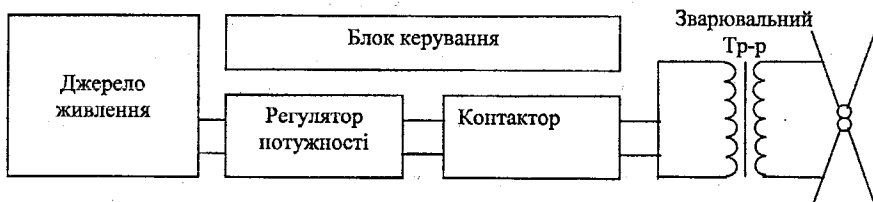


Рисунок 2.20 – Блок-схема машини контактного зварювання

Для регулювання потужності зварювання може застосовуватися фазовий метод – за рахунок зміни кута ввімкнення вентилів; метод регулювання за напругою чи автотрансформатором – за рахунок перемикання відводів обмотки зварювального трансформатора; метод регулювання за струмом – за рахунок увімкнення регульовального опору в первинному колі зварювального трансформатора.

Фазовий метод, при умові зварювання, яке перервалося синусоїдою, придатний тільки для деталей товщиною більше 0,3 мм та діаметром більше 0,5 мм (більш мілкі деталі за час перерв струму встигають повністю охолотитись).

У випадку регулювання за напругою, якщо приведений опір вторинного контура значно менший, ніж початковий опір деталей, що зварюються, потужність до зварювальної точки підводиться плавно і наростає зі зниженням опору деталей, які зварюються.

У випадку регулювання за струмом, приведений опір вторинного зварювального контура значно більший, ніж початковий опір деталей, які зварюються.

Потужність до зварювальної точки підводиться миттєво, з крутим переднім фронтом і в міру зниження опору деталей, зменшується. Основна частина енергії підводиться в початковий період зварювання, фактична

тривалість зварювання знижується, незалежно від тривалості зварювального імпульсу.

В сьогоденні найбільш широке застосування має метод регулювання за струмом і метод фазового регулювання.

Як контактори зварювальної машини повинні використовуватися кремнієві керовані вентиля-тиристори.

Метод дозування енергії зварювання значно впливає на його якість. В машині точкового контактного зварювання, досліджуваної в даній лабораторній роботі, використовується синусоїдальний дозувальник енергії. Цей дозувальник має синусоїдальну форму зварювального імпульсу. Полярність першого імпульсу може мінятися. Початок зварювального імпульсу може зміщуватись по фазі, кінець у нулі синусоїди. Тривалість зварювального імпульсу від 0,1 до 8 півперіодів (0,001 - 0,08 сек.). Регулювання режиму зварювання виконується зміною тривалості зварювання і за рахунок увімкнення регулювального опору в первинне коло зварювального трансформатора. Роль контактора виконує симетричний тиристор.

Синусоїдальний дозувальник має значні переваги у порівнянні з іншими схемами та забезпечує найбільш технологічну форму зварювального імпульсу. Він застосовується для зварювання деталей товщиною від 0,05 до 0,5 мм, діаметром від 0,1 до 1,5 мм.

Електрична схема дозувальника (рисунок 2.21) складається з семісторного комутатора і схеми керування. Величина і форма зварювального імпульсу задається положенням ручок: амплітуда - ручкою "РЕЖИМ А" і "РЕЖИМ Б", а тривалість імпульсу зварювання - ручкою "РЕЖИМ РОБОТИ". Схема керування забезпечує заданий режим роботи автоматично, після натискання на педаль монтажно-зварювального стола. Семісторний комутатор пропускає в первинну обмотку зварювального трансформатора струм у відповідності з сигналами, що виробляються схемою керування.

Схема керування дозувальника складається з фазообертача, формувальника синхронізуювальних імпульсів, ведучої і веденої схеми керування.

Фазообертач виконаний на елементах $Tp\ I(III)$, CI , RI та забезпечує фазове регулювання зварювального струму.

Формувач синхронізуювальних імпульсів виконаний на елементах $R2$, $D1$, $D2$ перетворює на основі перемикальних властивостей диністорів вихідну синусоїдальну напругу фазообертача у гострокінцеві імпульси, синхронні з живильною мережею.

Ведуча схема запуску семістора виконана на елементах $D5$, $D6$, $D7$, $D9$, $D11$, $D12$, $D14$, $D16$, $D17$, $C2$, $C4$, $C6$, $C7$, $C8$, $C10$, $R3$, $R6$, $R7$, $R8$, $R11$, $R12$.

Допоміжна схема запуску семістора виконана на елементах $D3$, $D4$, $D8$, $D10$, $D13$, $C3$, $C11$, 312 , $R4$, $R5$, $R14$, $R15$.

Ввімкнення і вимкнення живлення дозувальника здійснюється вимикачем "ОБЩИЙ".

При подаванні напруги на схему з формувача імпульсів, синхронізувальні імпульси неперервно подаються на анод Д5 і, при положеннях перемикача В1 з 8 до 11, на катод Д4. Конденсатори С2, С3, С4, С6, С7, С8, С10 в цей час розряджені. При натисканні на педаль, яка розташована на монтажно-зварювальному столі, конденсатори С2, С4, С10, і С6, С7, С8, що під'єднуються паралельно конденсатору С2, у залежності від положення В1, при позитивній полярності напруги від обмотки IV Тр1 на катоді семістора Д15 заряджаються по колу: Тр1(IV) – Д – С4 – С10 – С2 – С6 – С7 – С8 – контакти педалі – Д14 – R8 – Д17 – R7 – R6 – Д11 – Тр1(IV). Напруга заряду конденсаторів С4, С10 обмежується стабілітроном Д9; конденсаторів С2, С6, С7, С8 – стабілітроном Д16 і диністором Д12. Після вимкнення синхронізувальним імпульсом диністора Д5, конденсатори С4, С10, розряджаючись по колу: С4 – С10 – R11 – керувальний електрод Д15 – Д6 – Д5 – С4 – С10, відкривають струмом розряду семістор Д15. Семістор пропускає в первинну обмотку зварювального трансформатора, встановленого в монтажно-зварювальному столі, першу половину зварювального струму. Формування керувального імпульсу відкриття семістора для другої половини зварювального струму протилежної полярності здійснює конденсатор С3. Акумуляування ним необхідного заряду відбувається по колу: катод семістора Д15 – диністор Д13 – С3 – R5 – Д10. Рівень напруги на конденсаторі С3 обмежується стабілітроном Д8. Після надходження синхронізувального імпульсу на катод Д4, виникає розряд конденсатора С3 по колу: керувальний електрод Д15, Д4, Д3, С3. При цьому відбувається увімкнення семістора Д15 і він пропускає другу половину струму через первинну обмотку зварювального трансформатора.

В режимі "1 період" конденсатор С2 залишається зарядженим і далі конденсатор С4 заряджається до напруги, недостатньої для повторного відкривання семістора, тобто близько 2 В. В режимах "2, 3, 4 періоду" час зарядки і, відповідно, кількість періодів визначається величиною ємності (С6, С7, С8), під'єднаної перемикачем В1 до конденсатора С2. Для повернення схеми в початковий стан, необхідно відпустити педаль. Конденсатор С2 розряджається і схема повертається в початковий стан. При роботі дозувальника в однопівперіодному режимі додаткова схема запуску і коло заряду конденсатора С3 вимкнені вимикачем В1 (положення 6 В1 б).

В режимі "0,5+0,5" періоду додаткова схема запуску працює аналогічно. Додаткова схема запускається при від'ємній полярності напруги мережі. Тому регулювання кута відкривання семістора проводиться в першому півперіоді.

На рисунку 2.22 приведено діаграму напруг, яка пояснює процеси, що відбуваються в схемі дозувальника в режимі "3 періоду".

2.3.3 Методика проведення лабораторної роботи

При виконанні даної лабораторної роботи студенти вибирають режим зварювання деталей. Режим зварювання повинен забезпечувати достатню міцність при якісному зовнішньому вигляді зварювальної точки. Режим визначається величиною зусилля стиснення, тривалістю зварювального імпульсу, напругою зварювання (напругою холостого ходу на первинній обмотці зварювального трансформатора, що вказується орієнтовно й уточнюється при налагодженні). Параметри зварювання визначаються за таблицею 1 і уточнюються шляхом побудови мережі режимів (рисунки 2.23, 2.24) для відповідного виду зварювання. В процесі зварювання виникає необхідність коректування режиму від партії до партії, що здійснюється завдяки зміні напруги зварювання. Коректування режиму зварювання складає 10-15%.

2.3.4 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з основними теоретичними положеннями точкового контактного електрозварювання, будовою машини точкового зварювання і принципом дії дозувальника енергії.

2. Для зварювальних деталей, отриманих від викладача, вибрати за таблицею 1 режим зварювання.

3. Побудувати мережу режимів для конкретного виду зварювання.

4. Виконати зварювання отриманих деталей на машині точкового зварювання.

З цією метою необхідно виконати ряд операцій у такій послідовності:

а) перевірити надійність заземлення монтажно-зварювального столу та дозувальника енергії;

б) за допомогою поворотних дисків, розташованих у верхній частині головки, встановити отримане розрахунковим шляхом зусилля стиснення і осадки;

в) встановити ручками "РЕЖИМ А" чи "РЕЖИМ Б", необхідний зварювальний струм (регулювання зварювального струму за амплітудою проводиться на кожному режимі з коефіцієнтом зростання зварювального струму не більше 1,1);

г) встановити необхідний режим роботи (тривалість зварювання) ручкою "РЕЖИМ РАБОТЫ";

д) ввімкнути вимикач "ОБЩИЙ";

е) ввімкнути тумблер "СВАРКА";

є) затиснути зварювані деталі між електродами і натисканням педалі виконати зварювання;

ж) для повторення циклу потрібно відпустити педаль і знову її натиснути.

2.3.5 Вимоги до звіту

У звіті по лабораторній роботі повинні бути викладені наступні питання:

1. Короткий опис будови машини точкового зварювання і принципу дії дозувальника енергії;
2. Таблиця 2.6 з вибраними параметрами режиму зварювання;

Таблиця 2.6 – Приклад оформлення розрахунку параметрів режиму зварювання

Вид зварювання	Геометричні розміри зварювальних деталей, мм	Параметри режиму роботи		
		$U_2, \text{В}$	Проміжок можливих значень $P_{\text{ст}}, \text{кГ}$	Проміжок можливих значень $T (10^{-2} \text{сек})$
Навхрест	$d_1 = 0.9 \text{мм} = d_2$	1,8	13,55	14

3. Графіки параметрів режимів, побудовані для конкретних видів зварювання (рисунки 2.23, 2.24);

На рисунку 2.23 зображені графіки параметрів режиму зварювання (залежність напруги від діаметра зварювальних деталей), а на рисунку 2.24 графіки залежності зусилля стискання від часу зварювання. При побудові цих графіків були використані такі формули:

Для рисунка 2.23 - $U_2 = k(D_1 + D_2)$,

де U_2 - вторинна напруга х.х.;

$k = 0,9 \div 1,1$ при зварюванні навхрест;

$k = 0,7 \div 0,8$ при зварюванні накладанням;

для зварювання круглої з плоскою $k = 3,0 \div 4,0$;

плоска деталь з ніхрому чи титану $k = 1,5 \div 2,0$.

Для рисунка 2.24 - $P = 15d_1 - T_1$,

де d_1 - діаметр меншої деталі, мм;

T - тривалість зварювального імпульсу, 10^{-2} сек;

P - зусилля стиснення, кг.

4. Приблизні осцилограми зварювальних імпульсів, які використовуються при зварюванні в даній лабораторній роботі (рисунок 2.22).

5. Висновки.

2.3.6 Контрольні запитання

1. Чому при точковому зварюванні відбувається місцеве нагрівання виробів до температури плавлення $T_{\text{пл}}$?

2. Чому температура в зоні контакту електрод-виріб (рисунок 2.19) нижча від температури плавлення $T_{пл}$?
3. Які фізичні властивості мають метали з хорошою зварюваністю?
4. Від яких параметрів залежить величина тепловиділення в міжелектродному просторі при точковому зварюванні?
5. Вкажіть приблизні величини напруг і струмів, які використовуються при точковому зварюванні.
6. Який струм і яка частота використовуються для точкового зварювання в даній машині?
7. Що означає термін "дозувальник енергії зварювання"?
8. Який елемент використовується для комутації зварювального струму в даній машині точкового зварювання?
9. Які параметри визначають режим зварювання?
10. Які методи регулювання потужності застосовуються в машинах точкового зварювання?
11. Яке призначення фазообертача дозувальника енергії?
12. Які елементи входять в ведучу схему запуску семістора?
13. Які елементи входять до допоміжної схеми запуску семістора?
14. Яке призначення перемикача В1?
15. Вкажіть існуючі відмінності між діодом, диністором і стабілітроном.
16. При положенні перемикача В1 "1-період" ввімкненні або вимкненні ємності С6, С7, С8?
17. Яке призначення ємностей С4, С10?
18. Яке призначення ємності С3?
19. Вкажіть діапазон можливих значень параметрів зварювання у відповідності з побудованою мережею режимів.
20. Вкажіть приблизний діапазон значень коефіцієнта трансформації зварювального трансформатора.
21. Який зміст вкладається в поняття фазового регулювання ввімкнення семістора?
22. Чим відрізняється семістор від тиристора?

Література [16, 17, 18]

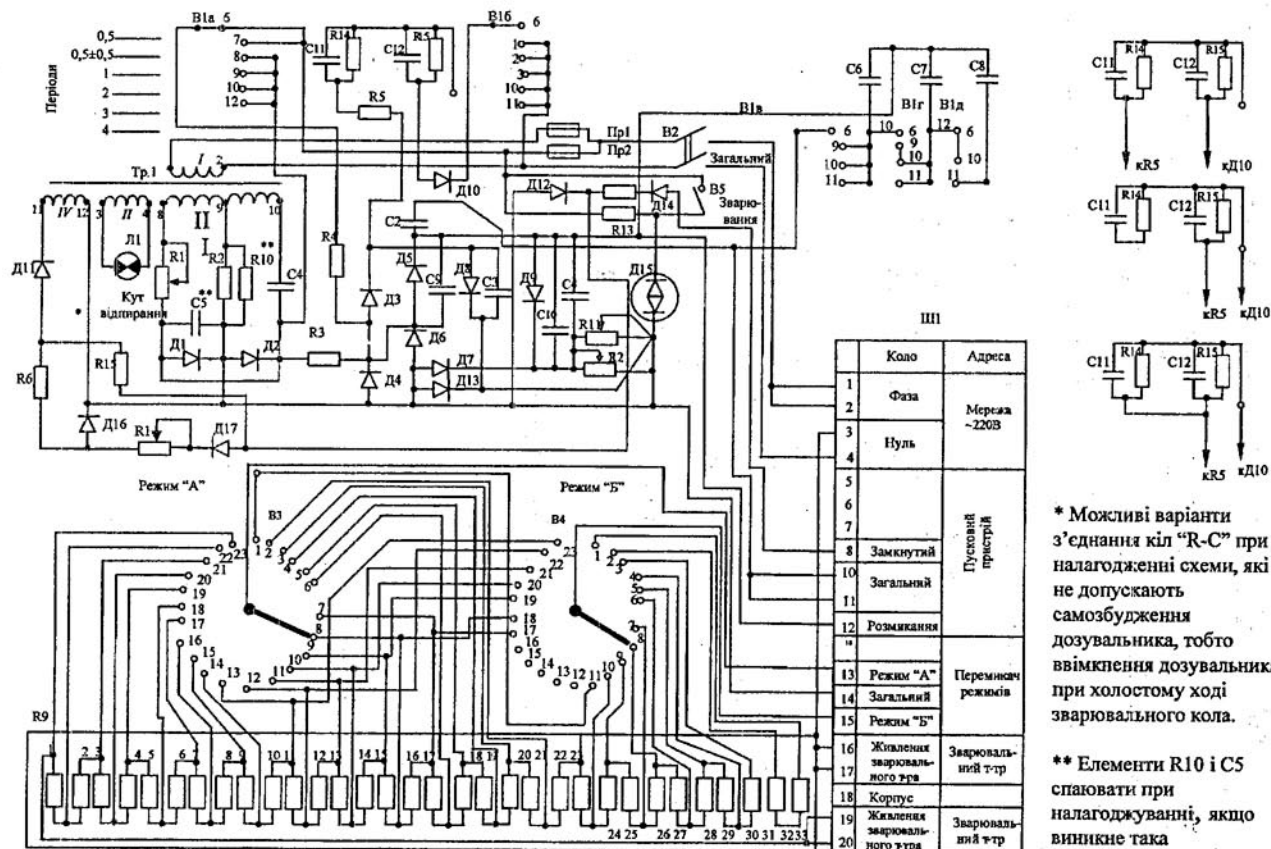
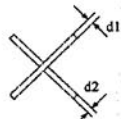
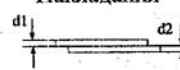
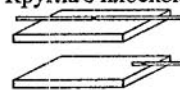


Рисунок 2.21 – Електрична принципова схема дозувальника енергії машини точкового зварювання

* Можливі варіанти з'єднання кіл "R-C" при налагодженні схеми, які не допускають самозбудження дозувальника, тобто ввімкнення дозувальника при холостому ході зварювального кода.

** Елементи R10 і C5 спавувати при налагоджуванні, якщо виникне така необхідність.

Таблиця 2.5 – Вибір параметрів режиму точкового зварювання

Вид зварювання	Залежність вторинної напруги U_2 [В] від діаметра D [мм]	Залежність між зусиллям стиснення $P_{ст+}$ [кг], меншим діаметром $D1$ [мм] і тривалістю T [10^{-2} сек]	Компенсування режиму при збільшенні на 10%					
			$P_{ст}$		U_2		T	
			Компенсувальний параметр %					
			U_2	T	$P_{ст}$	T	$P_{ст}$	U_2
Навхрест 	$U_2 = D1 + D2$	Для нікелю, платини, титану $P = 15 D1 - T$. Платина $T \geq 2$ півперіоди. Титан, молібден $T \leq 1-2$ півперіоди	-2	-10	-50	-50	-10	-1
Накладання 	$U_2 = 0,75(D1 + D2)$	$P < 15D$; $T < 15D$; $P \geq D$ [кг], $T \geq 1$ півперіоди. Титан, молібден $T \leq 1$ півперіоди	+1	+4	+75	-75	+4	-1
Плюска з плоскою 	$U_2 = 50$ [В], де δ_1 - товщина більш тонкої деталі (мм) $D_3 > \delta_1$, де D_3 - діаметр контакту поверхні електродів	$P = 20\delta_1 - 0,1 \cdot T$ півперіодів. При низькій стійкості електродів для титану і молібдену $T \leq 1$ півперіоди	+2	+25	+50	-100	+5	-1
Кругла з плоскою 	Зварювання далеко від краю $U_2 = 4D$	$P = 15D - T$ півперіодів. Можливе збільшення зусилля і тривалості $P \geq 3$ кг титан, молібден $T \leq 1$ півперіоди	+1	+4	+75	-75	+4	-1
	Зварювання з краю $U_2 = 3D$							

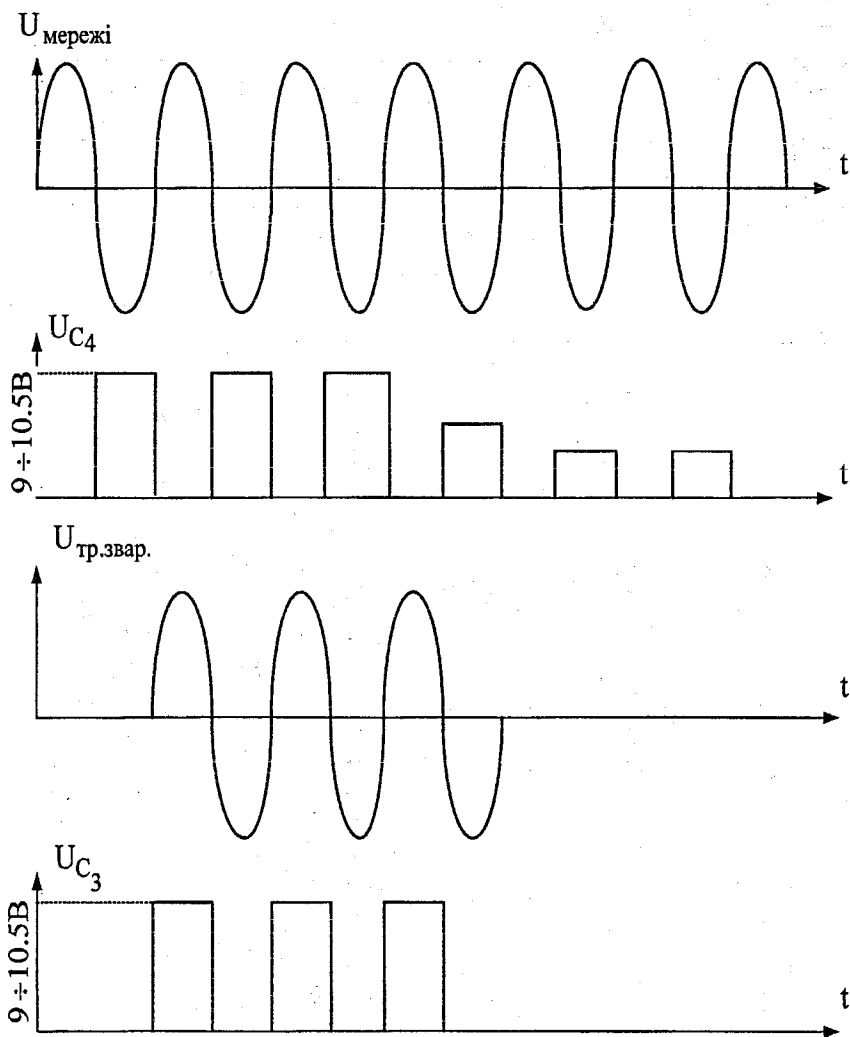


Рисунок 2.22 – Діаграма напруг в елементах дозувальника в режимі "3 періоду"

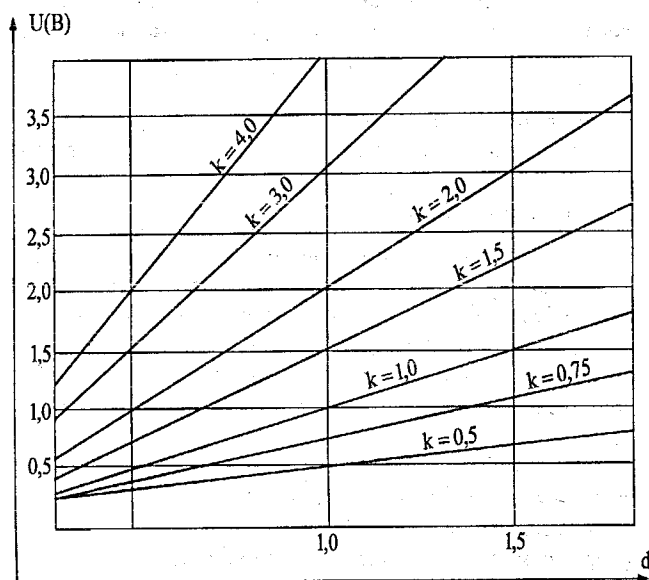


Рисунок 2.23 - Графік залежності напруги зварювання від діаметра зварювальних деталей

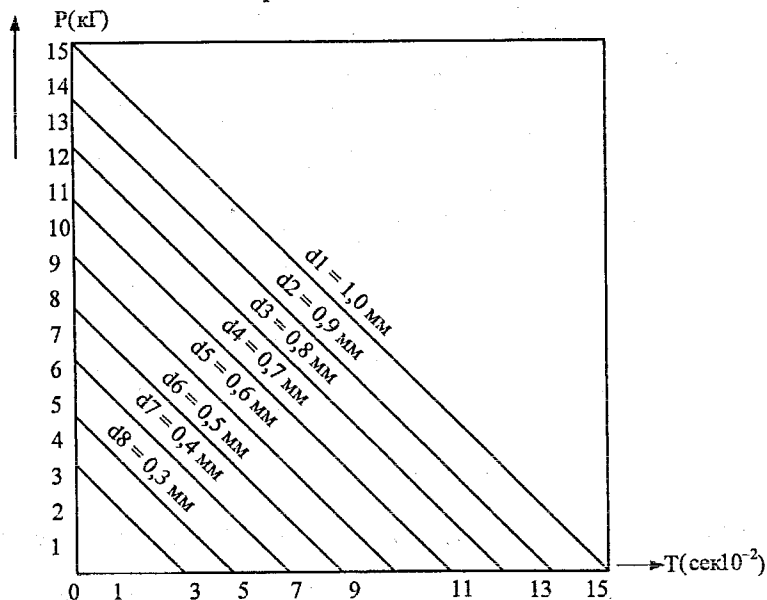


Рисунок 2.24 – Графік залежності зусилля стискання від часу зварювання

2.4 Лабораторна робота № 4 “Дослідження роботи автоматичного регулятора температурного режиму електричних печей опору”

Мета роботи: Ознайомитися і вивчити принцип та систему автоматичного регулювання температурного режиму електричних печей опору.

2.4.1 Опис установки

Для вимірювання і регулювання температури лабораторної електричної печі опору в даній роботі використовується автоматичний потенціометр КСП-4. Даний автоматичний потенціометр може здійснювати контроль і регулювання температурного режиму в 12 точках. Він розрахований на роботу з термопарами градування ХА (хромель-аломель) з діапазоном вимірюваних температур від 0 до 1100°C. Похибка показників приладу $\pm 2,7^\circ\text{C}$.

В основу роботи автоматичного потенціометра покладений компенсаційний метод вимірювання термоелектрорушійної сили (т.е.р.с.). Принцип дії потенціометра полягає в тому, що т.е.р.с., яка досягається термопарою, врівноважується (компенсується) рівними їй за величиною, але оберненими за знаком, напругою від допоміжного джерела, яке потім вимірюється з високою точністю.

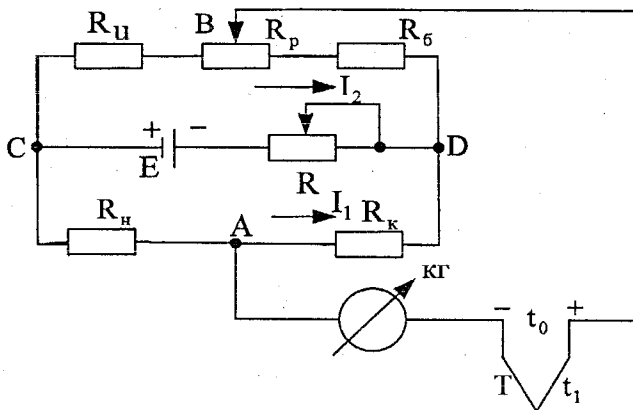


Рисунок 2.25 – Принципова вимірювальна компенсаційно-мостова схема

На рисунку 2.25 показана принципова схема потенціометра, з'єднаного з термопарою. Схема потенціометра – компенсаційно-мостова. Вона складається з трьох плечей з опорами R_U , R_N , R_K і четвертого плеча,

яке має калібрований реохорд R_p і баластовий – опір R_6 . При протіканні по плечах моста певних значень струмів I_1 та I_2 між точками А і В виникне різниця потенціалів. Для порівняння т.е.р.с., якої досягає термопара, з напругою на реохорді R_p , з термопарою послідовно ввімкнений чутливий нульовий гальванометр НГ.

Якщо вимірювана т.е.д.с. не дорівнює напрузі в точках А і В моста, можна, переміщаючи повзунковий реохорд, знайти положення рівноваги схеми за відсутності відхилення показника нуль-індикатора. Отже, положення повзунка реохорда визначає значення вимірюваної т.е.р.с. Принципова електрична схема автоматичного потенціометра КСП-4 приведена на рисунку 2.26.

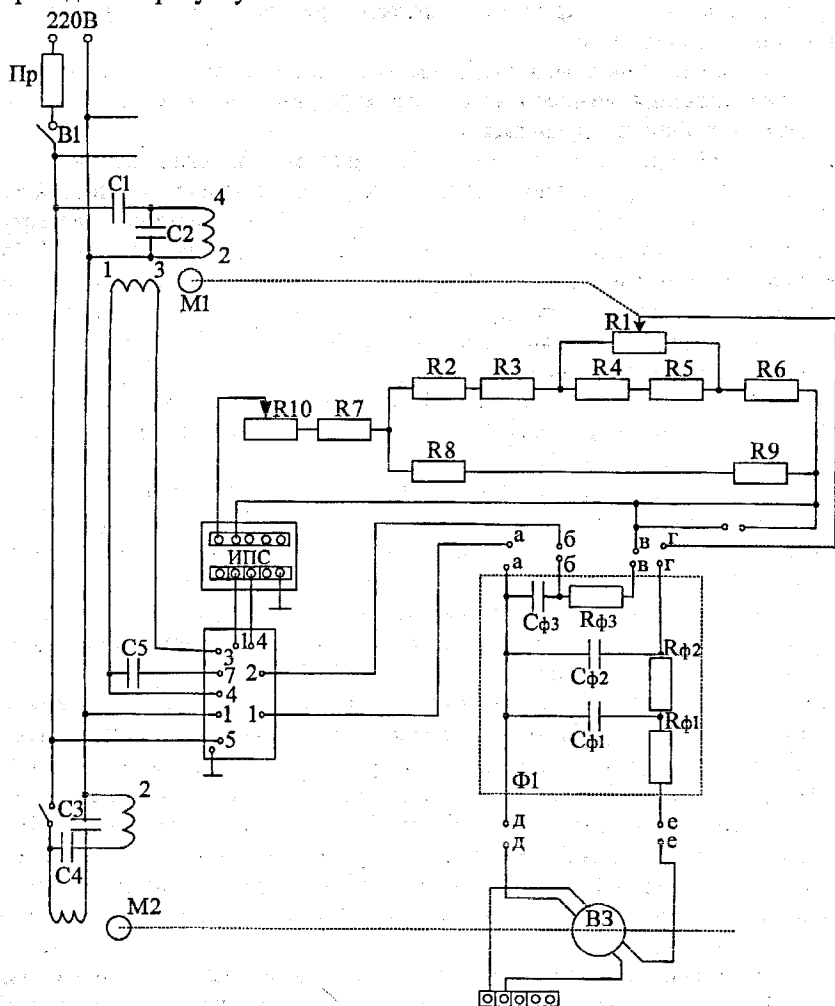


Рисунок 2.26 – Принципова електрична схема потенціометра КСП-4

Термопара ввімкнена послідовно з електронним підсилювачем (ЕП) (рисунком 2.26) в одну з діагоналей вимірювального моста.

В другу діагональ увімкнене стабілізоване джерело живлення (СДЖ), яке забезпечує сталість робочого струму у вимірювальній схемі.

При вимірюванні сигналу, який надходить в прилад від будь-якого датчика, на вході підсилювача з'являється напруга розбалансу постійного струму, що перетворюється в напругу змінного струму і підсилюється для приведення в дію реверсивного двигуна МІ, вихідний вал якого обертається в ту чи іншу сторону доти, поки існує напруга розбалансу.

Обертання вихідного вала реверсивного двигуна за допомогою механічної передачі (шків і трос) перетворюється в прямолінійний рух каретки, на якій закріплені контакти реохорда R1, показчик і записувальний пристрій.

В момент рівноваги вимірювальної схеми положення показчика визначає значення вимірюваного параметра, що також записується на діаграмній стрічці, що рухається.

Даний прилад оснащений перемикачем ВЗ, який автоматично під'єднує до вимірювальної схеми по черзі з частотою встановленого циклу всі приєднані до приладу датчики. Після настання моменту рівноваги, друкувальний механізм каретки віддруковує точку з порядковим номером датчика. Далі перемикач автоматично приєднує до вимірювальної схеми приладу наступний датчик. Точки утворюють на діаграмній стрічці, що рухається, ряд ліній, які характеризують зміну вимірюваного параметра в часі.

На рисунку 2.27 представлена принципова схема ввімкнення лабораторної електричної печі і 2-3 - позиційних регулювальних пристроїв автоматичного потенціометра КСП - 4.

Оснoвним елементом 2-3 позиційного регулювального пристрою з окремою задачею на кожену точку є система пристрою задачі, що складається з загального для всіх каналів регулювання дублюючого реохорда й окремого реохордного блока задачі, вбудованого в пристрій.

Дублюючий реохорд змонтований в одному корпусі з вимірювальним реохордом і за конструкцією аналогічний останньому. Кожен заданий реохорд блока задачі складається з двох струмовідводів і робочої спіралі, по якій рухаються два контакти з показчиками (зелений "мало" і червоний "багато"), призначеними для встановлення зони регулювання. Струмовідводи і робоча спіраль виготовлені з провода марки ПЕВ - 20, намотаного кроком з високою точністю на ізольовану основу.

Кожен блок задачі має пластинку з показником порядкового номера пристрою задачі реохорда і розрахункові лінійки. Блок задачі знаходиться у верхній частині кронштейна приладу над вимірювальним реохордом і з'єднується з електричною схемою приладу за допомогою штепсельного роз'єму.

Система пристрою задачі (дублюючий реохорд R26 і реохорди блока задачі R31-R42, - рисунок 2.27) за допомогою перемикача мостів, задачі

В9, підсилювача типу УМР, виконавчого перемикача В7 і перемикача каналів регулювання В10 здійснює керування блоками регулювальних реле типу БР. Контактні пристрої блоків реле, у свою чергу, керують виконавчими механізмами, об'єктами регулювання і системами сигналізації.

Перемикачі мостів задачі В9 (рисунок 2.27), каналів регулювання В10, датчиків (ВЗ рисунок 2.27) мають аналогічні конструкції. Комутація каналів здійснюється шляхом під'єднання щітковим контактом відповідної ламелі до струмознімального півкільця. Щітки закріплені на загальному двигуні, який жорстко зв'язаний з зубчатим колесом. Обертання зубчатого колеса здійснюється редуктором синхронного двигуна. Для запобігання одночасного замикання щіткою двох сусідніх ламелей, між ними поставлені перегородки (перемикачі датчиків останніх відсутні), які піднімають щітку при переході її з однієї ламелі на іншу.

Виконавчий перемикач (В7 рисунок 2.27) це контактна група, яка працює на замикання, і кулачок, встановлений на осі друкувальної каретки, та замикаючий контакт в момент друку.

При двопозиційному регулюванні обидва покажчики (червоний і зелений) реохорда задачі встановлюються на значення регульованого параметра.

2.4.2 Короткі теоретичні відомості про позиційний метод регулювання температури і робота схеми КСП-4 при двопозиційному регулюванні

В електричних печах опору в більшості випадків застосовується найпростіший вид позиційного регулювання температури, а саме, двопозиційне, при якому виконавчий елемент - контактор печі - має лише два крайні положення: ввімкнено і вимкнено (дві позиції).

Принцип двопозиційного регулювання температури печі проілюстрований на рисунку 2.28, на якому дана залежність температури печі від часу. При розігріві печі її потужність буде постійною, рівною номінальній, тому її температура буде рости до точки І. В цій точці вона досягне величини $t_{\text{зад}} + \Delta t$ (де $[t_{\text{зад}} + \Delta t; t_{\text{зад}} - \Delta t]$ - зона нечутливості регулятора). У цей момент регулятор спрацює, контактор вимкне пів і її потужність упаде до нуля. Внаслідок цього, температура печі почне знижуватися по кривій 1-2 доти, поки не буде досягнута нижня межа зони чутливості ($t_{\text{зад}} - \Delta t$). В цей момент відбудеться нове ввімкнення печі і її температура знов почне підвищуватись.

Зона нечутливості сучасних терморегуляторів може бути дуже малою і доведена до $\pm 0,1-0,2^\circ\text{C}$.

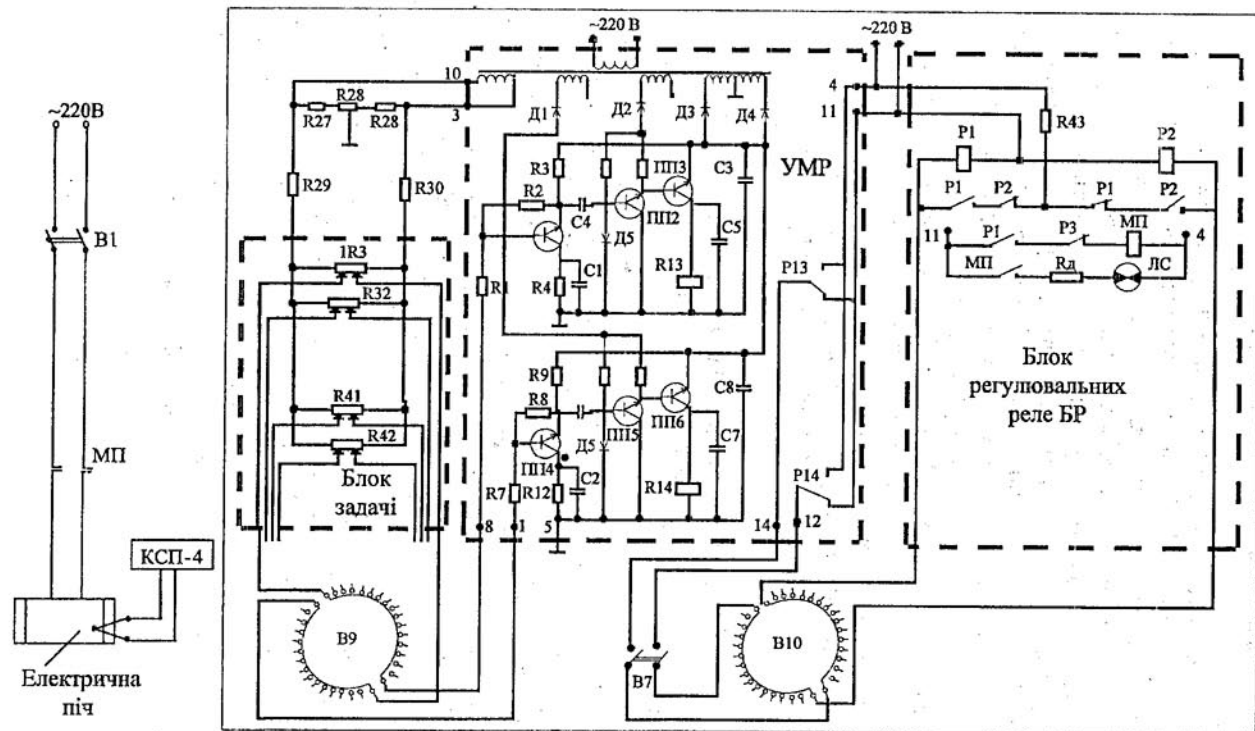


Рисунок 2.27 – Принципова електрична схема ввімкнення печі і регулювального пристрою КСП-4

В1 – вимикач автоматичний; В7 – виконавчий перемикач; В9 – перемикач мостів задачі; В10 – перемикач каналів регулювання; К26 – реохорд дублюючий; R27, R28, R29, R30 – резистори; R31 – К42 – реохорд блока задачі; УМР – багато-точковий підсилювач регулювання; БР – блок регулювальних реле; P1, P2 – реле МКУ-48С; МП – магнітний пускач

Однак дійсні коливання температури печі можуть бути в багато разів більші, якщо врахувати динамічне затримування в системі регулятора.

Основним джерелом затримки є інерція датчика температури (термопар), особливо, якщо вона обладнана двома чохлами – керамічним і металевим.

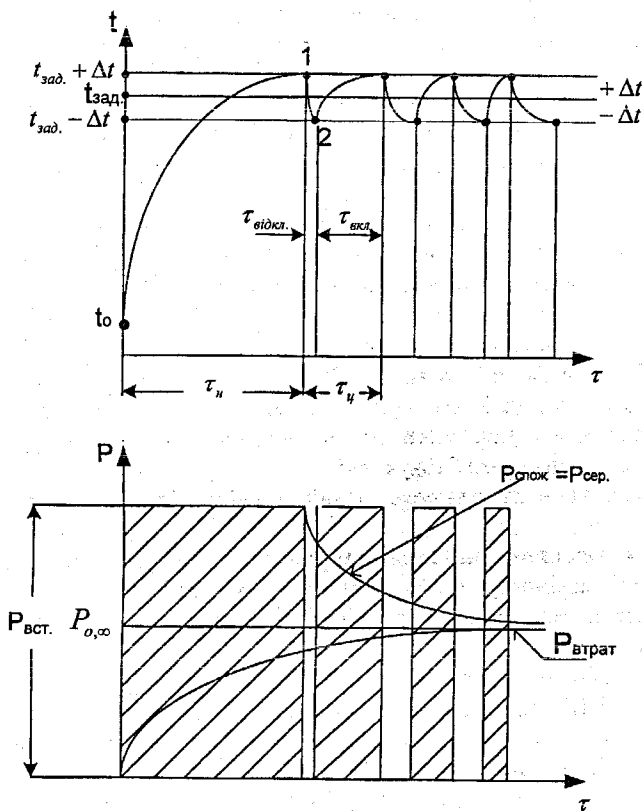


Рисунок 2.28 – Графік зміни температури печі при двопозиційному регулюванні

Розглянемо роботу схеми при двопозиційному регулюванні.

Припустимо, що в даний момент відбувається вимірювання і записування значень параметра першого об'єкта. Оскільки перемикачі датчиків В3 (рисунок 2.27) каналів регулювання В10 (рисунок 2.27) і

мостів задачі В9 працюють синхронно, на регулювання буде ввімкнений перший об'єкт.

I-й випадок. Значення вимірюваного і регульованого параметрів менші від заданого, тобто контакт дублювального реохорда R26 знаходиться у зоні "мало" лівіше від обох показчиків реохорда R31 блока задачі. Тоді на вхід обох каналів підсилювача ЕУ через контакти перемикача мостів задачі надійде сигнал розбалансу.

Після посилення сигналу розбалансу на перших каскадах ПП1 і ПП4, він надійде на бази інших каскадів ПП2 і ПП5 підсилювача ЕУ, причому по фазі він збігатиметься з напругою живлення тільки колектора тріода ПП2, і підсилення сигналу розбалансу піде далі по каналу "мало". Реле Р13 спрацює і підготує коло для спрацювання регулювальних реле Р1 блока БР.

В момент друкування на діаграмній стрічці контрольованої точки замкнуться контакти виконавчого перемикача В7, і на котушку реле Р1 буде подана напруга живлення по колу: контакти перемикача В10 - контакти виконавчого перемикача В7 - контакт реле Р13.

Реле Р1 спрацює, увімкне свій контакт Р1 і заблокується по колу: контакт Р1 - контакт В7 - резистор R43.

Крім того, реле Р1 при спрацюванні своїм контактом розриває заблоковане коло реле Р2 і знімає останнє з блокування, якщо воно знаходилося до цього на блокуванні.

Своїми контактами реле Р1 увімкне відповідні виконавчі механізми чи сигналізацію.

II-й випадок. Значення вимірюваного і регульованого параметрів більші від заданого, тобто контакти дублювального реохорда R26 знаходяться в зоні "багато" (правіше від обох показчиків реохорда R31 блока задачі).

На вхід обох каналів підсилювача через контакти перемикача мостів задачі В9 надійде сигнал розбалансу. Після посилення на перших каскадах ПП1 та ПП4 сигнал розбалансу надійде на бази інших каскадів ПП2 і ПП5 підсилювача ЕУ, причому по фазі він збігатиметься з напругою живлення тільки колектора тріода (ПП15) і, відповідно, посилення сигналу розбалансу піде далі по каналу "багато".

Реле Р14 спрацює і підготує коло для спрацювання регулювального реле Р2 блока БР.

У момент друкування на діаграмній стрічці контрольованої точки замкнуться контакти виконавчого перемикача В7, і на котушку реле Р2 буде подана напруга живлення по колу: контакти перемикача В10, контакти виконавчого перемикача В7, контакт реле Р14.

Реле Р2 спрацює, замкне свій нормально розімкнутий контакт і заблокується по колу: контакт Р2, контакт Р1, резистор R43.

Крім того, реле Р2 при спрацюванні своїм нормально замкнутим контактом Р2 розірве блокувальне коло реле Р1 і розблокує останнє, якщо

воно було заблоковане. І, нарешті, своїми контактами реле Р2 увімкне відповідні виконавчі механізми чи сигналізацію.

Аналогічно відбувається регулювання при під'єднанні до вимірювальної схеми приладу інших датчиків.

2.4.3 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з електроустаткуванням лабораторного стенда, а також з улаштуванням електричної схеми і принципом дії потенціометра КСП-4.

2. Встановити діаграмну стрічку.

3. Для цього необхідно звільнити барабан шляхом відтягнення важеля перемикавання швидкостей вниз і повернути фіксатор важеля перемикавання швидкостей справа наліво. Потім відкрити напрямлячі, які притискають діаграмну стрічку з двох сторін; натиснути пружинки і відкрити передній щиток. Діаграмна стрічка вкладається в ящик так, щоб кругла перфорація на ній була зліва.

4. Увімкнути тумблер живлення приладу і тримати його ввімкненим протягом 15-20 хв. Прилад готовий до роботи.

5. Витягнути кронштейн і за допомогою покажчиків встановити на 1-му задаваному реохорді зону регулювання (при дослідженні двопозиційного регулювання температури покажчики суміщають). Для приладу рекомендується температура 500 - 700°C.

6. Ввімкнути тумблер "діаграма", що відповідає ввімкненню печі.

7. Після 1-1,5 год. роботи приладу вимкнути піч в такому порядку: тумблер "діаграма" перевести в положення "выкл."; далі перевести в таке ж положення тумблер живлення приладу.

8. Зняти діаграму в порядку, оберненому порядку встановлення діаграмної стрічки (див. пункт 2).

9. Побудувати графік змін температури в масштабі у відповідності з діаграмою.

10. Визначити зону коливань температури.

2.4.4 Вимоги до звіту

Звіт повинен містити:

1. Блок-схеми електричної вимірювальної схеми і регульовального пристрою автоматичного потенціометра КСП-4.

2. Короткий опис принципу дії потенціометра КСП-4.

3. Графік зміни температури в масштабі у відповідності з діаграмою.

4. Висновки.

2.4.5 Контрольні запитання

1. В чому полягає принцип компенсаційного методу вимірювання температури?
2. Перерахуйте основні блоки, які входять у структурну блок-схему вимірювальної та записувальної частини потенціометра КСП-4. Вкажіть їх функціональне призначення.
3. Перерахуйте основні блоки регульовального пристрою потенціометра КСП-4 і поясніть їх функціональне призначення.
4. В чому полягає метод двопозиційного регулювання температури електричних печей опору?
5. Чим обумовлена динамічна затримка в системі "автоматичний регулятор-піч"?
6. Чому при автоматичному регулюванні в електричних печах у більшості випадків немає необхідності в забезпеченні відповідності підведеної до печі потужності і споживаної пичцю потужності в кожен момент часу?

Література [19, 20]

2.5 Лабораторна робота № 5 "Дослідження електричного режиму та побудова робочих характеристик дугової сталеплавильної печі, яка представлена її фізичною моделлю"

Мета роботи:

1. Закріплення попередніх знань стосовно електричного режиму та робочих характеристик дугової сталеплавильної печі.
2. Отримати практичний навик експериментального зняття параметрів режиму електроспоживачів.
3. Отримати практичний навик дослідження параметрів електричного режиму за допомогою побудови кругової діаграми дугової електропечі та її робочих характеристик.

2.5.1 Опис фізичної моделі дугової сталеплавильної печі

ФМДСП

ФМДСП є діючою електричною моделлю дугової сталеплавильної печі, яка представлена у вигляді окремого стенда, показаного на рисунку 2.28.

На передню вертикальну панель стенда винесені необхідні для вимірювання прилади: вольтметр - 1, міліамперметр - 2, двоканалний двопробеневий осцилограф - 3, який застосовується для вимірювання кута

зсуву фаз між вторинною напругою U_2 живильного силового трансформатора та струмом електричної дуги I_2 .

На задній вертикальній панелі стенда знаходиться отвір для доступу до змінного резистора, яким викладач може змінювати встановлену вторинну напругу U_2 , тим самим виставляти різноманітні варіанти характеристики моделі.

Величина опору моделі електричної дуги виставляється за допомогою двох ручок змінних резисторів 4, розташованих на передній нахилений панелі. Для зручності вимірювання кута зсуву фаз ϕ між напругою U_2 та струмом I_2 сигнали, які подаються на осцилограф, попередньо посилюються чи послаблюються за допомогою ручок 5 і 6 "усиление сигнала осцилографа U и I", які також розташовані на передній нахилений панелі. Вказаними ручками 5 та 6 досягають того, щоб на екрані осцилографа амплітуди осцилограм були однаковими. При цьому треба запобігати великому підсиленню сигналів при яких амплітуди синусоїд можуть значно перевищувати розмір екрана осцилографа.

Схема 5.1 лабораторної електричної моделі стенда також нанесена на її передню нахилену панель. Кнопковий вимикач мережі "сеть" 8 разом зі світловим індикатором увімкнення напруги 9, розташовані в лівому верхньому куті на вертикальній панелі стенда.

2.5.2 Порядок виконання лабораторної роботи

Перед початком роботи викладач за допомогою викрутки діаметром 2,5-3 мм через позначений отвір на задній панелі стенда виставляє значення напруги, індивідуально для кожної підгрупи студентів, в межах від 60 до 150 вольт і дає дозвіл студентам на виконання роботи.

Увага:

1. Перед початком роботи на стенді виставити всі ручки 7-10 у крайнє ліве положення.
2. Ввімкнути живильний шнур стенда у розетку електромережі 220В, ввімкнути стенд і його осцилограф за допомогою кнопки 8 та тумблера на задній панелі осцилографа, дочекатись появи зелених ліній на екрані осцилографа. Про увімкнення стенда свідчить робота індикатора 3.
3. Ручками 9, 10 трохи підсилити сигнали U та I і налаштувати осцилограф так, щоб на довжині екрана помістився один період осцилограми напруги та струму, амплітуди цих осцилограм дорівнювали одна одній, їх осьові лінії збігалися та розміщувались на середині висоти екрана осцилографа.
4. Визначити масштаб осцилограми по горизонталі, тобто скільки електричних градусів знаходиться в одній поділці шкали екрана осцилографа (один період осцилограми містить 360 градусів електричних).

Далі визначити зсув фаз в поділках і електричних градусах між осцилограмою напруги та струму.

5. Визначити за встановленими приладами 1 та 2 наругу і струм в досліджуваному електричному колі. Записати визначені максимальні значення струму $I_{\max}$ та зсуву фаз $\varphi_{\max}$ у таблицю.

6. Ручками 7 та 8 збільшити активний опір електричного кола до максимуму, а струм зменшити до мінімуму. Визначити мінімальні значення струму $I_{\min}$ та зсуву фаз $\varphi_{\min}$ за алгоритмом, наведеним у пункті 4, і записати їх у таблицю.

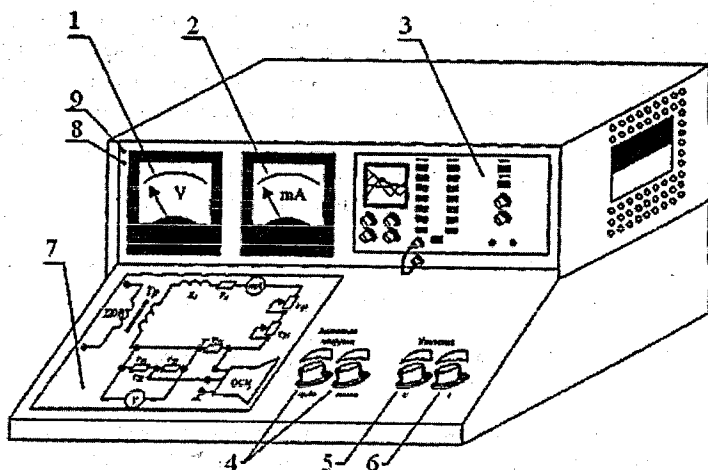


Рисунок 2.28 – Лабораторний стенд

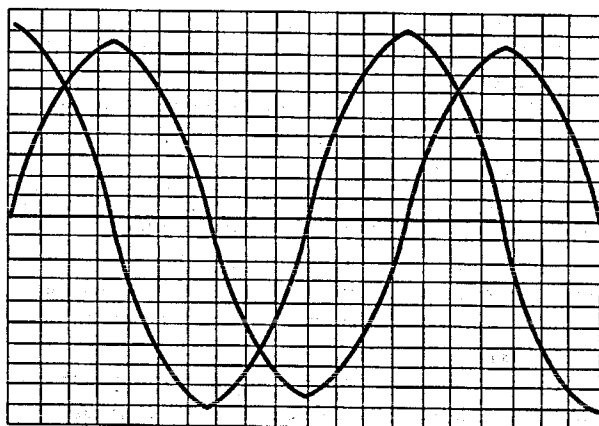


Рисунок 2.29 – Осцилограма напруги U та струму I

7. В межах від мінімальних значень струму $I_{\min}$ та зсуву фаз $\varphi_{\min}$ до максимальних $I_{\max}$, $\varphi_{\max}$ розподілити вимірювання на 7-8 інтервалів та зробити на цих інтервалах досліді аналогічно пунктам 4, 5.

8. Згідно з отриманими даними, побудувати на міліметровому папері векторні діаграми напруги U_2 та струмів I_2 при різних значеннях активного опору навантаження аналогічно, рисунок 2.29.

9. Циркулем підібрати радіус та провести лінію півкола АПР, яке приблизно (на око) апроксимуватиме лінію, що з'єднує точки кінців векторів, отриманих в досліді струмів (найточніше це може бути тоді, коли сума квадратів відхилень координат експериментальних точок від апроксимуючої лінії буде мінімальна).

Примітка Для стабілізації осцилограми на екрані, можна скористатись ручною стабілізацією за допомогою ручки "стаб" осцилографа, підтримуючи її в потрібному положенні під час відліку значень кута зсуву фаз.

10. Згідно з отриманим радіусом R , побудувати кругову векторну діаграму напруги та струмів дугової сталеплавильної печі, визначити опір короткої мережі та на основі кругової діаграми побудувати робочі характеристики ДСП, тобто графіки залежності від струму ДСП таких параметрів як: $\eta_{\text{ел.}}$, $\cos\varphi$, $R_{\text{втр.}}$, $R_{\text{кор.}}$, $R_{\text{повне.}}$. На цих графіках визначити приблизний діапазон оптимальних значень струму I_2 в межах яких доцільно експлуатувати ДСП.

2.5.3 Контрольні запитання

1. Для чого будується кругова діаграма дугової сталеплавильної печі?
2. Між якими параметрами режиму печі відображає залежність вказана кругова діаграма?
3. Які елементи характеристики дугової сталеплавильної печі можна побудувати за допомогою кругової діаграми?
4. Дати приклад побудови векторної діаграми і відповідних електричних характеристик.

Література [20, 21]

2.6 Лабораторна робота №6 "Дослідження зовнішньої вольт-амперної характеристики зварювального агрегату"

Мета роботи: експериментально зняти та дослідити вольт-амперні характеристики зварювального агрегату.

2.6.1 Теоретичні відомості

Електродугове зварювання - це різновид металургійного процесу, в якому мають місце ті ж основні фізико-хімічні процеси, що і в великих металургійних печах для виробництва або переплавлення металів.

Для того, щоб процес зварювання відбувся, необхідно застосовувати спеціальні джерела зварювального струму. Для дугового зварювання застосовують джерела постійного і змінного струму. Джерелами постійного струму зазвичай служать спеціальні зварювальні генератори і, в окремих випадках, зварювальні випрямлячі.

За призначенням джерела зварювального струму поділяються на однопостові та багатопостові. Однопостові мають, як правило, невелику потужність, достатню для живлення одного агрегату. Багатопостові - характеризуються значною потужністю, а їх зовнішні характеристики не відрізняються від характеристик звичайних джерел постійного і змінного струму.

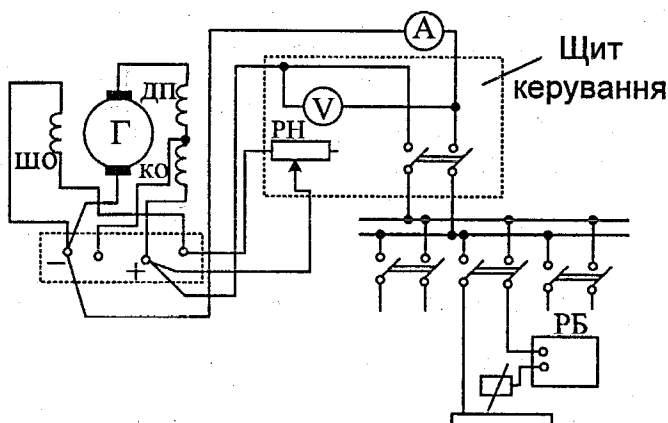


Рисунок 2.30– Принципова схема ввімкнення багатопостового зварювального генератора

За конструктивним виконанням джерела зварювального струму діляться на стаціонарні і пересувні. До стаціонарних відносяться генератори постійного струму, а також важкі зварювальні трансформатори.

Однопостові зварювальні генератори істотно відрізняються від багатопостових своїми зовнішніми характеристиками й конструктивним виконанням. Оскільки однопостовий генератор живить зварювальну дугу безпосередньо (без баластового реостата), його зовнішня характеристика, як правило, круто спадає.

Багатопостові генератори зазвичай мають змішане збудження. Жорстка зовнішня характеристика забезпечується застосуванням баластних реостатів для кожного зварювального поста.

Найпростішим зварювальним генератором є генератор з розмагнічувальною обмоткою, що вмикається послідовно з обмоткою якоря (рисунк 2.31).

Такий зварювальний генератор колекторного виду з самозбудженням має паралельно під'єднану обмотку збудження МО, а також послідовно під'єднану розмагнічувальну обмотку РО з відпайками. Останні забезпечують зміну кількості витків розмагнічувальної обмотки та, як наслідок, регулювання зварювального струму.

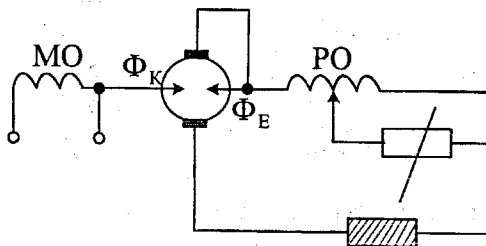


Рисунок 2.31— Принципова схема зварювального генератора з розмагнічувальною обмоткою

Для зварювальних джерел постійного струму застосовують також зварювальні випрямлячі, що виконані на напівпровідникових елементах. Найширше застосування отримали селенові та кремнієві елементи. На рисунку 2.32 представлений зварювальний випрямляч на напівпровідникових елементах.

Ця схема дає найбільші пульсації випрямленої напруги й більш рівномірне навантаження мережі змінного струму в порівнянні з іншими схемами. Зварювальні випрямлячі мають незначну електромагнітну інерцію й характеризуються високими динамічними властивостями. Зварювальні випрямлячі, на відміну від зварювальних генераторів, не мають обертальних частин, які працюють в умовах тертя. Тому вони відрізняються більш високою експлуатаційною надійністю і технологічним пристосуванням.

Крім зварювальних джерел постійного струму широке застосування мають джерела змінного струму, до яких відносяться спеціальні зварювальні трансформатори. Вони є дешевими, мають кращі габаритні і вагові показники, переважно однофазні. Недоліками є: несиметричне навантаження на живильну мережу, низький $\cos \phi$, обмежене технологічне застосування.

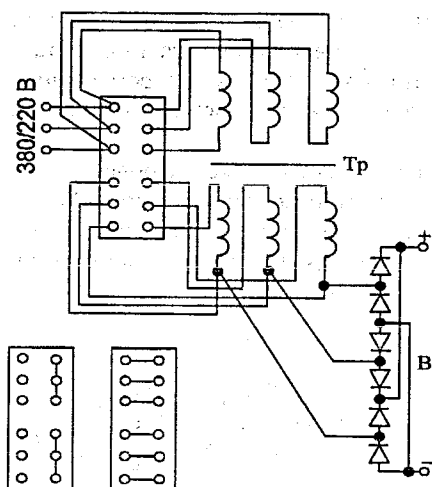


Рисунок 2.32 – Зварювальний випрямляч ВСС-300-3

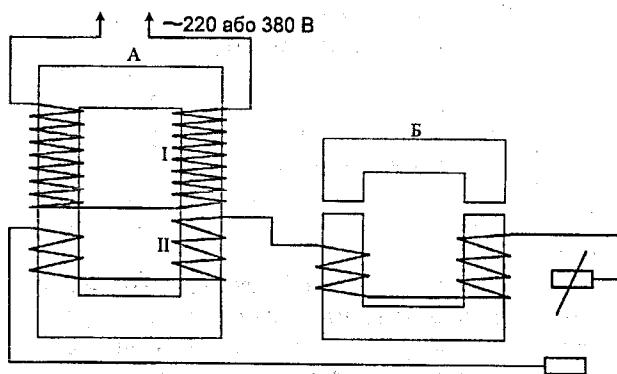


Рисунок 2.33 – Схема зварювального апарату з окремим регулятором

А – трансформатор, Б – регулятор (дросьель); І – первинна обмотка; ІІ – вторинна обмотка.

Трансформатори зазвичай під'єднуються до мережі змінного струму напругою 220 чи 380 В. Для звичайного ручного дугового зварювання, а також для напівавтоматичного і автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу однопостові зварювальні трансформатори

повинні мати спадаючу характеристику. Всі зварювальні трансформатори поділяються на такі дві групи:

1) зварювальні трансформатори з малим або нормальним магнітним розсіюванням, в яких передбачається, крім самого трансформатора, окремий регулятор-дросьль (двокорпусне виконання рисунок 2.33) або трансформатор, в якому додаткова реактивна котушка вбудована в магнітопровід (однокорпусне виконання рисунок 2.34);

2) зварювальні трансформатори з підвищеним магнітним розсіюванням.

При узгодженому ввімкненні обмоток у режимі холостого ходу магнітний потік трансформатора створюється тільки струмом первинної обмотки і поширюється між суміжним та верхнім стержнями магнітопровода.

У режимі навантаження магнітний потік трансформатора створюється струмом первинної обмотки, а також струмом, що протікає у вторинній і реактивній обмотках.

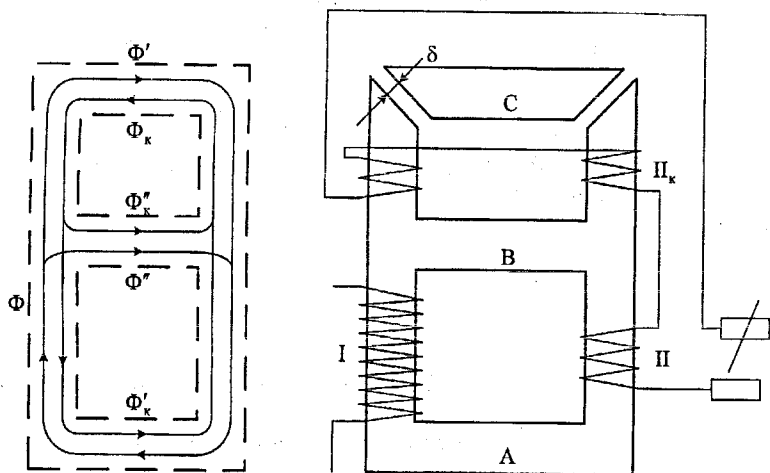


Рисунок 2.34 – Електромагнітна схема трансформатора СТН із вбудованим регулятором

2.6.2 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Відповісти на запитання, задані викладачем, та отримати дозвіл для проведення експериментів.

2. Одягти спецодяг для запобігання опіків від можливого іскріння при торканні електродотримача до маси або баластного опору.

3. Ознайомитись зі схемою зварювального апарата.

4. Провести експерименти зі зняття ВАХ зварювального апарата, які знімаються для трьох характерних точок.

5. Зняти спецодяг, здати учбовому майстру.

6. Побудувати ВАХ за знятими значеннями струму і напруги, а також визначити співвідношення $I_{кз}/I_{роб}$ для отриманих характеристик, де $I_{роб}$ - робочий струм при зварюванні; $I_{кз}$ - струм короткого замикання.

7. Оформити і здати викладачеві звіт по лабораторній роботі згідно з вимогами.

2.6.3 Методичні вказівки

Для зняття ВАХ необхідно увімкнути установку і зняти покази вольтметра та амперметра при таких умовах:

- при холостому ході (від'єднано ніхромовий провідник $R_6=0$);
- при короткому замиканні ($R_d = 0$);
- при навантаженні ($R_d \neq 0$).

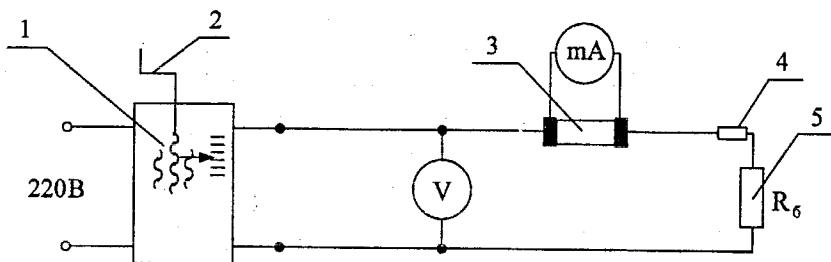


Рисунок 2.35 – Схема досліджуваної лабораторної установки

1 - перетворювальний елемент; 2- регулювальна ручка; 3- шунт; 4 - утримувач електрода; 5- ніхромові спіраль (діаметром 5 мм)

Експерименти необхідно провести для випадкових трьох положень перемикача в межах від 60 до 100 А робочого струму зварювання. Отримані дані занести в таблицю 2.6.

За даними, отриманими в процесі виконання лабораторної роботи, будуються ВАХ, які повинні мати такий самий вигляд, як показано на рисунку 2.36. Характеристики 1, 2, 3 зняті для першого, другого та третього положень перемикача, відповідно.

Таблиця 2.6 – Експериментальні дані для побудови ВАХ зварювального агрегату

Положення перемикача	1			2			3		
	х.х	к.з	Роб. точка	х.х	к.з	Роб. точка	х.х	к.з	Роб. точка
U, (В)									
I, (А)									

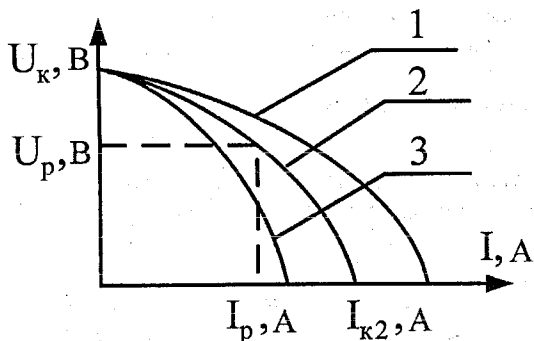


Рисунок 2.36 – ВАХ зварювального агрегату

2.6.4 Вимоги до звіту

Звіт повинен містити:

- 1) мету лабораторної роботи;
- 2) теоретичні відомості;
- 3) схему лабораторної установки;
- 4) побудовані ВАХ;
- 5) висновки.

2.6.5 Контрольні запитання

1. Чому зовнішня вольтамперна характеристика зварювального агрегату повинна круто спадати?
2. Як забезпечується крутоспадаюча зовнішня вольтамперна характеристика:
 - а) в зварювальних машинних агрегатах постійного струму;
 - б) в зварювальних агрегатах постійного струму з трансформатором і випрямлячем;

- в) в однопостових зварювальних агрегатах змінного струму;
- г) в багатопостових зварювальних агрегатах змінного струму?

Література [1, 2, 21]

2.7 Лабораторна робота № 7 “Дослідження роботи установки високочастотного діелектричного нагріву (ВЧД)”

Мета роботи:

1. Ознайомлення з конструкцією та електричною схемою "ВЧД".
2. Отримання практичних навиків визначення параметрів режиму нагрівання на установці "ВЧД".

2.7.1 Теоретичні відомості

Високочастотні установки для нагрівання діелектриків з використанням лампових генераторів почали застосовуватися в нашій країні більше 35 років тому. Спочатку випускалися установки тільки для нагрівання термопластичних матеріалів, потім їх галузь застосування розширилися, збільшилася потужність установок, розширився діапазон частот. З'явилися установки потужністю 63 кВт для сушіння ливарних стрижнів із продуктивністю до 800 кг/год, розроблено генератор потужністю 160 кВт для сушіння віскозного шовку з добовою продуктивністю до 3,5 т.

Установки діелектричного нагрівання використовуються для теплової обробки напівпровідників і діелектриків (сушіння волокнистих матеріалів та лакофарбових поверхонь, пайки і зварювання пластиків, варіння плодів і ягід, консервування харчових продуктів, біологічного прогрівання тканин з різними цілями, знищення шкідників у зерні і т.д.).

В сьогоденні вітчизняною промисловістю установки для нагрівання діелектриків і напівпровідникових матеріалів поділяються за призначенням на чотири основні групи: для зварювання термопластичних матеріалів; для склеювання і сушіння деревини; для нагрівання таблетних прес-порошків, при виготовленні виробів із пластмас; установки загального застосування (для нагрівання з різними цілями виробів і матеріалів).

Останнім часом з'явилися нові галузі застосування високочастотного нагрівання в полі конденсатора – для спінення полістиролу при виготовленні теплоізоляції холодильників, для процесу затвердіння виробів із склопластиків і ін. Виробництво установок для нагрівання діелектриків з кожним роком збільшується і поліпшується їхня

якість. Нові установки використовуються у різних галузях народного господарства: хімічної, будівельної, легкої, харчової, медичного устаткування й ін., тому що з їхнім застосуванням значно скорочується технологічний цикл обробки виробів, забезпечуються потокове виробництво й економія робочих площ, знижуються витрати сировини, поліпшуються санітарно-гігієнічні умови праці.

Іноді для одержання більш високої економічної ефективності застосовують комбіноване нагрівання з використанням струму промислової частоти 50 Гц чи інших видів енергії і палива (газу, пари), що дозволяє знизити загальну кількість високочастотної енергії без зниження продуктивності та якості обробки.

Для нагрівання діелектричних матеріалів застосовуються лампові генератори з частотою коливального контура від 13,56 до 81 МГц (серійні установки); відомі установки, що працюють у більш широкому діапазоні частот, — від 5,28 до 300 МГц. Для ультразвукових і високочастотних установок дозволяється використовувати кілька означених частот, підтримка яких встановлюється в межах $\pm 1,0\%$ щоб уникнути радіоперешкод, створюваних промисловими установками.

Генератори для нагрівання діелектриків і напівпровідників складаються, в основному, з тих же вузлів, що і лампові генератори для індукційного нагрівання металевих виробів. Відмінність полягає в тому, що навантаженням є робочий конденсатор, у якому знаходиться речовина, яка нагрівається. На рисунку 2.37а показана схема генератора, у коливальний контур якого ввімкнений конденсатор з речовиною, яка нагрівається, при цьому частота коливального контура лампового генератора, Гц, визначається за формулою:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_n}}$$

Оскільки в процесі нагрівання ємність C_n (рисунок 2.37б) і активний опір R_n змінюються, змінюються також еквівалентний опір контура, а отже, і режим роботи генератора.

Для того, щоб генератор протягом усього режиму нагрівання працював у незмінному діапазоні частот, потрібно підтримувати незмінним еквівалентний опір коливального контура. Це досягається спеціальним регулюванням, що одержало назву "узгодження навантаження". На практиці застосовуються різноманітні схеми коливальної системи з забезпеченням самозбудження. Вибір схеми залежить, головним чином, від необхідної частоти автоколивань і вимог до її стабільності.

Одноконтурні схеми найчастіше використовуються для отримання коливань частотою до 1 МГц. У цих схемах застосовується, як правило, трансформаторний чи автотрансформаторний зв'язок.

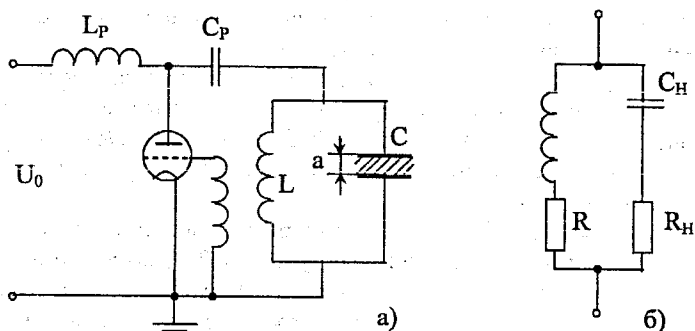


Рисунок 2.37 – Принципова схема генератора для діелектричного нагрівання (а) і схема заміщення навантажувального контура (б)

L_p – розділювальний дросель; C_p – розділювальна ємність; L – котушка зв'язку; C_d – навантажувальна ємність; R_d – опір котушки зв'язку і з'єднувальних проводів; R_H – опір навантаження.

Більш гнучкими є багатоконтурні схеми автогенераторів. Вони дозволяють плавно й у широких межах регулювати еквівалентний опір контура без помітного падіння його ККД. Однак ці системи мають трохи резонансних частот, у зв'язку з цим з'являється можливість переходу роботи генератора з однієї частоти на іншу. Тому доводиться здійснювати зворотний зв'язок від вторинного контура з індуктивним зв'язком між контурами. Плавне регулювання опору навантаження досягається за рахунок переміщення котушки L_k усередині анодної котушки L_1 (див. рисунок 2.37).

Вітчизняною промисловістю випускаються серійні установки з уніфікованими вузлами.

Для нагрівання термореактивних прес-матеріалів використовуються установки ВЧД 1-2,5/81 і ВЧД 1-6,3У81 потужністю 2,5 і 6,3 кВт та продуктивністю до 20–50 кг/ч. Вони призначені для спільної роботи з автоматичним і напівавтоматичним пресовим устаткуванням.

Для зварювання термопластичних матеріалів випускаються установки ІСП 1-4, що мають прес з розмірами робочого столу 600х800 мм і пневматичний привод, максимальне зусилля якого дорівнює 20 кН. Генератор має потужність 4 кВт і частоту робочого струму 40,68 МГц.

Для склеювання деревини серійно випускаються три типи установок: ЛД1-10, ВЧД-2,5/13-3Д, ВЧД-16/13, а для склеювання дерев'яних брусів – ВЧД-25/27 потужністю 25 кВт.

Установки загального застосування мають ще більшу потужність і призначені для нагрівання матеріалів, властивості яких мало змінюються в процесі термообробки, чи для роботи в конвеєрних лініях безупинної дії. Ці установки випускаються без технологічних пристроїв, тому що вони повинні бути сконструйовані для спеціальної продукції з врахуванням різних технологічних особливостей.

Для сушіння ливарних стрижнів та іншої аналогічної продукції розроблена установка ВЧД-63/27, яка має робочу камеру прохідного типу і стрічковий конвеєр. Розробляються установки потужністю 160 кВт і більше.

У всіх серійних установках передбачено екранування від радіоперешкод, механічне блокування дверцят шаф і блоків, що гарантує безпечне обслуговування. Кожухи установок повинні мати надійне заземлення. Всі установки живляться змінним струмом частотою 50 Гц від мереж 0,4 кВ через підвищувальні трифазні трансформатори.

Для зварювання пакувальної тари з полівінілхлоридної плівки розроблена установка ВЧД-0,4/40 потужністю 0,4 кВт, частотою 40 МГц, а для формування тари з пінополістиролу – установка потужністю 60 кВт.

Є й інші установки, призначені для прогрівання тканин, сушіння пряжі, шкіри, картону, для консервування продуктів, випічки кондитерських виробів і т.п.

Впровадження нових і використання серійних установок у промисловості сприяє підвищенню продуктивності і поліпшенню якості виробів. Тому ознайомлення студентів з сучасними високопродуктивними технологіями обробки різних матеріалів і виробів під час виконання даної лабораторної роботи на прикладі установки ВЧД – 1 – 1/40 є доречним та актуальним.

Призначення та галузь застосування установки ВЧД

1. Установка високочастотна ВЧД1-1/40 (іменована надалі – „Установка”) призначена для попереднього нагрівання гранульованих пресувальних матеріалів.

2. Технічні характеристики установки відповідають ГОСТ 15150-69. Тобто:

1) граничні значення робочої температури повітря при експлуатації має бути від 15 до 35° С й відносної вологості 70% при плюс 20° С;

2) навколишнє середовище – невибухонебезпечне, повинне не містити струмопровідного пилу;

3) висота над рівнем моря не більше 1000 м.

Технічні дані
Найменування параметра
Норма

1. Потужність коливальна, кВт	$1 \pm 0,1$
2. Частота робоча, МГц	$40,68 \pm 0.4068$
3. Потужність споживана від мережі кВт, не більше 2,5	
4. Продуктивність, г/хв, не менше	360
5. Маса гранул, що нагрівається, гр, у межах	60-330.
6. Час нагрівання гранул до температури з матеріалу 03-ОІО-02, сек, у межах	$110 \pm 10^\circ$ 15-55
7. Струм анодний, А	0,4-0,6
8. Струм сітковий, А	0,18-0,25
9. Напруга живильної мережі, В	380
10. Кількість фаз	3
11. Частота живильної мережі, Гц,	50
12. Маса, кг, не більше	126

Будова і робота установки

Установка (рисунок 2.38) виконана у вигляді шафи і є коробчатою звареною конструкцією з одними дверима, в яких передбачено електромеханічне блокування.

На дверях розташовані апарати керування і сигналізації, контрольно-допоміжні прилади.

У верхній частині установки знаходиться завантажувальний пристрій (поз. 2) у вигляді висувного листа, на якому міститься таблетковий пресувальний матеріал. Лист одночасно є нижньою пластиною робочого конденсатора.

Верхня пластина з'єднана з регулятором (поз. 1), який змінює відстань між пластинами в межах 20-50 мм.

Під завантажувальним пристроєм установки, в екранувальній шафі розміщено генераторний блок (поз. 16). Він поділений на три відсіки, до яких відносяться: коливальний контур, генераторна лампа та коло зворотного зв'язку. Коливальний контур здійснює перетворення постійної високовольтної (анодної) напруги в напругу високої частоти.

Генераторна лампа охолоджується потоком повітря, що нагнітається вентилятором.

У нижній частині установки розташовані: вентилятор (поз. 15), трансформатори анодний (поз. 14), розжарювання (поз. 13), випрямляч (поз. 18), рубильник, панель (поз. 17), панель живлення (поз.20).

Для гарантування безпечної роботи передбачене електромеханічне блокування дверей шафи установки, яке знімає напругу живлення при відкриванні дверей, і електричне блокування для вимкнення високої

напруги за допомогою кінцевого вимикача при висуванні листа з прес матеріалом.

Установка, завдяки скрануванню, забезпечує рівень напруженості електромагнітного поля чи радіоперешкод, які не перевищують значень, встановлених у ГОСТ 23450-79.

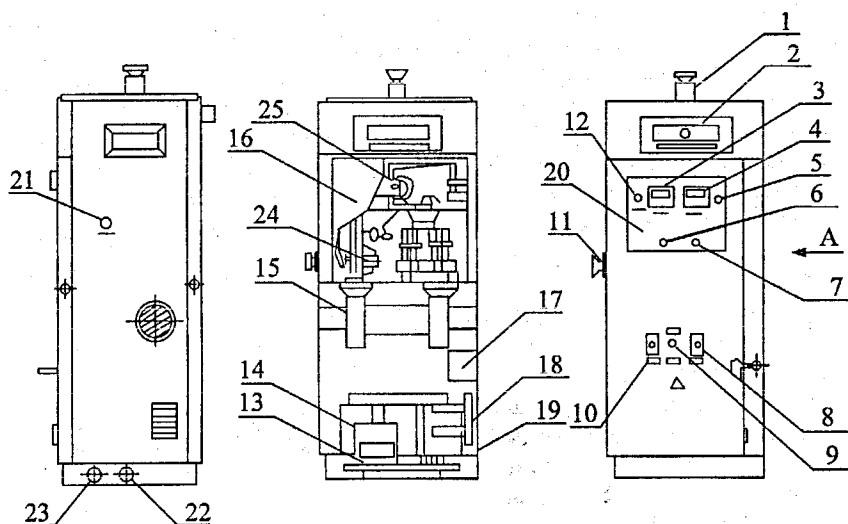


Рисунок 2.38 – Зовнішній вигляд та розташування елементів ВЧД

1 – Регулятор відстані між робочими пластинами, 2 – завантажувальний пристрій, 3 – міліамперметр, 4 – амперметр, 5 – лампа сигнальна, 6 – кнопка ввімкнення нагрівання, 7 – кнопка вимкнення нагрівання, 8 – реле часу, 9 – тумблер реле часу, 10 – вимикач автоматичний, 11 – регулятор потужності, 12 – лампа сигнальна, 13 – трансформатор розжарювання, 14 – анодний трансформатор, 15 – вентилятор, 16 – генераторний блок, 17 – рубильник, 18 – випрямляч, 19 – блок затискачів, 20 – панель живлення, 21 – пристрій вимірювання частоти, 22 – місце заземлення, 23 – підведення напруги, 24 – конденсатор налагодження частоти (C13), 24 – регулятор зворотного зв'язку (L1).

Електрична принципова схема (рисунок 2.39) функціонально складається з таких частин: кіл керування, захисту, сигналізації вимірювальних приладів, високовольтного випрямляча, високочастотного генератора.

Схема керування установкою передбачає можливість увімкнення в строго визначеній послідовності:

а) подача напруги в коло керування й у коло розжарювання генераторної лампи;

б) ввімкнення генерації (нагрівання).

При закритих дверях, ввімкнених рубильнику Q1 і автоматі FT напруга живлення подається в коло керування, двигун вентилятора M1 і через пусковий опір K5 на трансформатор T2, при цьому вмикається перший ступінь розжарювання генераторної лампи V7.

Ввімкнення другого ступеня розжарювання відбувається автоматично через 30с після ввімкнення першого ступеня. Цей час фіксується термореле K1, яке після розігрівання замикає свій контакт і вмикає магнітний пускач D02. Останній вимикає реле часу D01, розриваючи коло живлення цього реле і шунтує пусковий опір K5, у результаті цього здійснюється розжарювання генераторної лампи і подається повна напруга, а також вмикається лампочка H1 зеленого кольору.

Ввімкнення високої напруги здійснюється так:

а) рухається лист із прес матеріалом, при цьому замикаються контакти мікроперемикача S5;

б) натискається кнопка S3 "Нагрівання", при цьому вмикається магнітний пускач K3, який подає напругу на анодний трансформатор T1, блок-контакт пускача K3 блокує кнопку S3. У момент початку нагрівання засвічується червона сигнальна лампочка 112. Вимкнення високої напруги "Нагрівання" здійснюється кнопкою S4 автоматично чи реле часу D04, а також мікроперемикачем S5, що спрацьовує при висуванні листа прес матеріалом.

У схемі передбачений захист за максимальним анодним струмом, при перевищенні якого спрацьовує реле F2, що вимикає коло нагрівання, а при відсутності повітряного охолодження, мікроперемикач аероконтакту S1 вимикає коло керування.

Контроль за режимом нагрівання здійснюється приладами, ввімкненими в анодне і сіткове коло генератора.

Високовольтний випрямляч

Високовольтний випрямляч зібраний на діодах V1...V6 за трифазною двопівперіодною схемою Ларіонова. Живлення випрямляча здійснюється від анодного трансформатора T1. Випрямлена напруга подається на анод лампи через анодний фільтр. За допомогою перемички J12 напругу можна змінювати від 100 до 50%.

Високочастотний генератор

У високочастотному генераторі використовується генераторна лампа-тріод типу ГУ-56, яка ввімкнена за схемою з загальним анодом.

Коливальна система складається з двох контурів анодного і навантажувального.

Анодний контур складається з ємності C13, розділювальної ємності й індуктивності L5. Параметри цього контура, головним чином, визначають робочу частоту.

Навантажувальний контур складається з конденсатора C14, який стабілізує значною мірою робочу частоту, конденсатора змінної ємності C15, що служить для регулювання напруги на робочому конденсаторі, індуктивності L6 і робочого конденсатора C16.

Напруга на сітці регулюється зміною індуктивності L1. Вимірювання коефіцієнта зворотного зв'язку здійснюється сітковою індуктивністю L1. Конденсатори 34, 37, 38 блокують опір R6 і вимірювальні прилади від виникнення на них струмів високої частоти. Поділ постійної і змінної складових анодного і сіткового струмів здійснюється дроселями L2, L4 та конденсаторами C5 і C12.

2.7.2 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Підготуйте установку до роботи відповідно до розділу 5 дійсної документації і під'єднайте її.

2. Завантажте робочий конденсатор матеріалом, що нагрівається.

Зазор між верхньою пластиною робочого конденсатора і матеріалом, що нагрівається, 5-6 мм.

3. Керування процесом нагрівання пресувального порошку здійснюється вручну й автоматично. Для проведення процесу вручну тумблер S2 перемикається в положення "Вимкнене".

4. Для виконання процесу нагрівання в автоматичному режимі тумблер ставиться в положення "Вімкнене", на реле часу Д04 виставляється необхідна уставка часу.

5. При роботі з ручним керуванням нагрівання припиняється після натискання кнопки S4.

6. При роботі з автоматичним керуванням нагрівання припиняється після спрацьовування контактора реле часу Д04, яке розриває коло живлення котушки пускача КЗ.

7. Захист від короткого замикання здійснюється автоматично вимикачем F2.

8. Захист від перевантажень в анодному колі виконується реле F2.

9. Контроль за режимом роботи установки виконується за приладами PA1 і PA2.

2.7.3 Приклад розрахунку потужності височастотного генератора

За технічними даними знайдемо потужність, потрібну для нагрівання речовини (при відсутності втрат). Замість пресувального

гранульованого матеріалу використаємо пластмасу з питомою теплоємністю C , масою таблеток G та часом нагрівання τ .

Дано:

теплоємність – C , $\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$;	1900;
маса гранул – G , кг;	0,06;
час нагріву – τ , сск.;	15;
об'єм гранул – V_A , м^3 ;	0,6;
тангенс кута втрат – $\text{tg}\delta$;	0,25;
відносна діелектрична постійна – ϵ_r ;	13;
напруженість поля – E , В/см	200;
частота – f , МГц,	40.

Визначити потужність високочастотного генератора.

Розрахунок

1. Знайдемо потужність, потрібну для нагрівання речовини (при відсутності втрат)

$$P_1 = 4,17 \cdot G \cdot c \cdot \frac{t_2 - t_1}{\tau} = 4,17 \cdot 1900 \cdot 0,06 \cdot \frac{110 - 20}{15} = 2852,28 \text{ Вт} \approx 2,8 \text{ кВт}.$$

2. Знаходимо потужність, яка виділяється в одиниці об'єму, [кВт·м³].

$$P_V = 5,55 \text{ tg}\delta \cdot \epsilon \cdot E^2 \cdot f \cdot 10^{-4} = 5,55 \cdot 13 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot (200 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-4} = 2886.$$

3. Потужність, що виділяється в діелектрику [кВт].

$$P_d = P_V \cdot V_d = 0,6 \cdot 2,886 = 1,7316.$$

4. Потужність високочастотного генератора [кВт].

$$P = \frac{P_d}{\eta} = \frac{1,73}{0,8} = 2,16.$$

2.7.4 Вимоги до звіту

Звіт повинен містити:

- схему лабораторної установки;
- результати експериментальних вимірювань;
- розрахунки за експериментальними даними;
- висновки.

2.7.5 Контрольні запитання

- Призначення установок діелектричного нагріву.
- Поясніть принцип роботи установки діелектричного нагріву.

3. Назвіть основні блоки, що входять в електричну принципову схему, вкажіть їх функціональне призначення.

4. За яким принципом здійснюється регулювання температури електричних печей?

5. Для чого використовується принцип зворотного зв'язку в лампових генераторах?

6. Поясніть причину виникнення діелектричних втрат, як їх розрахувати.

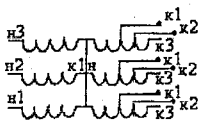
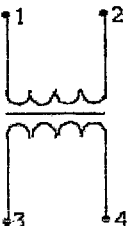
7. Чи можна як нагрівальний матеріал використовувати провідники?

8. Запропонуйте способи підвищення економічної ефективності високочастотного нагріву.

9. Назвіть групи на які поділяються установки для діелектричного нагріву за призначенням.

Література [1, 2, 11, 21]

Таблиця 2.7 – Технічні дані обмоток трансформаторів ВЧД

Схема	Позначення	Позначення на схемі	Обмотка	Марка провода	С, мм	Відводи від витків	Маркування	Напруга, В	
	6ХМ.147. 026	Т1	I	ПЭВ-1	1,25	-	НЗ-К1	220	1500
			II	W5-1	0,5	2760 2898	Н1-К1 Н-К2 Н-К2 Н-К2	1449	
		Т2	I	ПЭЛ0	0,8	-	1,2	220	
			II	ПБД	315 4,75	-	3,4	7,06	
	УН6/170/ 118								150

Таблиця 2.8 – Специфікація ВЧДІ-1/40

Позна-чення	Найменування	Кіль-кість	Примітки
	Конденсатори		
C1...C3	КСО-8-1000В-Г-0.01 мкФ±5%	3	
C4	КСО- 2-300В Г-1000 пФ±5%	1	
C5	К15У-1А-6-47пФ±10%-7ГОСТ7160-78	1	
C6	ІК6П-Р-125-10-0,1 ГОСТ 6760-76	1	
C7	К15У-1А-3,5-220пФ±10%-8ГОСТ160-	1	
C8	КСО-2-500Г-1000±5%ОЖ0461.123.ТУ	1	
C9	С 10К15У-2А-6-220В±20%-	1	
C11	1 К8П-Ф-500-40-0,47±20%. ГОСТ6760-	1	
C12	К154-1А-6-470пФ±20%-25 ГОСТ7160-	1	
C13	27-30пФ повітряний	1	
C14	6.5пф повітряний	1	
C15	15-25пФ повітряний	1	
C16	25-30пФ робочий	1	
F1	Вимикач АЕ-2026-10 660В: 10АТУ	1	
F2	Реле РПУ-0-411 ТУ16.523.295-75	1	
H1	Лампа КМ6-50 ТУ16-88	1	
H2	Лампа КМ6-50 ТУ16-50	1	
K1	Реле ТРВ-18(м) 30с;220В	1	
K2	Пускач ПМЕ-111,220В	1	
K3	Пускач ПМЕ-111,220В	1	
K4	Реле ВС-33-2-ВОС.220ВТУ16	1	
L1	Індуктивність	1	0,8-1,2мкГ
L2	Дросель	1	2мкГ
L3,L4	Дросель	2	2мкГ
L5	Індуктивність	1	0,24мк Г
L6	Індуктивність	1	0,94мк Г
M1	Двигун ДАТ 90-90-30380В 2800об/мин	1	
РА1	Амперметр М-423001А	1	
ра2	Міліамперметр М-42300	1	
Q1	Рубильник ВР32-31А	1	
R1...R3	Резистор МЛТ-2-100кОм±10%А	3	
R4	Резистор С5-35В-25-	1	
R5	Резистор С5-38-50-2000м±5%	1	
R6	Резистор ПЄСРІ-10 -	1	
R7	Резистор С5-35В-75-	1	

Рисунок 2.39 - Принципова електрична схема ВЧД1-1/40

3 ЛТЕРАТУРА

1. Электротехнологические промышленные установки. Под ред. А. Д. Свенчанского. -М.: Энергия, 1982. - 400с.
2. Свенчанский А. Д. Электрические промышленные печи. Ч. 1—М.: Энергия, 1975 -384с.
3. Электротермическое оборудование (справочник). -М.: Энергия, 1980. - 416с.
4. Кацевич Л. С. Теория теплопередачи и тепловые расчты электрических печей. -М.: Энергия, 1976. -304с.
5. Борхерт Р., Юбиц В. Техника инфракрасного нагрева. -М.: Госэнергоиздат, 1963 -280с.
6. Лейканд М. С. Вакуумные электрические печи. -М.: Энергия, 1968. - 328с.
7. Романов Д. И. Электроконтактный нагрев металлов. -М.: Машиностроение, 1965. -252 с.
8. Свенчанский А. Д., Смелянский М. Я. Электрические промышленные печи. Ч.2. Дуговые печи. -М.: Энергия, 1970. -264с.
9. Свенчанский А. Д., Гуттерман К. Д. Автоматическое регулирование электрических печей. -М.: Энергия, 1965. -480с.
10. Фомичев Е. П. Электротехнологические промышленные установки. - Киев: Вища школа, 1979. -243с.
11. Вагин Г. Я. Электротехнологические промышленные установки. - Горький: изд. ГПТИ, 1981. -256с.
12. Миронова А. Н. Электроснабжение электротермических установок. - Чебоксары: изд. ЧГУ, 1983. -184с.
13. Левинский Е. М. и др. Электророзрядная обработка материалов. М.-Л.: Машиностроение. 1971. -317с.
14. Гуткин В. Г. Автоматизация электронных станков. М.-Л.: Машиностроение. 1971. -186с.
15. Гельман А. С. Технология и оборудование контактной электросварки. - М.: Машгиз. 1960. - 196с.
16. Бобринский Ю. Н., Сергеев Н.П. Устройство и наладка контактных сварочных машин. - М.: Машиностроение. 1967. - 223с.
17. Глебов Л. В. и др. Установка и эксплуатация машин контактной сварки. М.-Л.: Энергия. 1973. - 231с.
18. Тормасов В. В. Электротехнология основных производств. М.: Высшая школа, 1970, - 286 с.

Додаток А
Запитання для підготовки до іспиту
"Електротехнологічні промислові установки"

1. Загальні відомості про застосування електротехнології в промисловості. Задачі дисципліни.
2. Приведіть історичні дані про розвиток електротехнології. Роль вітчизняних вчених в розвитку основних напрямків електротехнологій.
3. Класифікація електротермічних пічних установок.
4. Теплопередача через плоску стінку шляхом теплопровідності. (Гіпотеза Фур'є).
5. Теплопередача за допомогою конвекції.
6. Розкажіть про теплопередачу шляхом випромінювання.
7. Вимірювання і регулювання температури.
8. Алгоритм теплового розрахунку електричних печей опору.
9. Алгоритм електричного розрахунку печей опору.
10. Основні конструктивні схеми печей опору.
11. Установки прямого нагріву. Конструкції. Переваги і недоліки.
12. Електричні печі опору як споживачі електричної енергії.
13. Електрообладнання електричних печей опору (ЕПО).
14. Питання раціональної експлуатації ЕПО.
15. Індукційний нагрів. Переваги. Галузь застосування. Класифікація.
16. Фізичні основи індукційного нагріву.
17. Основні рівняння індукційного нагріву.
18. Індукційні печі зі сталевим осердям. Принцип дії. Переваги і недоліки.
19. Конструкції індукційних печей із сталевим осердям. Схеми ввімкнення.
20. Індукційний поверхневий нагрів. Галузь застосування. Конструкції. Розрахунок оптимальної частоти струму.
21. Індукційні тигельні печі без осердя. Галузь застосування. Переваги і недоліки. Конструктивне виконання.
22. Розрахунок потужності генератора, що живить індуктор. Електрична схема установки для загартовування деталей струмами підвищеної частоти.
23. Індукційний наскрізний нагрів. Частота струму. Галузь застосування. Особливості режимів роботи.
24. Електрообладнання установок індукційного нагріву. Основні елементи і їх особливості.
25. Статичні перетворювачі частоти. Схеми. Переваги і недоліки.
26. Лампові генератори частоти. Галузь застосування. Схеми.
27. Установки діелектричного нагріву. Призначення. Фізичні основи діелектричного нагріву.
28. Лінії передачі підвищеної частоти. Конструкції. Розрахунок активних і індуктивних опорів.
29. Індукційні установки як споживачі електричної енергії.
30. Електродугові печі прямої і непрямої дії. Конструкції і принцип роботи. ВАХ електричної дуги.
31. Електричний режим і робочі характеристики дугової печі.
32. Рудо-термічні печі. Призначення. Конструкції. Особливості електрооб-

ладнання.

33. Особливості горіння зварювальної дуги.

34. Джерела зварювального струму. Під'єднання зварювальних постів до них.

35. Конструкції і характеристики зварювального трансформатора. Застосування осциляторів.

36. Основні види контактного зварювання. Електрофізичні основи зварювання.

37. Стикове зварювання і його види.

38. Переваги стикового зварювання з оплавленням в порівнянні зі стиковим зварюванням без оплавлення.

39. Зварювальні машини для стикового зварювання.

40. Точкове зварювання. Фізичні основи. Схеми машин точкового зварювання. Галузь застосування.

41. Тепловий баланс при точковому зварюванні.

42. Шовне зварювання. Принцип шовного зварювання. Типи шовного зварювання. Машини шовного зварювання.

43. Апаратура керування зварювальними машинами. Основні вимоги. Вимикачі і регулятори часу.

44. Електросхеми керування зварювальними машинами. Основні вимоги.

45. Установки для розмірної електрофізичної обробки металу. Електрофізичні основи процесу. Галузь застосування.

46. Розрахунок енергії імпульсу електрофізичної обробки металів.

47. Електрофізичні основи електролізу. Закон Фарадея. Електрофізичний еквівалент речовини.

48. Рух іонів в електропіл. Іонна електропровідність. Потенціал виділення.

49. Електроліз. Поляризація електродів. Перенапруга.

50. Кристалізація і властивості катодних осадів.

51. Вихід металу за струмом.

52. Ванни для електролізу водним розчином металів. Принципові схеми з'єднання електродів у ванні, ванн в блоці, блоків в серії.

53. Ванни для електролізу розплавлених солей.

54. Шинопроводи електролізних установок. Конструкції. Розрахунки.

55. Джерела живлення електролізних установок.

56. Перетворювальні підстанції електролізних установок. Категорії електроприймачів. Номінальні дані випрямних агрегатів і їх кількість.

57. Схеми головних кіл електролізних підстанцій. Розподільчі пристрої електролізних підстанцій.

Навчальне видання

Милосердов Валерій Олександрович

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ ТА ПРИСТРОЇ

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна
Коректор Ю. Франко

Оригінал-макет підготовлено В. Милосердовим

Підписано до друку 11.08.2009 р.
Формат 29,7×41¼ Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний Ум. др. арк. 8.5
Наклад 85 прим. Зам. № 2009-454

Вінницький національний технічний університет,
науково-методичний відділ ВНТУ
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
ВНТУ, ГНК, к. 114
Тел. (0432) 59-85-32
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
ВНТУ, ГНК, к. 114
Тел. (0432) 59-85-32
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.