МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ В АПВ

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальності G3 Електрична інженерія
денної і заочної форм навчання
другого (магістерського) рівня вищої освіти

СУМИ – 2026

УДК 631.3:621.3:621.365(076.5)
К 59

Укладачі:
Козін В. М., к. т. н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Савойський О. Ю., к. т. н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Сіренко Ю. В., PhD, доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Тимошенко Г. А., завідувач навчальної лабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем
Мороз К. В., завідувач навчальної лабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем

К 59 Електротехнології в АПВ:
Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт для здобувачів спеціальності G3 Електрична інженерія денної і заочної форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти [Електронне видання] / укл.: В. М. Козін, Савойський О. Ю., Ю. В. Сіренко, Г. А. Тимошенко, К. В. Мороз. – Суми, 2026 – 180 с.

Методичні вказівки призначені для забезпечення здобувачів методичним матеріалом для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електротехнології а АПВ», а також вивчення, систематизації, розширення та закріплення теоретичних знань та застосування їх під час вирішення конкретних наукових, технічних, економічних та виробничих завдань.

Рецензенти:
Кравченко В. О., к. ф.-м. н., доцент кафедри енергетики електротехнічних систем СНАУ;
Івченко О. В., к. т. н., доцент, завідувач кафедри проектування технічних систем СНАУ.

Відповідальний за випуск:
Юрченко О. Ю., PhD, в. о. завідувача кафедри енергетики електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету.
Протокол № 5 від «12» березня 2026 року

© Сумський національний аграрний університет, 2026

ЗМІСТ

С.

ВСТУП.....5
ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ І ОХОРОНИ ПРАЦІ ЗДОБУВАЧІВ ПІД ЧАС РОБОТИ У ЛАБОРАТОРІЇ.....7
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. Вивчення і дослідження регуляторів температури.....8
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. Вивчення і дослідження електродного водонагрівача.....19
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. Вивчення та дослідження автоматизованої системи управління обігрівом підлоги.....25
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. Дослідження індукційних нагрівачів з внутрішнім індуктором.....29
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. Вивчення і дослідження індукційних водонагрівачів.....35
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6. Вивчення і дослідження електрокалориферної установки.....44
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7. Дослідження джерел зварювального струму.63
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8. Вивчення і дослідження елементних водонагрівачів.....89
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9. Вивчення і дослідження холодильних установок.....93
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10. Дослідження електричного фільтра.....108
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11. Дослідження електричного перетворювача.....117
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12. Вивчення і дослідження режимів роботи електричної огорожі.....132
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13. Дослідження ультразвукового генератора.....139
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14. Дослідження п’єзоелектричного перетворювача.....148

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15. Дослідження магнітострикційного перетворювача.....154
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....158
ДОДАТКИ.....159

ВСТУП

У контексті підготовки магістра особливої ваги набуває уміння працювати з технічною документацією. Майже кожна лабораторна робота передбачає звернення до паспортних даних обладнання, електричних принципових схем, таблиць технічних характеристик, алгоритмів налаштування та правил експлуатації. Робота з такими матеріалами розвиває вміння читати документацію, ідентифікувати номінальні та гранично допустимі параметри, встановлювати порядок підключення та послідовність операцій, а також бачити зв’язок між паспортними даними й реальними режимами функціонування установки. Це має принципове значення для фахівця, який у подальшій діяльності працюватиме не в умовах спрощеної навчальної задачі, а з конкретним обладнанням, що потребує технічно грамотного монтажу, налагодження, діагностики та сервісного супроводу.

Виконання лабораторних робіт також сприяє розвитку культури оформлення інженерного звіту. Звіт з лабораторної роботи є не формальністю, а скороченою моделлю технічного документа, у якому має бути чітко відображено мету дослідження, вихідні дані, схему або ескіз установки, методику експерименту, таблиці результатів, розрахунки, графічні залежності, аналіз похибок і висновки. Уміння грамотно подати результати дослідження, логічно інтерпретувати їх та аргументовано захистити власні висновки є важливою складовою професійної комунікації інженера. Саме через таку роботу здобувач опановує мову технічного аналізу, вчиться відділяти суттєве від другорядного та набуває навичок, необхідних для подальшої участі у проєктній, науково-дослідній або експлуатаційній діяльності.

Системне опрацювання матеріалу даних рекомендацій дає можливість побачити, що електротехнології в АПВ – це не сукупність розрізнених технічних засобів, а широка галузь інженерної діяльності, де знання законів електротехніки поєднується з розумінням властивостей середовищ, матеріалів, продуктів і біологічних об’єктів. Електричне нагрівання, охолодження, електричні поля, акустичні коливання, автоматизоване регулювання, імпульсна дія, резонансні

явища та перетворення енергії різної фізичної природи в межах одного навчального курсу складаються у цілісну картину сучасної інженерної практики. Саме тому цей лабораторний практикум доцільно розглядати як методичну основу для формування компетентного фахівця, здатного мислити системно, діяти технічно грамотно, оцінювати ефективність рішень і відповідально впроваджувати електротехнологічні засоби в реальні об’єкти агропромислового виробництва.

Лабораторний практикум з дисципліни «Електротехнології в АПВ» спрямований на формування у здобувачів комплексного уявлення про принципи побудови, особливості дії, режими роботи, методи дослідження та правила експлуатації електротехнологічних установок, що застосовуються в агропромисловому виробництві. Його зміст забезпечує послідовний перехід від базових засобів контролю та регулювання до складніших систем теплового, електромагнітного, електроакустичного та автоматизованого впливу. У результаті виконання лабораторних робіт здобувач повинен навчитися не тільки пояснювати фізичну сутність процесів, а й бачити за ними конкретні технічні, експлуатаційні, енергетичні та виробничі наслідки. Саме така підготовка створює основу для професійної діяльності інженера-електрика, здатного розробляти, впроваджувати, удосконалювати та безпечно експлуатувати сучасні електротехнологічні системи в агропромисловому виробництві.

Методичні вказівки можуть бути ефективно використані не лише під час виконання лабораторних робіт, а й у процесі самостійної підготовки, повторення теоретичного матеріалу, опрацювання схем, підготовки до модульного контролю, заліку або іспиту, а також під час виконання індивідуальних дослідницьких завдань. Наведені в роботах питання, таблиці, розрахункові співвідношення, вимоги до звітів і контрольні запитання створюють цілісне навчально-методичне середовище, в якому здобувач може послідовно формувати й перевіряти власні знання та вміння. При цьому сам зміст робіт спонукає до ширшого осмислення ролі електротехнологій у сучасному сільському господарстві – від локального апарата до системного бачення виробничого об’єкта як складної енерготехнологічної системи.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ І ОХОРОНИ ПРАЦІ ЗДОБУВАЧІВ ПІД ЧАС РОБОТИ У ЛАБОРАТОРІЇ

Відповідальність за виконання правил техніки безпеки і охорони праці покладається на викладача, що проводить заняття у лабораторії. До роботи допускаються викладачі, лаборанти та здобувачі після проведення інструктажу з техніки безпеки і охорони праці та вивчення інструкцій з відміткою в журналі інструктажу під особистий підпис.

У лабораторії необхідно виконувати такі правила:

– працювати лише за спеціально обладнаними столами і стендами;

– не доторкатися одночасно опалювальних батарей і приладів, які можуть виявитися під напругою;

– струмопровідні частини та проводи установок ізолювати від можливого доторкання під час роботи.

Під час проведення лабораторних робіт забороняється:

– робити перемикання, приєднання в електричних схемах, що знаходяться під напругою;

– працювати без попередньо складеної схеми та підготовки для неї проводів;

– користуватися несправним інструментом та устаткуванням;

– залишати схеми увімкненими після закінчення роботи;

– знімати та переміщати попереджувальні або забороняючі плакати і знаки;

– захаращувати робоче місце сторонніми предметами;

– живити напругою схему без попередньої перевірки та дозволу викладача (або лаборанта);

– залишати без нагляду схему, що знаходиться під напругою;

– ходити по лабораторії без потреби та відволікати від роботи інших здобувачів.

Під час виникнення нещасного випадку необхідно:

– зняти напругу зі схеми;

– надати першу допомогу потерпілому;

– повідомити про випадок викладачеві (або лаборанту);

– за необхідності викликати швидку медичну допомогу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1
ВИВЧЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЯТОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ

Мета роботи

Вивчення регуляторів температури і отримання практичних навичок з їх вибору, дослідження та експлуатації.

1 Програма роботи

1.1 Вивчити призначення, конструкцію, принцип дії та область застосування регуляторів.

1.2 Дослідити характеристики датчиків терморегулятора ПТР-2.

2 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

2.1 Пункт 1.1 виконати до початку заняття.

2.2 Підготуватися до відповіді на контрольні запитання.

3 Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити конструкції регуляторів температури на робочому місці.

3.2 Скласти схеми приєднання регуляторів, використовуючи паспорти та електричні схеми регуляторів.

3.3 Дослідити залежність опору датчика регулятора ПТР-2 від температури та тривалості нагрівання.

4 Зміст звіту

4.1 Викреслити схеми приєднань усіх регуляторів.

4.2 Привести у вигляді таблиць і графіків результати дослідження характеристик датчика регулятора ПТР-2: $R = f(\tau)$; $R = f(t)$.

5 Методика виконання роботи

Нагрівання датчика регулятора здійснюється у нагрівальній шафі, в якій також знаходиться чутливий елемент термометра. Вимірювання опору терморезистора датчика здійснюється за допомогою реохордового мосту.

Для того, щоб температура терморегулятора відповідала температурі чутливого елементу термометру, нагрівання здійснюється повільно, а інтервали часу між замірами повинні складати 5–7 хвилин. Інтервали часу вимірюються за допомогою годинника з секундною стрілкою. Результати дослідження заносяться до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати дослідження датчику регулятора ПТР-2

Час (τ), хв					
Температура (t),˚С					
Опір (R), Ом					

Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд регулятора і датчика ПТР-2

6 Пояснення до роботи

6.1 Температурне реле типу ТР-200

Температурне реле типу ТР-200 призначене для контролю температурного стану робочого середовища у схемах сигналізації та автоматики.

Контакти реле працюють в ланцюзі постійного та змінного струму.

Реле призначено для роботи у приміщеннях із відносною вологістю повітря не вище 80 % за відсутності у ньому кислотного та інших парів здатних викликати корозію металевих частин. Частина корпусу реле, що занурюється у робоче середовище герметична, має нікелеве захисне покриття і розрахована для роботи у неагресивному рідкому або газовому середовищі за будь-якої вологості останньої.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики реле ТР-200

Назва	Значення	Примітка
1. Межа контрольованих температур	Від +25°С до +200°С	Конструкція реле припускає плавне регулювання в межах зазначених температур
2. Припустима похибка без уставки	±5°	При швидкості зміни температури середовища не більш 0,5 °С/хв
3. Кількість контактів	1 пара	Розмикаючі
4. Розривна потужність контактів	50 Вт, 30 ВА	У індуктивному ланцюзі постійного струму при напрузі 220В, у ланцюзі змінного струму при напрузі 220 В

Принцип дії реле ТР-200 полягає у використанні різниці коефіцієнтів лінійного розширення інвару та латуні.

Кінематична схема пристрою реле показана на рис. 1.2.

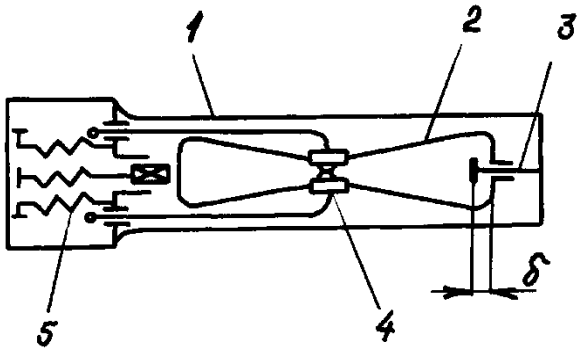


Рисунок 1.2 – Кінематична схема пристрою термореле ТР-200:
1 – трубка з латуні; 2 – пружини з інвару; 3 – вісь;
4 – контакт; 5 – гвинт для регулювання

Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд датчика реле ТР-200

Під час нагрівання у наслідок різниці коефіцієнтів лінійного розширення латуні і інвару, труба (1), що пов’язана з віссю (3) переміщаються щодо пружинної системи (2). Це призводить до зменшення зазору δ, що встановлюється залежно від необхідної температури контрольованого середовища. Після досягнення заданої температури зазор повністю зникає, а після подальшого підвищення температури контрольованого середовища викликає розтягнення пружин, що спричиняє розмикання контактів електричного ланцюга. Зниження температур викликає зменшення довжини трубки, що звільняє пружини, і контакти знову замикаються.

Конструкція реле розбірна і складається з двох основних вузлів:

1) корпусу реле;

2) голівки з контактними і регулювальними пристроями.

6.2 Термометр контактний з магнітним регулюванням

Контактний термометр із магнітним регулюванням положення робочого контакту призначений для підтримки постійної температури у межах шкали.

Термометр складається з таких частин:

– контактного ртутного скляного термометру з подвійною шкалою;

– ковпачка;

– магнітно-поворотного пристосування.

Контактний термометр застосовується як первинний прилад в схемах регулювання температури. Настроювання термометру на задану температуру проводяться за допомогою гвинта, що обертається магнітом.

У середині скляної овальної трубки термометру поміщена овальна гайка, в якій закріплений вольфрамовий контакт, що входить своїм кінцем у капіляр.

При обертанні гвинта овальна гайка опускається або піднімається по ньому і переміщає рухливий контакт у капілярі. При настроюванні термометру гвинт обертають в ту або іншу сторону доти, поки овальна гайка нижнім обрізом не встановиться на штриху заданої температурної точки контактування верхньої шкали.

Після цього перевіряють положення кінця рухливого контакту в капілярі щодо штриха по нижній шкалі. Ці штрихи по нижньому зрізу гайки по верхній шкалі і по кінцю контакту нижньої, повинні бути рівнозначними. Якщо є розбіжність, то поворотом магніту (опускаючи або піднімаючи гайку) рухливий контакт установлює точно на штриху температурної оцінки заданої точки контактування і магніт стопорними гвинтами закріплюється в цьому положенні.

При досягненні заданої температури ртутний стовпчик замикає електричний ланцюг між руховим і нерухомим контактами.

Контактний термометр є датчиком двопозиційної дії, межі регулювання температур від –30°С до +100°С і вище. У схемах автоматики контактні термометри застосовуються, як правило, із проміжними реле, тому що розривна потужність контактів термометру складає 2 Вт при силі струму 0,2 А.

6.3 Термометр манометричний сигналізуючий типу ТСМ

Термометри манометричні сигналізуючи типу ТСМ призначені для вимірювання температур і для сигналізації гранично припустимих температур нагрівальних пристроїв. Вони можуть використовуватися також в якості контактних термометрів у терморегуляторах.

Термометри манометричні сигналізуючі типу ТСМ є паро-рідинними дистанційними термометрами з електроконтактним пристроєм.

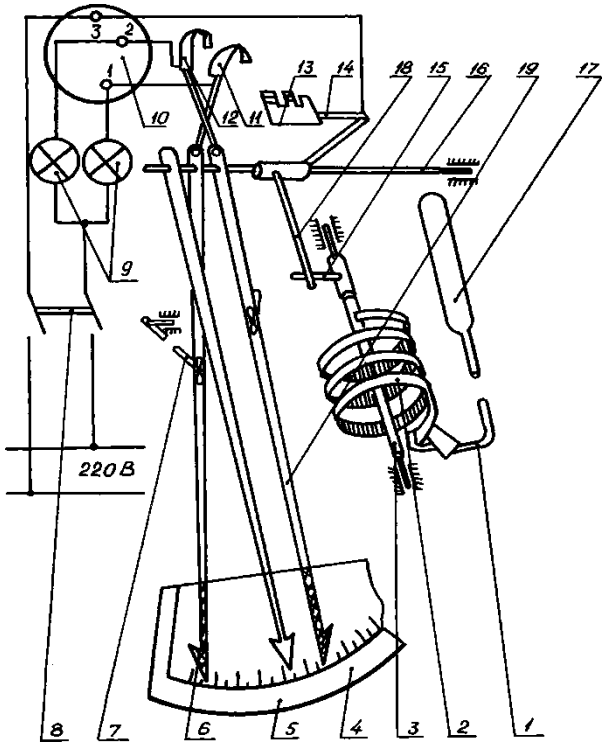


Рисунок 1.4 – Електрокінематична схема термометра ТСМ

Позначення до рис. 1.4: 1 – з'єднувальна трубка (капіляр); 2 – манометрична пружина; 3 – ось; 4 – шкала; 5 – стрілка; 6 – покажчик жовтий; 7 – поводок; 8 – тумблер; 9 – сигнальні лампочки; 10 – перехідна колодка; 11 – ламель жовтого покажчика; 12 – ламель червоного покажчика; 13 – контактні щітки; 14 – косинець; 15 – поводок; 16 – ось; 17 – термобалон; 18 – поводок; 19 – покажчик червоний.

Таблиця 1.3 – Ціна поділки і розмір допустимих похибок регуляторів ТСМ

Тип регулятора	Межі вимірювання, °С		Інтервал температур, °С		Ціна поділки, °С	Допустима похибка показів приладу при температурі довкілля –5 – +20 °С	
	від	до	від	до		%	°С
ТСМ-100			0	40	5	4	+4
	0	100	40	100	2	2,5	+2,5
ТСМ-200			100	140	5	4	+4
	100	200	140	200	2	2,5	+2,5

6.4 Термометр манометричний електроконтактного типу ТПП-СК

Електроконтактні термометри манометричного типу (показуючі і сигналізуючі) призначені для постійного дистанційного вимірювання температури рідких і газоподібних середовищ у стаціонарних умовах сигналізації при відхиленні температури від заданого діапазону.

ТПП-СК це термометр манометричний, паро-рідинний, сигналізуючий, електроконтактний.

Принцип дії манометричного термометру оснований на залежності тиску заповнювача термосистеми від температури, яка вимірюється в середовищі. На рис. 1.5. зображена принципова схема термометра сигналізуючого ТПП-СК.

Зміна температури середовища, що контролюється сприймається заповнювачем термосистеми через термобалон 1 і перетворюється у зміну тиску, під впливом якого манометрична трубчаста пружина 2 через сектор 3 і трубку 4 переміщає стрілку відносно шкали 6. Разом із стрілкою, що показує, переміщається головний повідець 7.

Як датчик електричного сигналу використовуються два граничних контакти. Один із них 8 задає сигнал мінімального значення, інший 9 – максимального значення температур середовища. Зв’язок стрілки з рухливими

контактами повідців здійснюється через спіральні волоски. Такий зв'язок зумовлений тим, що після спрацювання сигнального пристрою температура може змінюватися в тому самому напрямку, що спричинив появу сигналу, і сигнал при цьому не повинен зникати. Це значить, що контакт повинен замкнутися, а стрілка повинна стежити за зміною параметру.

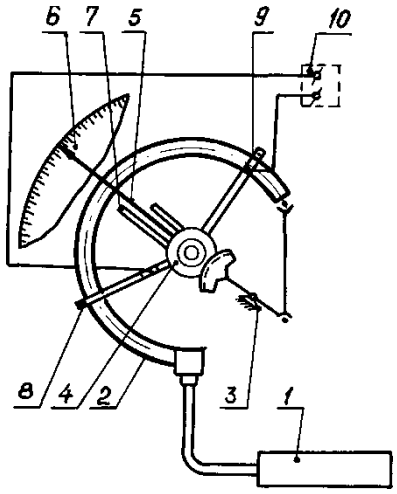


Рисунок 1.5 – Принципова схема термометра ТПП-СК:
1 – термобалон; 2 – пружина манометрична; 3 – сектор; 4 – трубка;
5 – стрілка; 6 – циферблат; 7 – ведучий поводок; 8, 9 – граничні контакти;
10 – вихідні затискувачі

6.5 Терморегулятор ПТР-2

Прилад ПТР-2 призначений для двопозиційного регулювання температури газоподібних та рідких середовищ. Прилад може комплектуватися термосистемою, яка призначена для регулювання температури агресивних середовищ. Використання приладу для регулювання температури у вибухонебезпечних приміщеннях забороняється. Прилад може бути використаний як сигналізатор граничних значень температури.

Прилад ПТР-2 розміщується в пластмасовому корпусі, до якого прикріплюється панель. На ліву сторону монтажної панелі виведені ручки потенціометрів шкал температури і зони нечутливості та розташований силовий запобіжник 3 внутрішньої сторони до монтажної панелі кріпиться

трансформатор, плата випрямляча, плата підсилювача, блок налаштування та вихідне реле. Блок налаштування містить у собі всі елементи вимірювального мосту.

У нижній частині корпусу розташовані роз'єм та гвинт для заземлення приладу. У робочому положенні прилад закривається кришкою, що фіксується до монтажної панелі двома спеціальними гвинтами. Чутливий елемент приладу (рис. 1.6) включений у плече вимірювального мосту змінного струму. З метою компенсації паразитної ємності лінії підключення термосистеми до приладу виконаний за трьохпровідною схемою.

При співпадінні температури регульованого об'єкту та температури, установленої на шкалі, прилад збалансований, і сигнал на виході мосту дорівнює нулю. При відхиленні температури об'єкту від заданого значення міст розбалансується, і на виході з'являється сигнал, величина якого пропорційна розміру відхилення температури, а фаза залежить від знаку зазначеної зміни. Встановлення необхідного значення температури здійснюється потенціометром R3, що змінює точку балансу мосту. За допомогою опору R1 встановлюється ширина шкали, а за допомогою опору R2 – її початок. Змінний опір R4 дозволяє встановлювати необхідний розмір зони нечутливості. При замкнутих контактах реле 42, 43 опір R4 замкнуто і спрацьовування розмикаються, у плече мосту включається опір приладу відбувається при температурі t_1. При спрацьовуванні реле контакти 42, 43 R4 і відключення приладу (відповідному моменту балансу мосту) відбудеться не при температурі t_1 а при температурі t_2.

Величина різниці (t_1 – t_2) (зони нечутливості) визначається розміром введеного опору. Сигнал з вимірювальної діагоналі мосту надходить на вхід першого каскаду підсилювача, зібраного за схемою з загальним емітером. Для підвищення стабільності робіт у підсилювачі введений послідовний R11 і паралельний C1, C2 зворотний зв'язок.

Підсилений сигнал розбалансу подається на базу транзистору V2 фазочутливого каскаду ФЧК. Схема ФЧК живиться випрямленою однонапівперіодичною напругою. Коли фаза напруги, що живиться, збігається з фазою напруги сигналу, транзистор V2 відчиняється і конденсатор C3

заряджається до напруги джерела живлення. При цьому на виході ФЧК з'являється випрямлена напруга пропорційна сигналу розбалансу. Якщо фаза сигналу не збігається з фазою опорної напруги або сигнал дорівнює нулю транзистор закритий, тому що при наявності колекторної напруги на базі транзистору діє позитивна напруга. При цьому напруга на конденсаторі С3 дорівнює нулю. ФЧК управляє роботою тригера Шмідта.

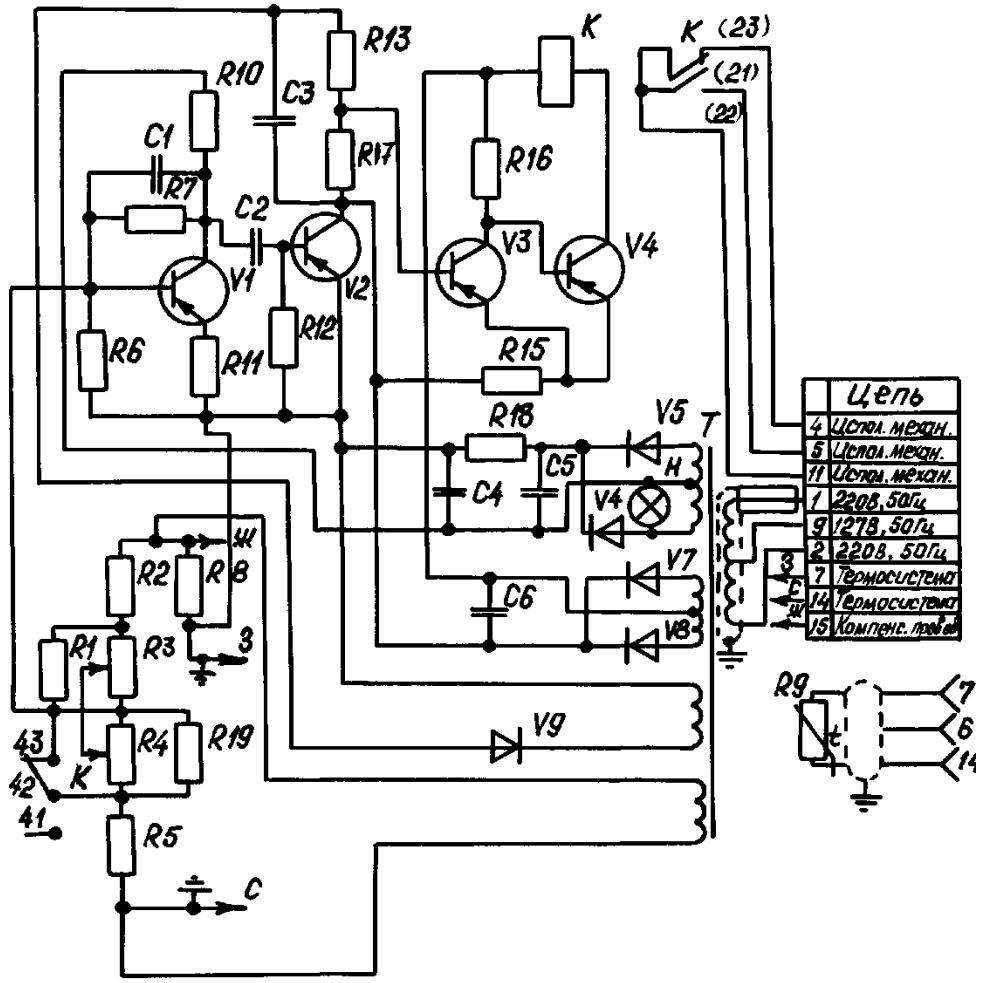


Рисунок 1.6 – Принципова електрична схема терморегулятора ПТР-2

При напрузі на конденсаторі С3, що дорівнює нулю, перший транзистор тригеру V3 замкнений, при цьому транзистор V4 відкритий високою негативною напругою на колекторі транзистору V3, обмотка реле знаходиться під струмом і контакти, що замикаються, замкнуті. При зміні знаку розбалансу конденсатор С3 заряджається. Напруга на конденсаторі С3 прикладається негативним полюсом до бази транзистору V3. При цьому в базовому ланцюзі транзистору V3

з’являється струм, що відпирає його. Потенціал бази транзистору V4 підвищується, транзистор V4 замикається, а реле роз’єднає живлення і розімкне свої контакти. Процес переходу тригеру з одного стану в інший відбувається стрибкоподібно, що забезпечує стійку роботу реле. Змінюючи опір зворотного зв’язку тригеру R15 можна регулювати розмір мінімальної зони нечутливості, причому при збільшенні величини опору R15 величина мінімальної зони нечутливості збільшується і навпаки.

7 Контрольні запитання

7.1 Пояснити будову регуляторів.

7.2 Пояснити принцип дії регуляторів.

7.3 Розповісти область застосування регуляторів.

7.4 Пояснити дію схеми регулятору ПТР-2.

7.5 Пояснити принципи узгодження регуляторів із виконавчими пристроями сигналізації.

7.6 Пояснити суть методу двопозиційного регулювання.

7.7 Пояснити, що таке статична характеристика датчика і регулятора.

7.8 Пояснити, що таке динамічна характеристика датчика і регулятора.

7.9 Що таке температурний коефіцієнт опору, в яких одиницях він вимірюється?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2
ВИВЧЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО ВОДОНАГРІВАЧА

Мета роботи

Вивчення принципу дії та конструкції водонагрівачів, схеми електричної принципової керування водонагрівачем та отримання практичних навичок з дослідження та експлуатації водонагрівачів.

1 Програма роботи

1.1 Вивчити призначення, конструкцію, принцип дії та область застосування електродних водонагрівачів.

1.2 Вивчити схему керування водонагрівачем.

1.3 Накреслити схему електричну принципову ЕПЗ-100.

1.4 Виконати дослідження енергетичних показників водонагрівача.

2 Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи

2.1 Пункти 1.1, 1.2 і 1.3 виконати вдома.

2.2 Підготуватися до відповіді на контрольні питання.

3 Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити устрій водонагрівачів та станції керування і захисту на робочому місці, вивчити інструкцію з монтажу та експлуатації електродних водонагрівачів.

3.2 Дослідити енергетичні показники електродного водонагрівача відповідно до п. 5.

4 Зміст звіту

4.1 Накреслити схему електричну принципову керування електродним водонагрівачем.

4.2 Привести в вигляді таблиці результати досліджень.

4.3 Побудувати графіки зміни струму, потужності, коефіцієнту потужності

і ККД у функціях часу та температури.

5 Методика виконання роботи

Під час експериментального дослідження залежностей потужності та струму як функції часу і температури, режим роботи водонагрівача задається викладачем. Параметри приладу занести до табл. 2.1 кожні 10 °С.

Таблиця 2.1 – Результати дослідження електродного водонагрівача

№	Виміряно							Розраховано		
	Об'єм (V), $м^3$	Температура (t), °С	Струм (I_1), А	Струм (I_2), А	Струм (I_3), А	Напруга (U), В	Час (τ), с	Потужність (P), кВт	Середня потужність ($P_{ср}$), кВт	ККД, %

6 Методика обробки експериментальних даних

Потужність водонагрівача

$$P = U(I_1 + I_2 + I_3), \quad (2.1)$$

Середня потужність водонагрівача за інтервал спостереження, кВт

$$P_{ср} = 0{,}5(P_п + P_к), \quad (2.2)$$

де $P_п$, $P_к$ – потужності водонагрівача на початку та у кінці інтервалу спостереження відповідно, кВт.

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = V \gamma C (t_к - t_п) / (P_{ср}\tau), \quad (2.3)$$

де V – об’єм нагрівача (28 л), $м^3$;

γ – густина води (1000) $кг/м^3$;

С – теплоємкість води (4,196) кДж/(кг°С);

$t_к$,$t_п$ – кінцева та початкова температура води відповідно, °С.

В електродному водонагрівачі сама вода є середовищем, в якому електрична енергія перетворюється в теплову. Електричний струм протікає через воду від одного електроду до іншого і при цьому в ній виділяється кількість тепла, що визначається законом Джоуля-Лєнца, Дж

$$Q=I^2 R t, \qquad (2.4)$$

де I – струм, що протікає через воду, А;

R – опір води, Ом;

t – час протікання струму, с.

7 Пояснення до роботи

7.1 Загальні відомості

При незмінній напрузі живлення, потужність залежить від площі електродів, відстані між ними, електричної провідності і кількості фаз.

Електродний водонагрівач є найпростішим електротепловим приладом, що легко може бути виготовлений на місці з дозволу проєктних організацій і використаний для нагрівання води, що використовується для різноманітних господарських потреб.

Щоб уникнути електролізу і утворення гримучої суміші електродний водонагрівач працює на змінному струмі. З цієї причини щільність струму для плоских електродів задається не більше 5000 $А/м^2$, а для циліндричних – до 20000 $А/м^2$.

Використовуються електроди з нержавіючої сталі, графіту, алюмінію, міді, але оцинкована сталь не застосовується. Особливість електродних

водонагрівачів пролягає у тому, що у процесі нагрівання потужність їх збільшується у 3–4 рази. Це пояснюється тим, що питомий опір води змінюється зі зміною температури.

Допустимий градієнт напруги у міжелектродному просторі складає 1,0–2,5 кВ/м залежно від питомого опору води. Більш висока напруженість призводить до пробою міжелектродного проміжку.

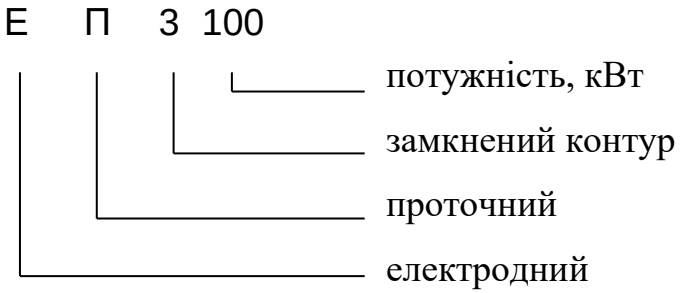
При роботі електродного водонагрівача на його корпусі може виникнути небезпечний потенціал. Особливо велика напруга дотику виникає при перегорянні одного або двох запобіжників і при незаземленому корпусі. Для запобігання виносу потенціалу – на виході і на вході водонагрівача, встановлюються гумові вставки. Крім того потрібно надійне заземлення корпусу водонагрівача.

Порівняно з елементними водонагрівачами, електродні водонагрівачі значно простіші і дешевші. Але у зв’язку з тим, що під час їх експлуатації потрібні спеціальні заходи з техніки безпеки, вони мають обмежене застосування. Іншим істотним недоліком є залежність споживаної потужності у період нагрівання, що ускладнює автоматизацію процесу.

7.2 Призначення та технічні дані

Електронагрівач типу ЕПЗ-100 являє собою електродний пристрій для нагрівання води, що циркулює по замкнутому контуру. Електронагрівач призначений для нагрівання води у системах опалення і гарячого водопостачання будинків виробничого і соціально-побутового призначення житлових приміщень, а також може використовуватися у пересувних установках різноманітного призначення. Використання водонагрівачів з метою гарячого водопостачання потребує наявності теплообмінника, в первинному контурі, в який включається водонагрівач, а з повторного – відкритого контуру проводиться добір гарячої води. Виходячи з необхідності вирівнювання графіку енергоспоживання енергосистем, найбільш перспективним є використання водонагрівачів в теплофікаційних системах, що мають акумулятивні місткості. Технічні характеристики водонагрівача наведені у табл. 2.2.

Маркування водонагрівача:



Таблиця 2.2 – Технічні характеристики електродного водонагрівача

Найменування показників	Показники
1. Номінальна потужність, кВт	100
2. Характеристика мережі живлення	380 В, 50 Гц
3. Схема з’єднання електродів	«зірка»
4. Номінальна температура води на виході, °С	95
5. Максимальна припустима температура води на виході, °С	130
6. Максимальний робочий тиск, ат	6
7. Діапазон регулювання потужності, %	від 10 до 100
8 Номінальний лінійний струм, А	152

7.3 Робота станції управління

Схема працює в ручному й автоматичному режимах. У ручному режимі вмикання і вимикання нагрівача ЕК здійснюється перемикачем *SA1* (рис. 2.1).

У автоматичному режимі керування роботою нагрівача здійснюється манометричним терморегулятором (контакти *SK2*, *SK3*). Нагрівач відключається контактом *SK3* при досягненні максимальної температури і включається контактом *SK2* при зниженні температури до мінімального значення.

Схема передбачає аварійне відключення нагрівача при перегріві води на виході за допомогою манометра терморегулятора *SK1*, а також при перевищенні припустимого току в нульовому проводі за допомогою токового реле *KA*.

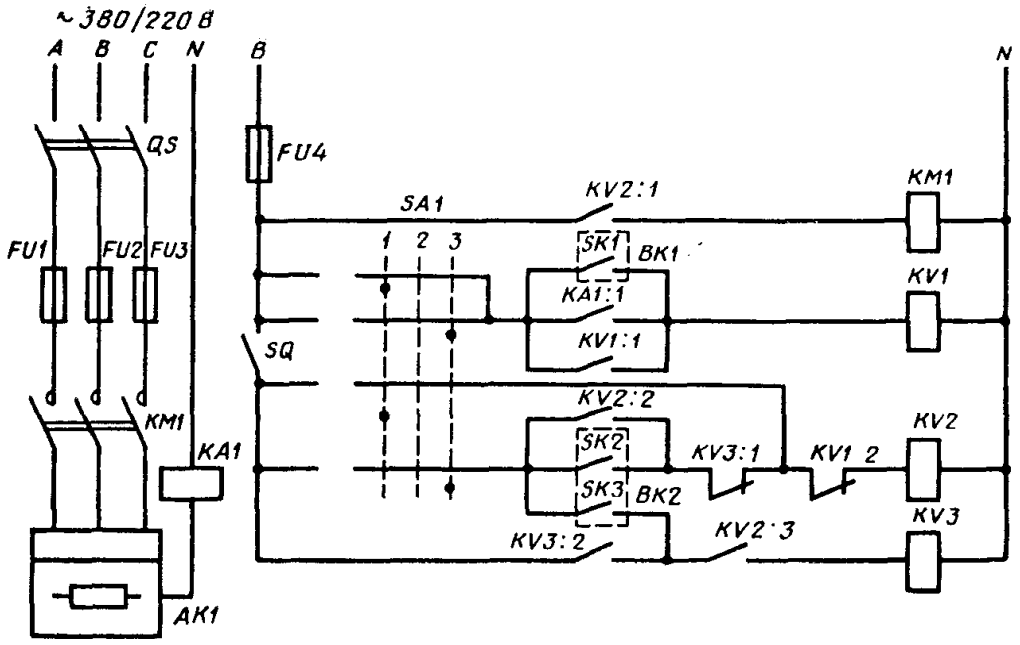


Рисунок 2.1 – Електрична схема управління
роботою водонагрівача ЕПЗ-100-І2:
QF1 – пакетний вимикач; *FU1–FU5*- запобіжники; *КМ1* – контактор;
АК1 – електроводонагрівач; *КА1* – реле максимального струму;
SA1 –перемикач; *KV1–KV3* – реле; *ВК1, ВК2* – електроконтактні термометри;
SK1–SK3 – контакти терморегулятора; *SQ1* – блок-контакти автоматичного
вимикача ланцюга живлення електродвигуна насоса

8 Контрольні запитання

8.1 Як улаштований електродний водонагрівач?

8.2 Який принцип дії водонагрівача?

8.3 Які спеціальні заходи з техніки безпеки необхідно додержуватися під час монтажу водонагрівача?

8.4 Який принцип дії і схема вмикання трифазного електродного проточного водонагрівача?

8.5 Чому потужність стаціонарних електродних водонагрівачів у процесі нагрівання росте, а потужність проточних завжди постійна?

8.6 Як змінюється питомий опір води від температури? У яких межах змінюється питомий опір води?

8.7 Які переваги і недоліки має електродний спосіб нагрівання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3
ВИВЧЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБІГРІВОМ ПІДЛОГИ

Мета роботи

Вивчити обладнання пульту управління та здобути практичні навички з експлуатацією та дослідженню підлогових систем обігріву.

1. Програма роботи

1.1 Вивчити призначення, конструкцію та технічні данні обігрівальних підлог та пульту керування.

1.2 Вивчити схему електричну принципову шафи керування.

1.3 Ознайомитись з правилами монтажу та експлуатації пульту керування підлог для обігріву.

1.4 Дослідити нагрівання килимків.

2. Вказівки щодо підготовки до виконання роботи

2.1 Пункти 1.1, 1.3 виконати до начала заняття.

2.2 Підготуватись до відповідей на контрольні запитання.

3. Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити конструкцію щита керування та обігріваючого килимка на робочому місті та ознайомитись з інструкцією по монтажу та експлуатації.

3.2 Дослідити динамічні властивості килимків для обігріву.

4 Зміст звіту

4.1 Накреслить ескіз килимка для обігріву підлоги.

4.2 Накреслити схему електричну принципову шафи керування.

4.3 Зробити висновки з роботи.

5 Пояснення до роботи

Електрообігріваючі панелі й килимки. Промисловість випускає електронагрівачі для підлог у вигляді панелі в металевій рамі розміром 1200х500х25 мм й у вигляді м'якого килимка типу ЭП-935, розміром 1000х600х20 мм (рис. 3.1). Килимок типу ЭП-935 являє собою мат з хімічно стійкої гуми, усередині якого рівномірно розподілений нагрівальний елемент, виконаний з ізольованого сталевого проводу марки ПОСХВ-1,1.

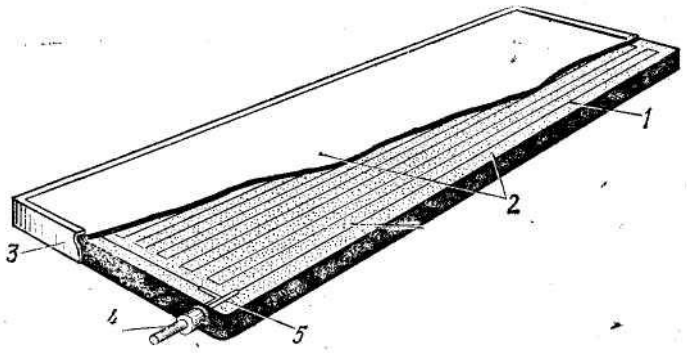


Рисунок 3.1 – Електрообігрівальний килимок типу ЭП-935:
1 – провід нагрівальний ПОСХП; 2 – гума хімічно стійка; 3 – каркас металічний; 4 – провід мідний; 5 – місто гарячої пайки

Електрообігрівальні килимки укладають на бетонній або дерев’яній підлозі. Для запобігання розходження в температурах на поверхні килимка і температури контрольного килимка з датчиком всі килимки, керовані одним терморегулятором, укладають на однакову підлогу.

До живильної мережі килимки приєднують через понижуючі трансформатори із вторинною напругою 36 В за допомогою клемника в розподільної коробці. Дроти, що живлять килимки, прокладають у сталевій трубі, що приєднують до рамки килимка і заземлюють.

Залізобетонні плити, що гріють, з нагрівачем з неізольованих проводів діаметром 4–6 мм виконують двошаровими, причому верхній шар з важкого бетону щільністю 2000 кг/м^3 має товщину 80 мм і служать для акумулювання теплоти, а з легкого бетону густиною 1200 кг/м^3 має товщину 120 мм і служать для теплоізоляції плити.

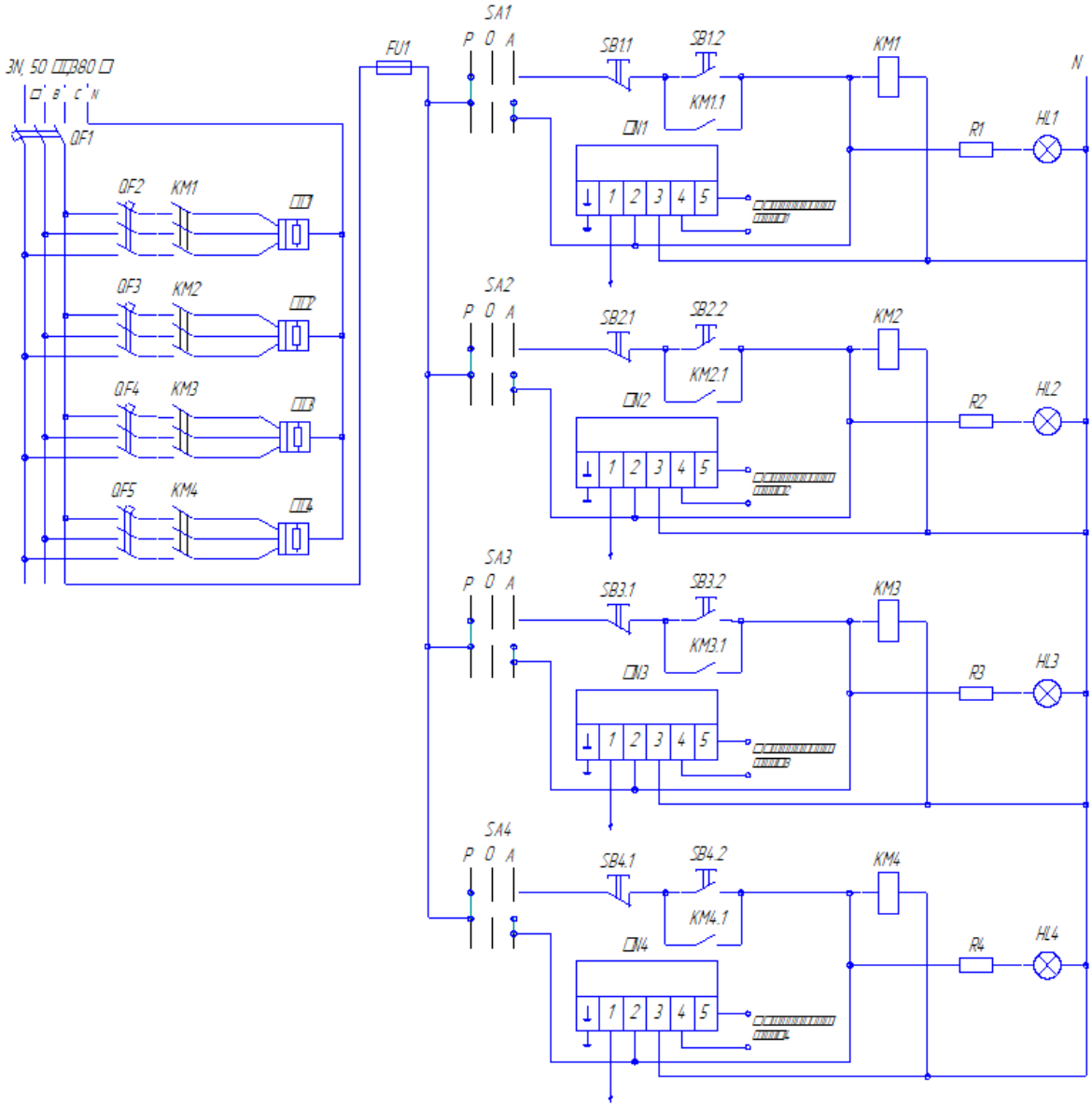


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова пульта керування температурним режимом обігріву підлоги

При монтажі електрообігріваючих підлог із залізобетонних плит, що гріють, передбачається додаткова теплоізоляція. У процесі монтажу обігрівальної панелі, нагрівачі плит, які гріють, з'єднують послідовно, а у останньої панелі з'єднують у загальну крапку за схемою «зірка». Нагрівачі з живильним кабелем з'єднують так само, як і у монолітних залізобетонних підлог.

Для автоматичного керування температурним режимом використовують спеціальний пульт управління типу САА 9701-ЗА795, що серійно випускається промисловістю та поставляється за заявками. Пульт керування (рис. 3.2) являє

собою шафу підлогового виконання з похилою лицьовою панеллю, усередині якої розміщається пуско-регулююча апаратура.

6 Контрольні запитання

6.1 Поясніть область застосування систем обігріву підлог?

6.2 Поясніть особливості конструкції та монтажу систем обігріву підлог?

6.3 Які електротехнічні матеріали використовуються при створені килимків для обігріву?

6.4 Поясніть принцип дії системи автоматизованого керування обігріву підлоги?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4
ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКЦІЙНИХ НАГРІВАЧІВ З ВНУТРІШНІМ ІНДУКТОРОМ

Мета роботи

Вивчення конструкцій і отримання практичних навичок з дослідження індукційних нагрівачів із внутрішнім індуктором.

1. Програма роботи

1.1 Вивчити конструкцію нагрівачів і скласти їх ескізи.

1.2 Вивчити принципи дії індукційних нагрівачів.

1.3 Визначити коефіцієнт потужності (cosφ), напруженість магнітного поля (Н), потужність нагрівача ($P_н$), потужність індуктора ($P_і$), потужність труби ($P_т$).

1.4 Побудувати графічні залежності $P_н$, $P_і$, $P_т$, cosφ як функції напруженості магнітного поля (Н).

2. Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи

2.1 Пункти 1.1 і 1.2 виконати до початку заняття.

2.2 Підготуватись до відповідей на контрольні запитання.

3. Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити конструкцію нагрівача на робочому місці.

3.2 Дослідити індукційний нагрівач відповідно до п. 6.

4. Зміст звіту

4.1 Викреслити схему заміщення нагрівача, епюру розподілу струму в перетині труби.

4.2 Подати у вигляді таблиці результати досліджень і графічні залежності потужностей труби, індуктора, нагрівача та cosφ як функції від напруженості магнітного поля.

5. Методика виконання роботи

Зміна напруги на клемах нагрівача здійснюється автотрансформатором. Вимірювання необхідно здійснити починаючи від 60 до 240 В з інтервалами 30 В.

Результати досліду заносяться до табл. 4.1. Після зняття дослідних даних визначають розрахункові параметри.

Таблиця 4.1 – Результати дослідження індукційного нагрівача

Виміряно				Розраховано				
Струм (I), А	Напруга (U), В	Потужність ($P_н$), Вт	Кількість витків (W)	Напруженість магнітного поля (H), А/м	Потужність індуктора (P_i), Вт	Потужність труби ($P_т$), Вт	Повна потужність (S), ВА	cosφ

Методика опрацювання експериментальних даних

Напруженість магнітного поля, А/м

$$H=IW/(\pi D), \qquad (4.1)$$

де I – струм індуктора, А;

W – кількість витків індуктора;

D – зовнішній діаметр індуктора, м.

Потужність індуктора, Вт

$$P_i = I^2 R, \qquad (4.2)$$

де R – активний опір індуктора, Ом.

Потужність труби, Вт

$$P_т = P_н - P_i . \quad (4.3)$$

Повна потужність, ВА

$$S = \sqrt{P_i^2 + P_T^2} . \quad (4.4)$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos\varphi = \frac{P_i}{S} . \quad (4.5)$$

6. Пояснення до роботи

Індукційні нагрівачі промислової частоти застосовуються для обігріву тваринницьких і виробничих приміщень, ґрунту у теплицях та підігріву питної води. Нагрівач (рис. 4.1) складається з феромагнітної труби 1 та намагнічувальної обмотки 2. Жили індуктора з'єднуються послідовно, що забезпечує однаковий струм в усіх витках індуктора (рис. 4.2). Завдяки такому з'єднанню жил індуктора, нагрівач може бути виготовлений на будь-яку напругу при практично будь-яких необхідних габаритах. Загалом конструкція являє собою трансформатор, первинною обмоткою якого є внутрішня багатожильна система, а магнітопроводом – вторинна обмотка, навантаженням – феромагнітна труба. Основна відмінність індукційного нагрівача від навантаженого трансформатора у тому, що у трансформатора вторинна обмотка і навантаження віддалені одне від одного, а у нагрівача вони знаходяться у безпосередньому контакті.

Втратами, пов'язаними з перемагнічуванням, нехтують. Змінний струм первинної обмотки I_1, проходячи по індукторові, створює змінне магнітне поле,

яке замикається по кільцевому перерізу труби. Під дією магнітного потоку, що змінюється у часі, (у внутрішньому прошарку труби) виникає струм I_2, який протікає по внутрішньому і зовнішньому прошаркам труби (рис. 4.3). На рис. 4.4 подані електричні схеми заміщення індукційних нагрівачів, а на рис. 3.5 – епюри розподілу струмів у перерізі труби.

У схемі на рис. 4.4 : R_1 і X_1 – активний і індукційний опір індуктора; R_2' і X_2' – активний і індукційний опори внутрішнього прошарку труби, пов’язані з протіканням вихрових струмів; R_2'' і X_2'' – активний і індуктивний опори зовнішнього прошарку труб, пов’язані з протіканням вихрових струмів.

У трубах виділяється 80–85 % теплової енергії при коефіцієнті потужності такому, що дорівнює $\cos\varphi$ = 0,88–0,95. Наявність зазору між трубою та індуктором дозволяє виконувати швидкий ремонт нагрівачів, що підвищує їх ремонтопридатність і дозволяє застосовувати ці нагрівачі у системах обігріву підлог і панелей для тваринницьких приміщень.

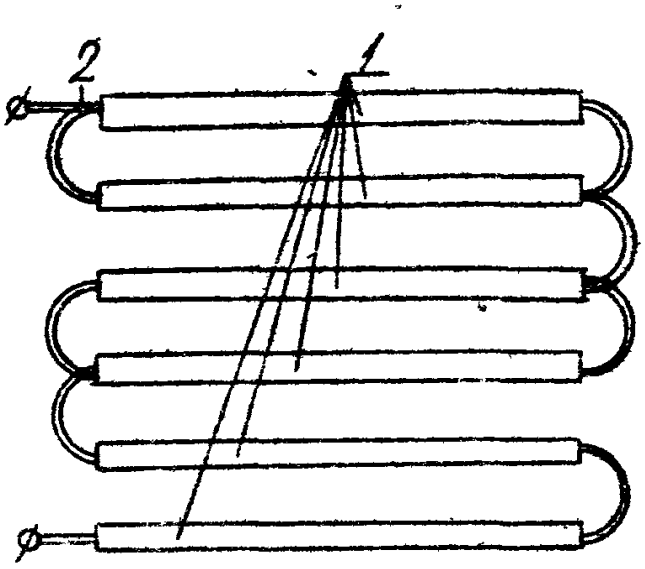


Рисунок 4.1 – Конструкція індукційного нагрівача

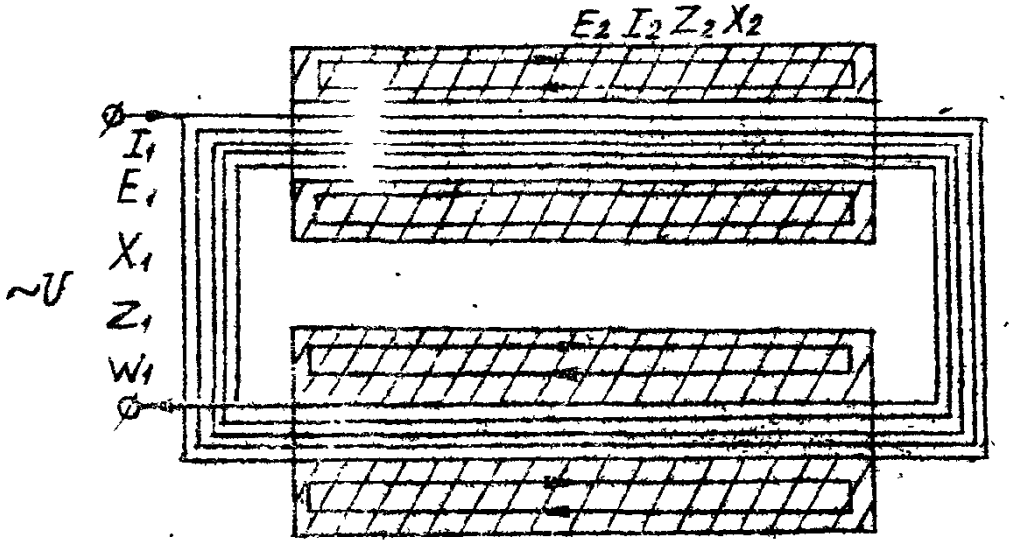


Рисунок 4.2 – Схема з’єднань жил індуктора

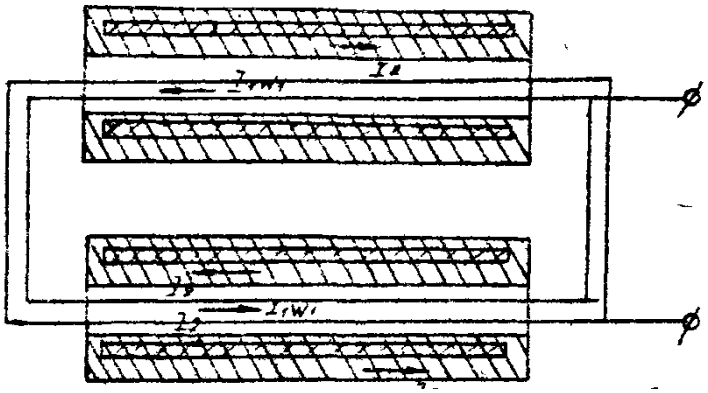


Рисунок 4.3 – Схема руху струмів в індукторі та трубі

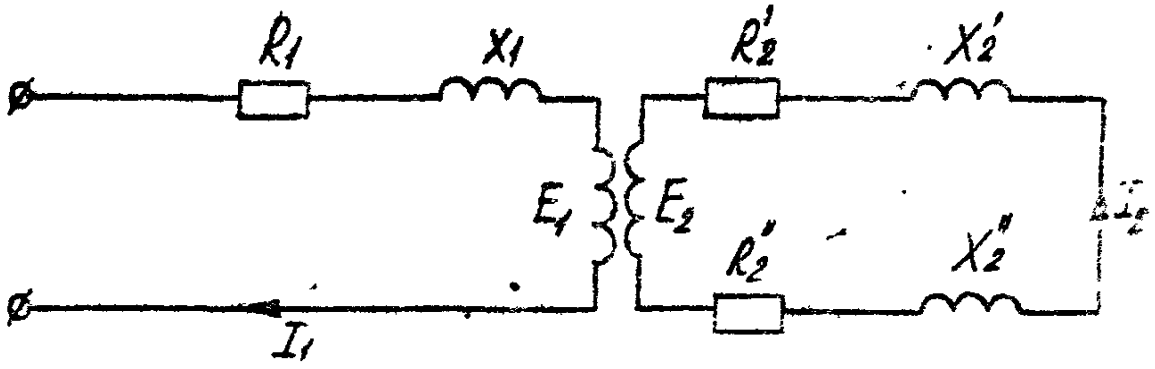


Рисунок 4.4 – Схема заміщення індукційного нагрівача

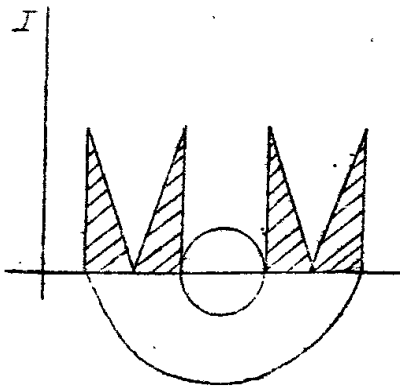


Рисунок 4.5 – Епюра розподілення струмів по перетину труби

7. Контрольні запитання

7.1 Чому змінюються енергетичні параметри індукційного нагрівача при зміні частоти джерела живлення?

7.2 Як можна збільшити cosφ індукційного нагрівача?

7.3 За яким законом змінюється густина струму по перерізу труби?

7.4 Як змінюється потужність нагрівача при зміні кількості витків індуктора і незмінній напрузі джерела живлення?

7.5 Який принцип дії індукційного нагрівача з внутрішнім індуктором?

7.6 В яких елементах конструкції електрична енергія перетворюється у теплову?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5
ВИВЧЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКЦІЙНИХ ВОДОНАГРІВАЧІВ

Мета роботи

Вивчення конструкції і отримання практичних навичок щодо дослідження і експлуатації індукційних водонагрівачів із зовнішнім індуктором.

1 Програма роботи

1.1 Вивчити конструкцію і скласти ескізи нагрівача, індуктору і робочої частини магнітопроводу.

1.2 Вивчити принцип роботи нагрівача і на ескізі системи індуктор-труба показати струм індуктору та труби, а також напрямок і розподіл магнітного потоку навколо індуктору.

1.3 Дослідити залежність потужностей нагрівача від напруженості магнітного поля.

1.4 Розрахувати і вибрати конденсаторні батареї для компенсації реактивної потужності.

1.5 Дослідити залежність спожитого струму з мережі від потужності нагрівача при включених конденсаторах.

2 Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи

2.1 Пункти 1.1 і 1.2 виконати до початку занять.

2.2 Підготуватись до відповідей на контрольні запитання.

3 Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити конструкцію нагрівача на робочому місці.

3.2 Дослідити індукційний нагрівач на різних потужностях нагрівання.

4 Зміст звіту

4.1 Накреслити електричну схему для дослідження індукційних водонагрівачів, ескізи індуктору і робочої частини магнітопроводу, показати на ескізах струм і магнітний потік.

4.2 Навести у вигляді таблиці результати досліджень і графічні залежності потужностей нагрівача від напруженості магнітного поля $S, P = f\left(H\right)$.

4.3 Привести результати розрахунку і вибору конденсаторів.

5 Методика виконання роботи

Зміна потужності на затискачах нагрівача здійснюють відповідним переключенням у шафі керування. Вимірювання потужності виконують для всього діапазону можливих потужностей (200–1800 Вт). Результати дослідів заносяться до табл. 5.1. Після зняття дослідних даних проводиться визначення розрахункових параметрів.

Таблиця 5.1 – Результати дослідження індукційних водонагрівачів без компенсуючих конденсаторів

Виміряно			Розраховано			
Напруга (U), В	Струм (I), А	Потужність (P), Вт	Повна потужність (S), ВА	cosφ	Напруженість (H), А/м	Питома потужність (P_o), Вт/м^2

Конструктивні характеристики водонагрівача:

1) кількість витків котушки W = 115;

2) висота котушки h = 450 мм = 0,45 м;

3) зовнішній діаметр труби під індуктором $d_з$ = 40 мм = 0,04 м.

6 Методика обробки експериментальних даних

Повна потужність нагрівача

$$S = U \cdot I. \quad (5.1)$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos\varphi = P / S. \quad (5.2)$$

Напруженість магнітного поля

$$H = I\ W / h, \quad (5.2)$$

де h – висота котушки, м;

W – кількість витків котушки.

Питома потужність нагрівача:

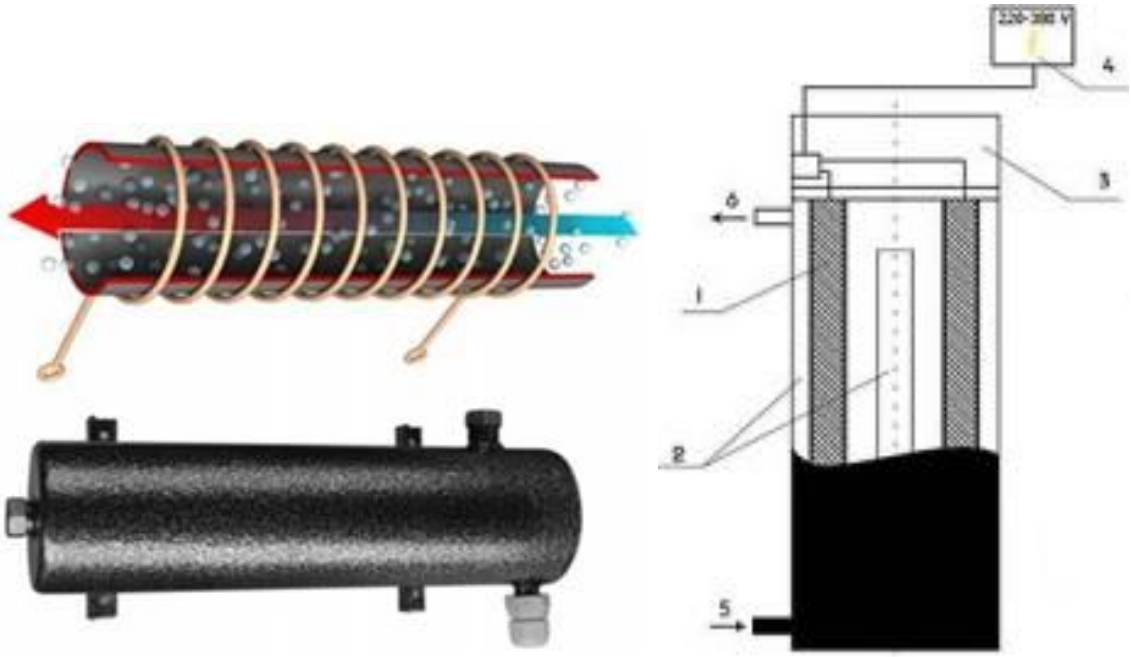
$$P_o = P / (\pi \cdot d_з \cdot h), \quad (5.3)$$

де $d_з$ – зовнішній діаметр труби під індуктором, м.

7 Пояснення до роботи

Індукційний водонагрівач утворює собою термоізольований бак продовгуватої циліндричної форми, з індукційними нагрівачами, які мають зовнішній індуктор. Індукційні нагрівачі винесено за межі термоізольованого баку (рис. 5.1).

а



б *в*

Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд (а) та візуалізація процесу нагрівання (б) та принципова схема конструкції (в) індукційного котла: 1 – котушка (індуктор); 2 – нагрівальний елемент; 3 – клемна короба; 4 – шафа керування з генератором змінного струму; 5 – вхідний патрубок (холодний теплоносій); 6 – вихідний патрубок (гарячий теплоносій)

Рух рідини здійснюється завдяки тиску, що виникає між шарами теплої та холодної води. Тому у нижній патрубок надходить холодна вода, а з верхнього виходить підігріта і таким чином вода циркулює по колу «бак – індукційні нагрівачі» і поступово вся вода, що знаходиться у баку нагрівається.

Цей вид індукційного котла складається з таких конструктивних частин:

1) ***нагрівальний елемент***, як правило, представлений у вигляді металевої труби, яка поміщається в електромагнітне поле;

2) ***індуктор***, який є генератором електромагнітного поля. Як правило він представлений у вигляді циліндра, що складається з витків мідного дроту.

3) ***генератор змінного струму***. Цей вузол відповідає за перетворення звичайної електроенергії у високочастотний струм.

Принцип дії індукційного водонагрівача базується на двох джерелах тепла про які мова піде нижче.

При пропусканні змінного струму по індуктору виникає змінне магнітне поле, яке направлене по утворюючій циліндра, та накопичується у котушці дроті, намотаному по спіралі). Під дією змінного магнітного поля котушки у металевому осерді виникають вихрові струми Фуко (перше джерело теплової енергії).

Друге джерело утворення тепла – явище перемагнічування. Змінне магнітне поле змінює орієнтацію доменів, що супроводжується тепловим ефектом. Вище точки Кюрі це явище зникає. Для сталі температура втрати магнітних властивостей знаходиться вище 700 °С. Ось чому посуд для індукційної варильної панелі повинен бути сталевим. Алюміній буде нагріватися лише за рахунок струмів Фуко, а значить, набагато повільніше, ніж залізо. Не кажучи вже про те, що у сталі електричний опір більший, що є у цьому випадку додатковою перевагою.

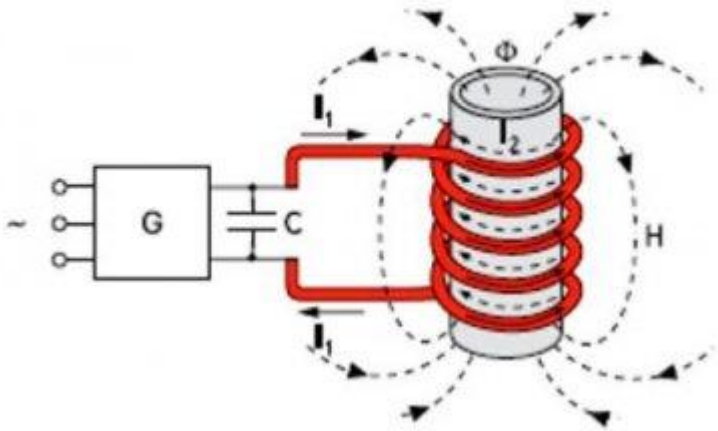


Рисунок 5.2 – До пояснення принципу дії індукційного водонагрівача

Величина струмів Фуко залежить від кількох факторів:

1. Змінне магнітне поле

Інтенсивність і частота змінного магнітного поля безпосередньо впливають на індуковані струми.

2. Електричний опір матеріалу

Матеріали з меншим електричним опором (наприклад, мідь або алюміній, створюють більші струми Фуко. Це призводить до більшої інтенсивності струмів Фуко та, як наслідок, до більшого виділення тепла.

Матеріали з високим опором, такі як скло або кераміка, обмежують протікання струмів Фуко. Це призводить до меншої інтенсивності струмів і, відповідно, меншого виділення тепла.

Існує взаємозв'язок між опором матеріалу нагрівального елементу та частотою струму: збільшення частоти струму призводить до збільшення впливу опору матеріалу та обмежує струми Фуко.

3. Геометрія та розміри об'єкта

Геометрія об'єкта впливає на те, як рівномірно розподіляються струми Фуко. Наприклад, циліндричні або дископодібні форми можуть мати різний розподіл струмів.

Розміри об'єкта: великі об'єкти можуть мати більшу площу для циркуляції струмів Фуко, що може призвести до більшого виділення тепла.

Форма об'єкта визначає, як магнітне поле взаємодіє з матеріалом. Наприклад, об'єкти з гострими краями можуть мати вищу концентрацію струмів Фуко у цих областях.

4. Частота змінного струму

Вища частота струму призводить до більших струмів Фуко. Це відбувається тому, що змінне магнітне поле швидше змінюється, що спричиняє більшу індукцію електричного струму.

На вищих частотах струми Фуко мають тенденцію зосереджуватися ближче до поверхні матеріалу («ефект шкіри»), що також може призводити до підвищення втрат енергії.

Індукційний пристрій у індукторі перетворює електричну енергію в електромагнітну. Остання, у свою чергу, впливає на серцевину (трубу), яка нагрівається і передає воді теплову енергію. Індуктор, який складається з котушки і сердечника. Генератор використовується для підвищення частоти струму з метою збільшення густини теплового потоку безпосередньо біля поверхні нагрівання.

У заводських моделях частота струму може досягати 1 кГц.

Отже, у індукційному нагрівачеві вода нагрівається за рахунок первинного нагрівання металевої труби (або металевого осердя, розміщеного у середині

труби, якщо труба пластикова або виконана з діелектричних матеріалів) переважно струмами Фуко, створюваних котушкою (індуктором), а потім конвекцією тепло від труби передається до води, яка тече по ній.

Переваги і недоліки. Водонагрівач має низку ***переваг***, що вигідно відрізняє його серед інших видів водонагрівачів:

- проста конструкція, мінімум деталей;
- він дешевший своїх аналогів, такий пристрій можна без проблем зібрати самостійно;
- повністю безшумний (хоча котушка і вібрує при роботі, але ця вібрація не відчутна для людини);
- під час роботи вібрує, завдяки чому бруд і накип не прилипає до його стінок, тому очищення водонагрівач не потребує;
- висока надійність і ресурс роботи внаслідок простої конструкції, відсутності рухомих частин;
- дешевизна пристрою та обслуговування, що пояснюється дешевизною використовуваних матеріалів та простотою схеми.

Незважаючи на величезну кількість переваг, індукційний водонагрівач має і ряд ***недоліків***:

- пристрій має значне споживання електроенергії і, як результат, значні витрати коштів за електроенергію;
- пристрій сильно гріється і нагріває не тільки себе, але і навколишній простір, тому краще не доторкатися до корпусу теплогенератора під час його роботи;
- пристрій має дуже високу густину теплового потоку, тому його експлуатація можлива виключно з використанням системи автоматизованого підтримання температури та захисту за температурою і тиском.

Електрична схема. Схема індукційного нагрівача (рис. 6.3) призначена для нагрівання бойлера з водою, основною ідеєю покладеною в дану схему є живлення

індукційного нагрівача безпосередньо від напруги мережі, це дозволяє мінімізувати втрати енергії на перетвореннях напруги та дозволяє живити достатньо потужні пристрої.

Виключення зі схеми трансформаторних або імпульсних блоків живлення значно спрощує конструкцію приладу збільшуючи тим самим надійність.

Конденсатори С1, С2 та синфазний дросель FL1 виконують роль мережевого фільтра нівелюючи спотворення мережевої напруги викликані імпульсним характером споживання струму. Діоди VD1–VD4 створюють діодний міст, що призначений для випрямлення змінного мережевого струму. Змінний резистор R2 обмежує струм зарядки конденсатора С6 і як наслідок змінюється кут відпирання тиристора.

Роль навантаження виконує осердя трансформатора розв'язки Т1. При підключенні живлення через буферний конденсатор напруга надходить на діодний міст, де напруга випрямляється і заряджає конденсатор ємністю 4 мкФ до 300–350 В.

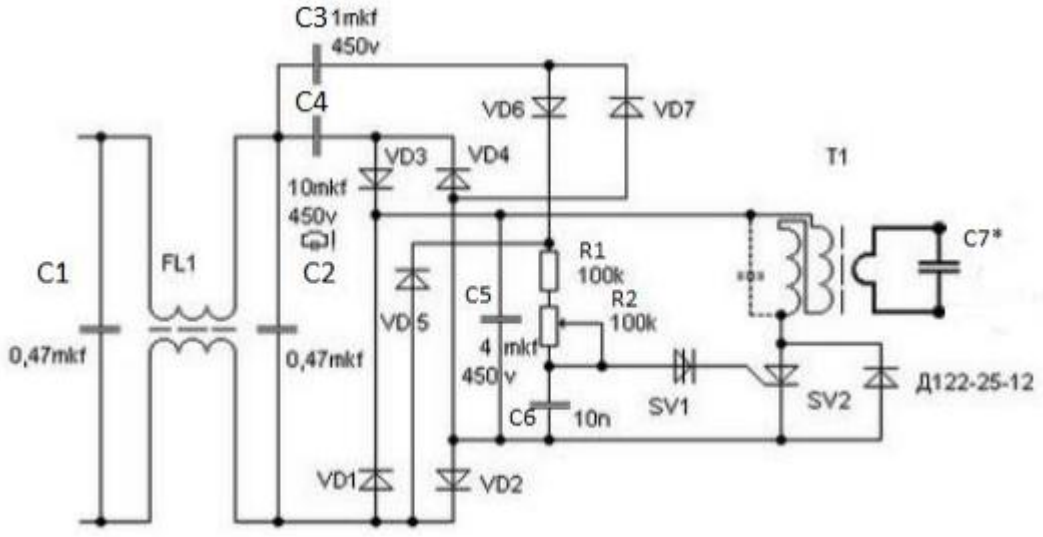


Рисунок 5.3 – Схема індукційний нагрівача, що працює від напруги мережі

Щойно напруга досягає 300 В схема управління тиристором (зібрана на диністорі, діодах і конденсаторі) створить імпульс, який відкриє тиристор. Заряд накопичений на конденсаторі С5 буде прикладений до первинної обмотки трансформатора Т1, струм самоіндукції закриє тиристор, оскільки магнітний

потік, що протікає в осерді трансформатора не може змінитися миттєво, то він створить імпульс напруги зворотної полярності.

Високий ККД даної схеми пояснюється введенням у трансформатор намотаної біфілярно первинної обмотки і двох коливальних контурів з індуктивним зв'язком і коротко імпульсним запуском тиристора.

Схема може дати побічний ефект, пов'язаний з випередженням напруги в буферній ємності щодо струму на кут 80 градусів. Суттєвим недоліком цієї схеми є вибір тиристора як силового ключа оскільки швидкість перемикання тиристорів та спосіб керування описаний у цій схемі не дозволяє працювати на високій частоті що значно збільшує кількість витків в обмотках контуру та трансформатора розв'язки, і що більш суттєво, частота роботи цієї схеми знаходиться у межах слухового діапазону тим самим призводячи до значного дискомфорту користувача.

8 Контрольні запитання

8.1 Що таке напруженість магнітного поля?

8.2 Що таке індукція магнітного поля?

8.3 Що таке магнітний потік?

8.4 Що таке індукція?

8.5 Поясніть конструкцію і принцип дії індукційного водонагрівача.

8.6 Як можна збільшити коефіцієнт потужності cosφ індукційного нагрівача?

8.7 По якому законові змінюється густота струму в перетині циліндру?

8.8 Як зміниться потужність нагрівача при зміні числа витків індуктора при незмінній напрузі джерела живлення?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6
ВИВЧЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ
ЕЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЇ УСТАНОВКИ

Мета роботи

Вивчення електрокалориферних установок і придбання практичних навичок по їхньому дослідженню та експлуатації.

1 Програма роботи

1.1 Вивчити призначення, конструкцію, принцип дії та область застосування електрокалориферної установки.

1.2 Дослідити електрокалориферну установку.

1.3 Викреслити схему електричну принципову електрокалориферної установки.

2 Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи

2.1 Пункт 1.1. і 1.3 виконати до початку занять.

2.2 Підготуватися до відповіді на контрольні питання.

3 Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1. Вивчити конструкцію електрокалориферної установки на робочому місці та ознайомитися з інструкцією з монтажу та експлуатації.

3.2. Дослідити електрокалориферну установку, відповідно до п. 5.

4 Зміст звіту

4.1 Схема електрична принципова електрокалориферної установки.

4.2. Таблиця і графіки залежностей температури від потужності та подачі ектрокалориферної установки.

4.3. Перелік обладнання та вимірювальних приладів.

4.4. Висновки.

5 Методика виконання роботи

Для проведення досліду необхідно установку перевести у ручний режим. За допомогою анемометру визначається швидкість потоку і витрати повітря.

Чутливим елементом анемометру є крильчатка з радіально розташованими лопатками, вісь якої зв’язана механічно показувальним пристроєм. У повітряному потоці крильчатка починає обертатися зі швидкістю, пропорційною швидкості потоку завдяки тиску газів на її лопаті.

Потужність калориферу змінюють ступенево: 1 ступінь – 7,5 кВт; 2 ступінь – 15 кВт; 3 ступінь – 22,5 кВт.

5.1 Вимірювальні прилади, що використовуються у роботі

5.1.1 Анемометр Benetech GM8902

Рисунок 6.1 – Анемометр Benetech GM8902

Анемометр Benetech GM8902 (рис. 6.1) це професійний вимірювальний прилад, оснащений чутливою виносною крильчаткою для проведення вимірювань у важкодоступних місцях. У реальному часі може виконати вимірювання швидкості, об’ємної витрати і температури повітряного потоку. Анемометр GM8902 простий в експлуатації та надійний. Оснащений пам'яттю на 500 записів можливістю підключення до ПК.

Особливості та переваги анемометра Benetech GM8902:

1) анемометр GM8902 оснащений виносною крильчаткою для вимірювання швидкості і температури повітряного потоку у важкодоступних місцях;

2) великий діапазон вимірювання швидкості повітряного потоку: 0–45 м/с

3) пило- та вологозахищений корпус у гумовому чохлі для захисту від ударів;

4) вимірювання температури повітряного потоку;

5) широкий діапазон робочих температур від –10 до +45 °С;

6) підсвічування дисплея;

7) Підключення до комп'ютера, побудова звітів і графіків у реальному часі;

8) індикація низького заряду батареї;

9) пам'ять на 500 результатів вимірювань;

10) відображення максимального, мінімального, середнього та поточного значення швидкості;

11) автоматичне вимкнення;

12) відповідає протоколу калібрування Європейського зразка, сертифікатів RoSH і CE.

Технічні характеристики анемометра Benetech GM8902:

Діапазон вимірювання швидкості повітряного потоку, м/с	0,3–45
Діапазон вимірювання температури, °С	0–45
Діапазон вимірювання об'ємної витрати, $м^3$/хв	0–100
Похибка під час вимірювання швидкості потоку, %	± 3
Похибка вимірювання температури, °С	± 1
Роздільна здатність вимірювання швидкості, м/с	0,001
Роздільна здатність термометра, °С	0,1
Джерело живлення	1,5V AAA x 4 шт.
Габаритні розміри корпусу, мм	164x77x36
Габаритні розміри виносного датчика, мм	172x65x29
Маса, кг	0,275

5.1.2 Цифровий гігрометр FY-12 з виносним датчиком вологості

Рисунок 6.2 – Цифровий гігрометр FY-12 з виносним датчиком вологості

Цифровий термометр-гігрометр (рис. 6.2) призначений для одночасного вимірювання температури і вологості повітря.

Переваги пристрою: невелика вартість, тривалий термін експлуатації, малі габарити корпусу.

Основні характеристики цифрового гігрометра FY-12:

Напруга живлення, В	1,5
Діапазон вимірюваних температур, °С	–50–(+70)
Точність вимірювань, °С	1
Діапазон вимірюваної вологості, %	30–98
Точність гігрометра, %	5
Джерело живлення	AG13/LR44
Розміри датчика, мм	47,8 х 28,5 х 14,3

5.1.2 Переносний датчик температури типу ДТКБ-52

Датчик-реле температури камерний біметалевий типу ДТКБ-52 (рис. 6.3) призначено для двопозиційного регулювання температури в камерах із неагресивним газоподібним середовищем за відсутності магнітних електричних

полів, що діють на магніти приладу. Це датчик оберненої дії: він замикає контакти у разі зниження температури.

Температурні межі встановлення датчику – +20–(+50 °С).

Ціна поділки шкали датчика – 2 °С.

Рисунок 6.3 – Датчик температури типу ДТКБ-52

Датчики типу ДТКБ застосовують як у промисловості, так і в побуті для автоматичного регулювання температури в системах опалення та кондиціонування повітря в різних виробничих, житлових, складських приміщеннях, електронних пристроях у приладобудуванні, овочесховищах, теплицях, гаражах, інкубаторах, холодильних камерах тощо.

1 Основна допустима похибка датчика ДТКБ не перевищує значень:

а) на середній позначці шкали ±1,0°С;

б) на крайніх позначках шкали ±2,5°С.

У разі виготовлення приладів із фіксованим налаштуванням, похибка спрацювання на крайніх точках не регламентується.

2. Постійна часу теплового вирівнювання ДТКБ приладу не більше 25 хвилин для спокійного повітря.

3. Розривна потужність контактів датчика ДТКБ не менше:

а) 50 Вт за напруги 127 В постійного струму;

б) 50 ВА за напруги 220 В змінного струму та індуктивного навантаженні

4 Електрична ізоляція датчиків ДТКБ витримує протягом однієї хвилини за температури навколишнього повітря 20 ± 5 °С і відносної вологості не більше 80 % напругу 1000 В змінного струму частотою 50 Гц.

5. Опір ізоляції електричних кіл датчиків ДТКБ між собою і відносно корпусу відповідає:

а) за температури навколишнього повітря 20 ± 5 °С у відносній вологості не більше 80% – не менше 20 МОм;

б) за підвищеної вологості 95% і температури плюс 35°С – не менше 2 МОм.

6. Датчики ДТКБ працездатні в умовах відносної вологості навколишнього середовища 30–80 %. Температурний діапазон експлуатації від –30 до + 50 °С (без конденсації).

7. Маса приладу не більше 0,3 кг.

8. Габаритні розміри 90х95х58 мм, установчі 64х64 мм під 4 гвинти М3х22.

9. Термін служби датчика ДТКБ не менше 8 років.

Порядок встановлення датчика ДТКБ:

Датчик ДТКБ встановлюють на висоті 1,5–1,8 м від підлоги в місцях, що не піддаються безпосередньому впливу джерел тепла або холоду.

Циркуляція повітря біля датчика ДТКБ має бути вільною. Оберігати прилад від потрапляння всередину його металевої стружки.

Кріплення датчика ДТКБ до стіни здійснюється чотирма гвинтами М3 х 22-58026.

Дроти ланцюга керування приєднуються до виводів «І» і «2», а заземлення датчика ДТКБ здійснюється під'єднанням до виводу «3».

Підготовка до роботи датчика ДТКБ:

Перед увімкненням датчиків ДТКБ у роботу необхідно переконатися в правильності монтажу, наявності заземлення.

Для налаштування датчика ДТКБ на задану температуру регулювання необхідно:

а) вивернути на 1–2 оберти гвинт фіксації шкали;

б) обертанням шкали встановити необхідне значення регульованої температури;

в) зафіксувати гвинтом М3 положення шкали.

5.1.3 Терморегулятор ТР-200 УХЛ4

Рисунок 6.4 – Терморегулятор ТР-200

Термореле ТР-200 (ТР-200М) (рис. 6.4) призначений для застосування в пристроях контролю температури неагресивного рідкого або газового середовища, комутації ланцюгів постійного і змінного струму частоти 50 і 60Гц номінальною напругою до 400 В. Максимальна температура – 200 °С. Температура спрацювання регулюється регулювальним гвинтом під захисною кришкою, має 2 нормально-замкнутих контакти.

Загальна довжина термореле 155 мм, діаметр занурювальної трубки датчика 18 мм, різьба М22, діаметр кришки 44 мм.

Датчик-реле температури ТР-200 (ТР-200М) складається з чутливого елемента (трубки і пластинок, з’єднуваних з контактами), контактної групи і механізму настройки. Застосовується для сигналізації і захисту. Призначений для управління роботою електротеплових апаратів і сигналізації про досягнення заданої температури контрольованим середовищем. Принцип дії заснований на відмінності між коефіцієнтами лінійного розширення латуні і пластинок. При

нагріванні латунна трубка значно подовжується і змушує пластини змінити становище, а контакти розімкнуться. Температура налаштування регулюється гвинтом.

Характеристики терморегулятора ТР-200:

Діапазон контрольованих температур, °С	+25–(+200)
Точність спрацювання реле при швидкості зміни температури робочого середовища не вище 0,5 °С/хв у ланцюгах з напругою, °С не більше:	
– до 230 В змінного струму	±5
– до 320 В постійного струму	±5
– 400 В змінного струму	±15
Максимальна різниця температури розмикання і замикання контактів ТР-200 (диференціал) при швидкості зміни температури робочого середовища не вище 0,5 °С в хвилину в ланцюгах з напругою, °С не більше:	
– до 230 В змінного струму	5
– до 320 В постійного струму	5
– 400 В змінного струму	15
Розривна потужність контактів ТР-200 при напрузі комутованої ланцюга, не більше:	
– до 320 В постійного струму з індуктивним навантаженням при $\tau \leq 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ с, Вт	17
– до 230 В змінного струму частоти 50 і 60 Гц при $\cos\varphi \geq 0{,}4$, ВА	40
– до 400 В змінного струму частоти 50 і 400 Гц при $\cos\varphi \geq 0{,}4$, ВА	55
Максимальна сила струму включення контактів ТР-200, А:	
– постійного струму при напрузі до 320 В	2,7
змінного струму:	
– при напрузі до 230 В	2,4

– при напрузі до 400 В 1,5.

5.2 Алгоритм розрахунку

Об’ємна витрата повітря через установку (після калорифера), $м^3 / с$

$$\dot{V}_2 = w_2 \cdot S, \tag{6.1}$$

де S – площа перерізу калориферної установки після зони нагрівання, $м^2$.

Густина сухого повітря після калорифера, $кг / м^3$

$$\rho_2 = \frac{B \cdot 10^3}{R \cdot T_2}, \tag{6.2}$$

де B – атмосферний тиск, Па; задатися, що $B = 101 кПа$;

R – газова стала повітря; $R = 287 Дж / (кг \cdot K)$;

T_2 – абсолютна температура повітря після калорифера, K

$$T_2 = t_2 + 273; \tag{6.3}$$

Масова витрата сухого повітря через калориферну установку, $кг.сух.пов / с$

$$\dot{m}_2 = \rho_2 \cdot \dot{V}_2. \tag{6.4}$$

Парціальний тиск водяної пари, $кПа$, на вході до калориферної установки

$$p_{s1} = 0,8 \exp(0,053623 \cdot t_1). \tag{6.5}$$

Цю величину більш точно знаходити за довідковими таблицями, але також можна застосовувати апроксимаційні формули, які залежать від обраного діапазону температур. Вираз (6.5) застосовують для $10\ °C \le t \le 70\ °C$.

Питомий вологовміст повітря, *кг.вологи / кг.сух.пов.*

– на вході до калориферної установки

$$d_1 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_1 \cdot p_{s1}}{100 \cdot B - \varphi_1 \cdot p_{s1}}; \qquad (6.6)$$

тут B і p_{s1} – у *кПа*; φ_1 – у %;

– на виході з калориферної установки, *кг.вологи / кг.сух.пов.*

$$d_2 = d_1. \qquad (6.7)$$

Важливо. Процес нагрівання повітря у теплообмінних апаратах (при сталому або близькому до сталого тиску) відбувається за умови, коли вологовміст повітря не змінюється $d_2 = d_1 = \text{const}$.

Питома ентальпія вологого повітря, *кДж / кг.сух.пов.*

– на вході до калориферної установки

$$H_1 = (1,01 + 1,97 \cdot d_1) \cdot t_1 + 2493 \cdot d_1; \qquad (6.8)$$

– на виході з калориферної установки

$$H_2 = (1,01 + 1,97 \cdot d_2) \cdot t_2 + 2493 \cdot d_2. \qquad (6.9)$$

Тепловий потік, сприйнятий повітрям у електрокалориферній установці, *кВт*

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \left(H_2 - H_1\right), \tag{6.10}$$

де $\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2$ – масова витрата повітря через всі елементи калориферної установки однакова.

Тепловий ККД електрокалориферної установки, %

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{P} \cdot 100. \tag{6.11}$$

Результати розрахунків заносять до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати дослідження електрокалориферної установки

Виміряно						Розраховано			
P	w_2	t_1	t_2	φ_1	φ_2	$\dot{V}_2$	$\dot{m}$	$\dot{Q}$	η
кВт	*м/с*	*°С*	*°С*	*%*	*%*	$м^3/с$	*кг.сух.пов / с*	*кВт*	*%*

У табл. 6.1 вказано:

P – потужність нагрівача, *кВт*;

t_1 – температура повітря на вході у калорифер, °C;

t_2 – температура повітря на виході з калориферу, °C;

φ_1 – відносна вологість повітря на вході у калорифер, %;

φ_2 – відносна вологість повітря на виході з калорифера, %;

w_2 – швидкість повітря після калорифера, м/с;

$\dot{V}_2$ – об’ємна витрата повітря через установку (після калорифера), $м^3/с$;

$\dot{m}$ – масова витрата сухого повітря через калориферну установку, *кг.сух.пов* / *с*;

$\dot{Q}$ – тепловий потік, сприйнятий повітрям у електрокалориферній установці, *кВт*;

η – тепловий ККД електрокалориферної установки, %.

6 Пояснення до роботи

6.1 Загальні відомості

Одержання максимальної продуктивності у тваринництві та птахівництві багато в чому залежить від створення оптимального мікроклімату в приміщеннях. Температура повітря, його вологість, запиленість, газовий склад, ступінь освітлення приміщень повинні знаходитися в заданих межах. Відхилення будь-якого параметру від норми може призвести до зниження продуктивності. Наприклад, при недостатньому повітрообміні збільшується зміст вологи, шкідливих газів, у літній період підвищується температура в приміщенні. При великому повітрообміні швидкість напрямку повітря перевищує норми і можливі простудні захворювання. В зимовий період при низьких температурах і відсутності нормального опалення приміщень температура різко знижується. Для створення і підтримання необхідних параметрів мікроклімату тваринницькі приміщення обладнують пристроями опалення, вентиляції, освітлення.

Електрокалориферні установки серії СФОЦ (рис. 6.5) і СФОА призначені для підігрівання повітря у системах повітряної вентиляції, в установках для створення мікроклімату на тваринницьких і птахівницьких фермах, для підігрівання повітря у зерноочисно-сушильних пунктах і бункерах активної вентиляції, а також для опалення побутових приміщень на фермах, де відсутня центральна котельна. У вугільній і гірничорудній галузях промисловості ці агрегати використовуються для локального підігрівання повітря, що подається до підземних шахтних виробок до нормованих температур.

Основна сфера застосування електрокалориферів (електричних повітронагрівачів) СФОЦ – приміщення великого і середнього об’єму будь-яких типів. Електрокалориферна установка СФОЦ, як правило, розрахована на швидке нагрівання приміщення за рахунок подачі теплого повітря через систему повітропроводу.

Електрокалорифери СФОЦ встановлюють та експлуатують у приміщеннях із невибухобезпечним навколишнім середовищем, яке не містить

струмопровідного пилу, інших твердих домішок, липких речовин і волокнистих матеріалів, агресивних парів і газів у концентраціях, які руйнують метали та ізоляцію. Вони розраховані на роботу в макрокліматичних районах із помірним і холодним кліматом. Допускається експлуатація електрокалориферів за температури до –25 °С.

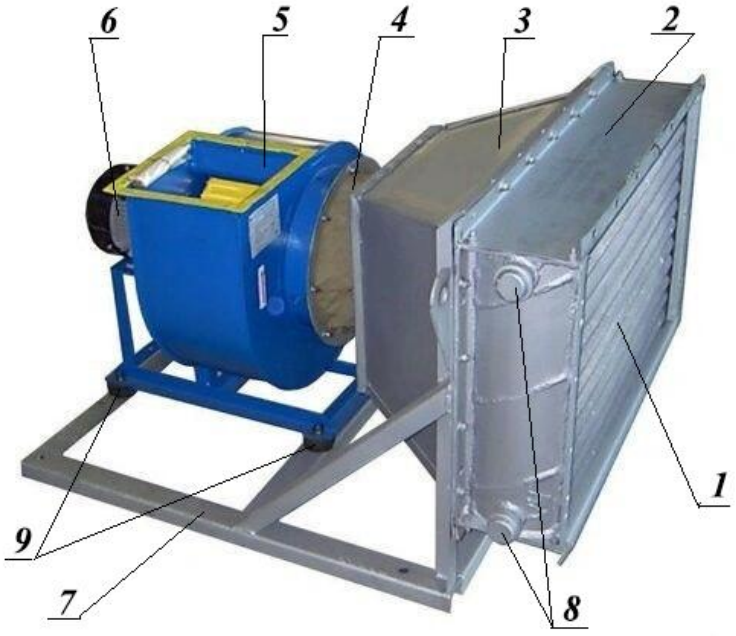


Рисунок 6.5 – Електрокалориферна установка СФОЦ
для встановлення поза приміщенням, що нагрівається (з наступним підключенням до повітропроводу):
1 – оребрений ТЕН; 2 – корпус зони нагрівання; 3 – дифузор; 4 – гнучкий рукав (тканинний віброгасник); 5 – відцентровий вентилятор; 6 – муфта (для з’єднання з електродвигуном, на рисунку не показаний); 7 – рама; 8 – місце підключення живлення до ТЕНів; 9 – гумові віброгасильні вставки

У випадку встановлення електрокалориферної установки безпосередньо у приміщенні, що нагрівається (не поза приміщенням, з наступною подачею нагрітого повітря повітропроводами), поверхню нагрівання відповідно до вимог охорони праці і техніки безпеки захищають від можливого потрапляння сторонніх предметів чи частин людей, тварин або птахів (рис 6.6).

Рисунок 6.6 – Електрокалориферна установка для встановлення у приміщенні, що нагрівається

Відсутність продуктів горіння, простота монтажу і малі капітальні витрати, значне зниження металоємкості на одиницю потужності, постійна готовність до роботи, просте автоматичне керування тепловим режимом, висока ефективність перетворення електричної енергії у теплову, можливість встановлення у віддалених регіонах вигідно відрізняє електрокалориферні установки від теплових установок, що працюють на твердому, рідкому і газовому паливі, або використовують відкритий вогонь.

В окремих випадках нагрівання повітря за допомогою електрокалориферних установок дозволяє якісно змінити технологію виробничого процесу, підвищити якість продукції, заощадити енергію і скоротити потребу в обслуговуючому персоналі.

Установка складається *з* електрокалориферу (оребрені ТЕНи 1, що зафіксовані у корпусі 2) та вентилятора 5 з електродвигуном (на рис. 6.5 не зображений), встановленим на загальній рамі 7. Для зниження вібрації і шуму, електрокалорифер можуть встановлювати окремо, з’єднавши з вентилятором гнучким рукавом 4. Вентилятор з електродвигуном фіксується до рами за допомогою віброізоляторів (амортизаційних пружин або гумових вставок) 9.

Рисунок 6.7 – Оребрена поверхня ТЕНів електрокалориферу

Калорифер являє собою зварну каркасну конструкцію, у середині якої встановлені ребристі (рис. 6.7) (для поліпшення відведення тепла) трубчасті електронагрівачі, згруповані у три секції, підключені паралельно. Для ще більшого підвищення тепловіддачі від ТЕНів потужних електрокалориферних установок, що мають декілька рядів у глибину, тобто у напрямку руху потоку повітря, їх розміщують у шаховому порядку. Інший відомий спосіб розміщення нагрівальних елементів – коридорний – має гіршу тепловіддачу (на 5–15 %) порівняно з шаховим, однак він має і менші гідравлічні втрати.

Потужність калорифера регулюється у межах 100, 67, 33 % за рахунок вмикання і відключення секцій.

Перед початком експлуатації усі металеві частини електрокалориферної установки попередньо заземляють.

На рис. 6.8 зображено електрокалориферну установку у складі системи опалення приміщення або будівлі. Стрілками вказано напрямок руху повітря, а його температуру можна оцінити за допомогою кольору стрілок: синій – холодне, а червоний – гаряче. Це можливий варіант встановлення, однак не найкращий, тому що у таких умовах вентилятор весь час працює у високотемпературних умовах, а тому це зменшує його ресурс. Як правило доцільно встановлювати вентилятори, компресори або насоси на холодній

стороні потоку. При цьому для калорифера не важливо з якої сторони подається повітря.

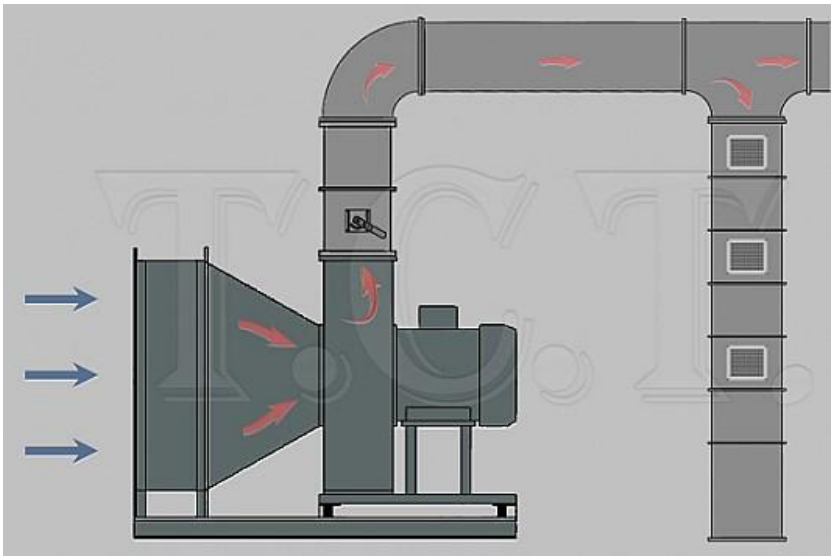


Рисунок 6.8 – Електрокалориферна установка у складі системи опалення

6.2 Технічні характеристики електрокалориферної установки:

– потужність установки – 23,25 кВт;

– потужність електрокалориферу – 22,5 кВт;

– потужність електродвигуна вентилятора – 0,75 кВт;

– продуктивність при температурному перепаді нагріваного повітря 50°С – 1480 $м^3$/год;

– максимальна температура поверхні нагрівального елементу при температурному перепаді 50 °С – 180°С (453К);

– максимальна температура повітря на виході 50 °С (323 К);

– напруга мережі – 400/230 В;

– кількість фаз – 3;

– схема з’єднання електроприводу вентилятору – «зірка»;

– у комплект станції керування входять переносні датчики температури типу ДТКБ-52.

6.3 Робота схеми

Керування установкою може здійснюватися (рис. 6.9 і 6.10) вручну (перемикач SA1 в положенні «Р» або автоматично SA1 у положенні «А»). Автоматичне керування проводиться по температурі приміщення, яке обігрівається, температура контролюється біметалічними регуляторами SK2 і SK-3 типу ДТКБ-52.

Захист нагрівачів від перегріву здійснюється терморегулятором SK1 типу ТР-200, який в аварійному режимі розмикає свій контакт у колі котушки реле KL4. Реле вимикає котушки магнітних пускачів КМ1, КМ2, КМ3. Відбувається відключення всіх трьох секцій калорифера. Нагрівальні елементи калориферу розраховані на роботу в повітряному потоці. В нерухомому потоці нагрівачі нагріваються і перегоряють. Тому в калорифері передбачене блокування, що не дозволяє включати нагрівальні елементи доти, поки не включений вентилятор. Це блокування здійснюється блок-контактами автоматичного вимикача, що включені в ланцюг котушок пускачів КМ1, КМ2 і КМ3.

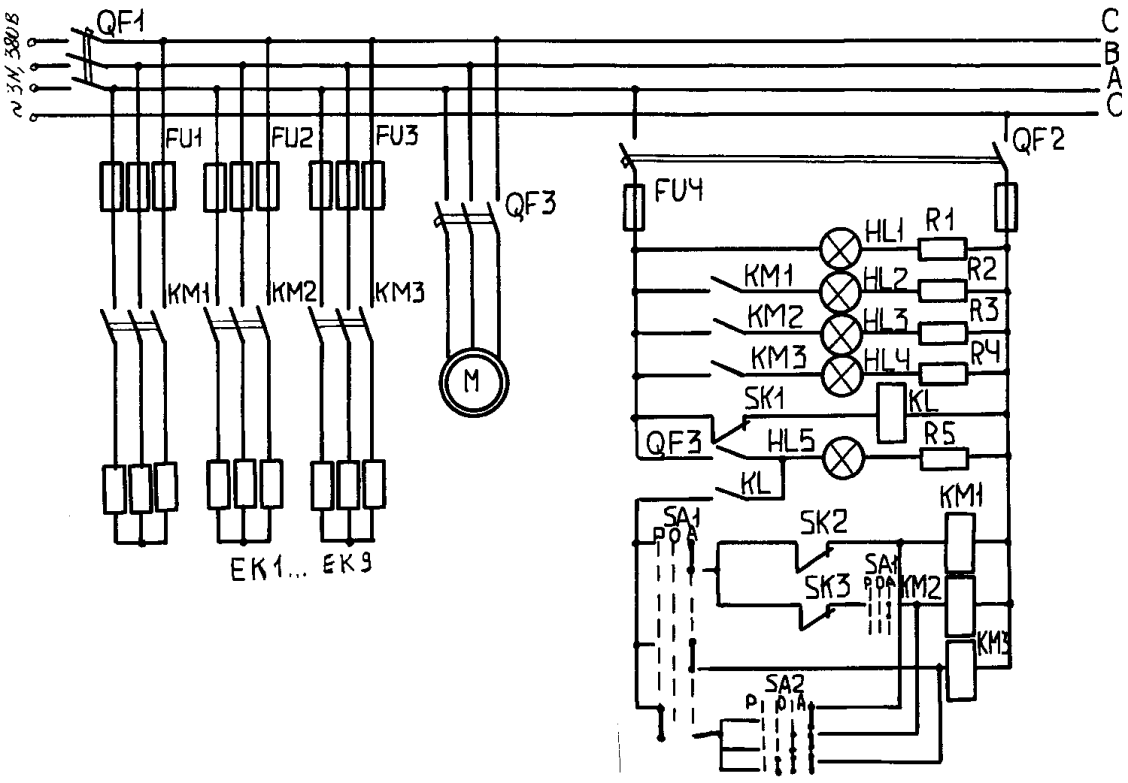


Рисунок 6.9 – Схема електрична принципова управління електрокалориферною установкою

Рисунок 6.10 – Щит управління електрокалориферною установкою

7 Контрольні запитання

7.1 Як зміниться температура нагрівача при зміні швидкості повітря або температури зовнішнього повітря?

7.2 Як можна регулювати потужність електрокалориферної установки?

7.3 Як працює електрична схема управління в ручному режимі?

7.4 Як працює електрична схема управління в автоматичному режимі?

7.5 Для яких цілей застосовуються електрокалорифери в сільському господарстві?

7.6 Як улаштовані електричні калорифери типу СФО і як здійснюється їхня автоматизація?

7.7 Що є вихідними даними для розрахунку потужності електрокалориферів. використовуваних для підігріву повітря на тваринницьких фермах?

7.8 Перерахуйте основні фактори економічної переваги електротермічних установок.

7.9 В яких областях сільського господарства можливе застосування електричних калориферів?

7.10 Поясніть роботу схеми автоматичного управління при можливих аварійних ситуаціях.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7
ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ ЗВАРЮВАЛЬНОГО СТРУМУ

Мета роботи

Вивчити призначення, будову, принцип дії і робочі характеристики зварювального трансформатора.

1. Програма роботи

1.1 Вивчити призначення, будову, принцип дії та область застосування електрозварювальних апаратів.

1.2 Накреслити схеми електричні принципові зварювального трансформатору, зварювального генератору і зварювального випрямляча.

1.3 Дослідити електрозварювальний трансформатор.

2. Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи

2.1 Пункти 12.1 і 1.2 виконати вдома.

2.2 Підготуватися до відповіді на контрольні запитання.

3. Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити конструкцію електрозварювальної установки на робочому місці та ознайомитися з інструкцією з монтажу та експлуатації електрозварювальних апаратів.

3.2 Дослідити електрозварювальний трансформатор відповідно до п. 5.

4. Зміст звіту

5.1. Схема для дослідження електрозварювальної установки.

5.2. Таблиця з результатами дослідження електрозварювального трансформатора і графічні залежності I_1, U_2, P_3; P_4; cosφ та η від функції струму I_2.

5. Методика виконання роботи

Для проведення дослідів необхідно перевірити правильність підбору апаратури і контрольно-вимірювальних приладів, а після дозволу на вмикання

увімкнути зварювальний апарат на холостому ходу. Досліди по визначенню зовнішніх характеристик зварювального апарату ТДЕ-101 У2 проводяться для трьох ступенів зварювального струму. Трансформатор навантажується ступенево вмиканням або відключенням реостатів за допомогою автоматичних вимикачів. Покази приладів необхідно занести до табл. 7.1 і виконати розрахунки.

Таблиця 7.1 – Результати дослідження зварювального апарату ТДЕ-101 У2

Установка ступеня, А	Виміряно					Розраховано			
	Первинна напруга (U_1),В	Первинний струм (I_1), А	Вторинна напруга (U_2),В	Вторинний струм (I_2), А	Потужність (P_1), Вт	Повна потужність	Потужність навантаження	cosφ	ККД (η)

6. Пояснення до роботи

6.1 Загальні відомості

Класифікація джерел живлення

Електродугове зварювання є найбільш поширеним видом електродугового нагрівання. Живлення зварювальної дуги здійснюється від спеціальних джерел, що класифікують за таким параметрами:

- родом струму – змінного і постійного струму;
- типами – трансформатори, випрямлячі, перетворювачі, генератори, агрегати, установки;
- видом – для дугового зварювання, для плазмового зварювання;
- способом зварювання – для ручного, під флюсом, у захисних газах, універсальні, без захисту дуги, під флюсом і у захисних газах;
- кількістю постів – однопостові і багатопостові;
- номінальним струмом – на 125, 160, 200, 250, 310, 400, 500, 630, 1000, 1250, 1600, 2000, 2400, 3150, 5000 А;

- кліматичним виконанням – для помірного клімату, для помірного і холодного клімату, для тропічного клімату;
- категорією розміщення – для роботи на відкритому повітрі; для приміщень, де коливання вологості і температури мало відрізняються від свіжого повітря; для закритих приміщень, де коливання вологості й температури, вплив пилу менші, ніж на свіжому повітрі; для приміщень із штучним кліматом; для приміщень з великою вологістю.

Зварювальні трансформатори

Для електродугового зварювання використовують джерела живлення змінного струму (одно- і трифазні зварювальні трансформатори) і постійного струму (зварювальні випрямлячі, генератори, перетворювачі).

Вибираючи джерело живлення, керуються їх основними параметрами. Головним з них є номінальний струм. Джерела живлення для ручного зварювання розраховані на струм від 125 до 500 А, для напівавтоматичного – від 200 до 1000 А, для автоматичного – від1000 до 5000 А.

Джерелами змінного струму служать переважно зварювальні трансформатори (типу ТС, СТН, ТД тощо), джерелами постійного струму є зварювальні генератори (ПСО) і випрямлячі (ВКС, ВД, ВСС). Залежно від максимального розміру струму розрізняють джерела малої (100–500 А), середньої (200–1000 А) і великої (1000–5000 А) потужності.

Зварювальний трансформатор – електричний прилад, призначений для зниження напруги з 220 або 380 В до безпечної напруги, але достатньої для легкого запалення та стійкого горіння електричної дуги (не більше 80 В) і регулювання сили зварювального струму залежно від діаметра електричного дроту й товщини зварювального металу.

Трансформатори широко використовують для ручного дугового зварювання покритими електродами, на автоматах для зварювання під флюсом, для зварювання неплавкими електродами в інертних газах (для алюмінію та його сплавів), у спеціальних установках і при електрошлаковому зварюванні. Джерела змінного струму порівняно дешеві та надійні в роботі.

Принцип дії зварювального трансформатора (рис. 4.1) ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Він складається з корпусу, усередині якого міститься магнітопровід (осердя), зібраний з тонких (0,5 мм) лакованих пластин електротехнічної сталі й на якому розміщені первинна та вторинна обмотки.

Котушки первинної обмотки вмикають у мережу змінного струму, а від котушок вторинної об-мотки зварювальний струм подається на електрод і виріб. У момент підключення первинної обмотки до електромережі (вторинна обмотка розімкнута) установлюється режим холостого (неробочого) ходу трансформатора. Напруга вторинної обмотки під час холостого ходу є максимальною, її називають напругою холостого ходу. Відношення напруги первинної обмотки до напруги вторинної на холостому ходу називають коефіцієнтом трансформації. Він дорівнює відношенню кількості витків первинної обмотки до кількості витків вторинної. Отже, у трансформаторах знижується напруга з 220 або 380 В до 60–90 В, тому їх називають знижувальними. Коли під час запалювання дуги коло вторинної обмотки замикається, установлюється режим навантаження.

Силу зварювального струму регулюють зміною напруги холостого ходу й опором трансформатора.

Плавне регулювання сили струму можна забезпечити пересуванням рухомих обмоток за допомо-гою гвинтового механізму і рукоятки, збільшуючи або зменшуючи відстань між первинною і вторинною обмотками. Зі збільшенням відстані магнітний зв’язок між обмотками зменшується (збільшується індуктивний опір) і, відповідно, зменшується зварювальний струм, а зі зменшенням відстані між обмотками зварювальний струм збільшується.

Регулювання струму можна здійснювати введенням магнітного шунта між обмотками, що збільшить магнітний потік розсіювання і зменшить струм. Змінюючи розташування шунта, забезпечують плавне регулювання зварювального струму. Використовують також і нерухомий магнітний шунт, який підмагнічується обмоткою керування постійного струму. Якщо в цій

обмотці струм збільшити, то магнітний опір шунта зросте, магнітний потік розсіювання зменшиться, а зварювальний струм збільшиться.

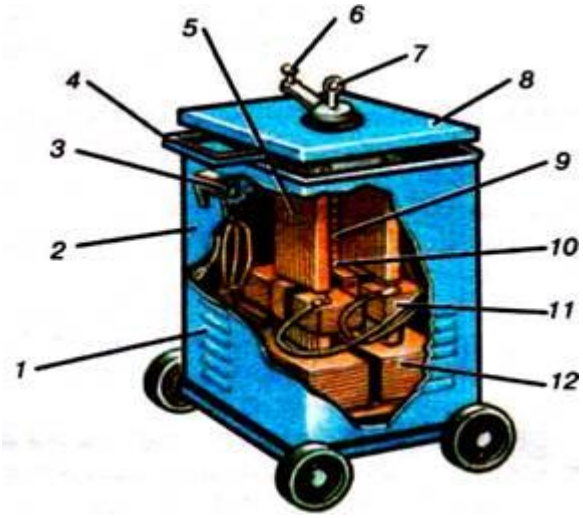


Рисунок 7.1 – Зварювальний трансформатор:
1 – отвори охолодження; 2 – корпус; 3 – затискач для приєднання проводів зварювального кола; 4 – ручка; 5 – замкнутий магнітопровід (осердя); 6 – рукоятка; 7 – рим-болт; 8 – кришка корпусу; 9 – вертикальний гвинт із стрічковою різьбою; 10 – ходова гайка гвинта; 11, 12 – вторинна й первинна обмотки трансформатора

Змінюючи способи з’єднання обмоток, можна змінювати опір трансформатора ступенево. При послідовному з’єднанні первинних обмоток і послідовному з’єднанні вторинних опір трансформатора збільшується, а при паралельному з’єднанні первинних обмоток і паралельному з’єднанні вторинних загальний опір трансформатора зменшується. Коли використовується одна первинна й одна вторинна обмотки, то опір трансформатора дорівнює індуктивному опору. Отже, змінюючи з’єднання обмоток, отримують три ступені регулювання, тобто чотирикратну зміну струму.

Для ручного дугового зварювання використовують трансформатори типу ТД, ТД П, ТСП з рухомими котушками; СТШ, ТДМ – з рухомими магнітними шунтами; ТСМ – з намотуванням кабелю безпосередньо на кожух трансформатора для регулювання струму. Деякі типи трансформаторів

оснащують пристроями для зниження напруги холостого ходу із збудником-стабілізатором ВСД і конденсаторами для підвищення коефіцієнта потужності.

Для механізованого зварювання використовують трансформатори типу ТДФ, ТДФЖ з тирис-торним регулюванням; для електрошлакового – трансформатори типу ТСШ, ТРМК.

Зварювальні випрямлячі та перетворювачі

Зварювальний випрямляч – прилад призначений для перетворення змінного струму на постійний і живлення ним зварювальної дуги.

Випрямлячі класифікують:

- за кількістю обслуговуваних постів – однопостові, багатопостові;
- за кількістю фаз живлення – одно- і трифазні;
- за типом вентилів – діодні, тиристорні, інверторні;
- за призначенням – для ручного дугового зварювання, для механізованого зварювання під флюсом, для механізованого зварювання у вуглекислому газі, універсальні.

Основними елементами випрямляча (див. рис. 7.2) є трансформатор, регулюючий пристрій і напівпровідникові вентилі (селенові, кремнієві або германієві), які проводять струм тільки в одному напрямку.

Розрізняють нерегульовані і регульовані випрямлячі. Блок нерегульованого випрямляча складається з силових діодів, а регульованого випрямляча – з тиристорів.

Тиристор – керований кремнієвий вентиль.

Зварювальний перетворювач – це машина, призначена для перетворення змін-ного струму на постійний зварювальний струм.

Зварювальний перетворювач перетворює механічну енергію електродвигуна на електричну з необхідним для зварювання діа-пазоном струмів і напруг. Він складається з ге-нератора постійного струму ГСГ-500-1 і привід-ного трифазного асинхронного електродвигуна типу АВ2-71-2С, розміщених на одному валу й змонтованих на одному загальному корпусі.

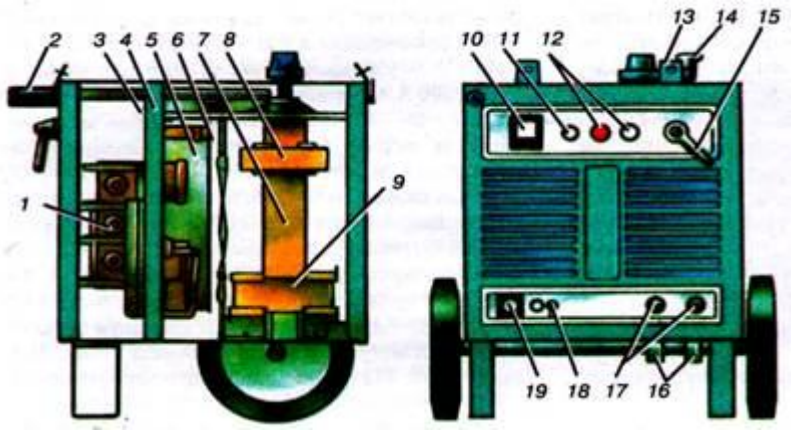


Рисунок 7.2 – Зварювальний випрямляч:
1 – блок випрямляча; 2 – висувні ручки; 3 – запобіжники; 4 – блок апаратури; 5 – вентилятор; 6 – теплове реле; 7 – силовий трансформатор; 8 – вторинна обмотка; 9 – первинна обмотка; 10 – амперметр; 11 – лампа; 12 – кнопки вимикача; 73 – скоби; 14 – рукоятка регулювання струму; 15 – перемикач діапазонів струму; 16 – шини заземлення зворотного проводу; 17 – струмові роз'єми; 18 – болт заземлення; 19 – штепсельний роз'єм для підключення до електромережі

Генератор складається з корпусу із закріпленими на ньому магнітними полюсами та якоря, що набраний із лакованих пластин електротехнічної сталі. У пазах якоря розміщені витки обмотки. Обидва кінці кожної групи вит-ків якоря припаяні до мідних пластин колектора. У розподільному пристрої розміщені пакетний вимикач, регулювальний реостат, вольтметр, затискачі та інша апаратура. Магнітне поле в генераторі створюється магнітними полюсами обмоток збудження, які живляться постійним струмом від щіток генератора.

З увімкненням електродвигуна якір починає обертатися в магнітному полі. У його витках виникає змінний струм, який за допомогою колектора перетворюється на постійний. Вугільні щітки генератора знімають з колектора постій-ний струм, що підводиться до затискачів, до яких приєднуються і зварювальні проводи. Для охолодження перетворювача на валу є вентиля-тор. Зварювальний струм регулюється зміною струму в колі обмоток збудження за допомогою маховика реостата, при обертанні якого за годинниковою стрілкою

збільшується струм в обмотках збудження, магнітний потік зростає і зварювальний струм збільшується. Якщо ж крутити маховик проти руху годинникової стрілки, зварювальний струм зменшується. Для переміщення перетворювача передбачені колеса з тягою.

Зварювальні генератори та апарати

Зварювальний генератор – це апарат, призначений для перетворення механічної енергії привідного двигуна на електричну.

Зварювальний генератор (рис. 7.3) є складовою частиною зварювальних перетворювачів і зварювальних агрегатів. Принцип дії генератора ґрунтується на законі електромагнітної індукції.

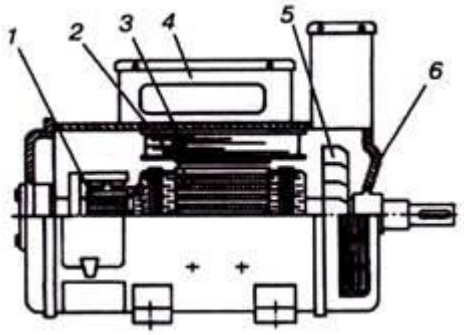


Рисунок 7.3 – Зварювальний генератор:
1 – колектор зі струмознімачем; 2 – якір; 3 – полюс з обмоткою збудження; 4 – пристрій керування; 5 – вентилятор; 6 – корпус з підшипниковими вузлами

Зварювальні генератори бувають одно- та багатопостові. Їх виготовляють із спадними або жорсткими зовнішніми характеристиками.

Розрізняють генератори з незалежним збудженням, та із самозбудженням.

За способом виконання зварювальні генератори бувають однокорпусні (генератор і двигун розміщені на одному валу в одному корпусі) і роздільні (генератор і двигун – на загальній рамі, а їх вали з'єднані через спеціальні муфти).

Універсальні зварювальні генератори марки ГД-304 і ГД-502 випускають без двигунів для ручного зварювання, напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі та зварювання під флюсом.

Зварювальний агрегат – це апарат, призначений для зварювання постійним струмом джерелами живлення дуги.

Зварювальний агрегат (див. рис 7.4) перетворює механічну енергію двигуна внутрішнього згоряння на електричну з необхідним для зварювання діапазоном струмів і напруг.

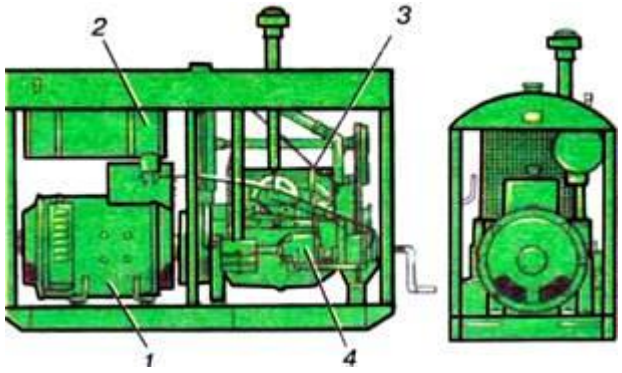


Рисунок 7.4 – Зварювальний агрегат АДБ-311:

1 – генератор; 2 – бак з паливом;

3 – регулятор швидкості обертання; 4 – двигун

Зварювальні агрегати використовують у польових умовах та в разі значного коливання напруги електромережі.

Електромашинні джерела живлення, основними вузлами яких є генератори постійного струму і привідні двигуни, класифікують:

- за типом приводу – з бензиновим, дизельним або електричним двигуном;
- за конструктивним виконанням генератора – колекторні, вентильні і асинхронні;
- за способом установлення – стаціонарні та пересувні.

Інверторні джерела живлення

Інвертор – це пристрій силової електроніки, який працює на високих струмах, високих частотах і напругах.

Рисунок 7.5 – Інвертор

В інверторах (див. рис. 7.5) вхідна напруга перетворюється двічі: зі змінного (230 В) на постійний струм і на високочастотну напругу зі змінним струмом і частотою 200 кГц. Перетворення частоти здійснюється імпульсним модулятором, основою якого є високочастотні перетворювачі – модулі (біполярний транзистор з ізольованим затвором або полярний транзистор на основі переходу метал-оксид-напівпровідник). Пройшовши трансформатор, високочастотна змінна напруга знову випрямляється і подається на зварювальну дугу. Координування роботи всіх елементів, контроль параметрів і зворотний зв’язок зі зварювальною дугою здійснюються цифровими процесорами на програмованих мікросхемах.

Переваги інверторів:

- споживання електричної енергії майже вдвічі менше, ніж у звичайних зварювальних трансформаторів чи випрямлячів;
- маса у 5–10 разів менша від маси інших джерел живлення;
- стабільний постійний струм на виході, який не залежить від перепадів вхідної напруги;
- вихідний струм плавно і точно регулюється;
- дуже незначне розбризкування металу;
- не перевантажують мережу, світло не миготить;
- інвертори працюють у мережах з недостатньою напругою, не реагують на перепади напруги у мережі, можуть працювати від бензинового генератора.

Сфера застосування зварювальних інверторів – усі види електродугового та плазмового зварювання і різання:

- ручне дугове зварювання штучними елек-тродами (MMA – metal manual arc);
- аргонодугове зварювання (TIG – tungsten inert gas) на змінному та постійному струмах;
- напівавтоматичне зварювання (MIG/ MAG – metal inert/active gas);
- плазмово-дугове різання (PAC – plasma arc cutting).

Джерела зварювального струму повинні задовольняти таким вимогам:

– напруга холостого ходу повинна бути достатньою для легкого запалювання дуги і безпечною для людини;

– після запалювання дуги напруга повинна зменшуватися до значень, що відповідають напрузі горіння дуги;

– при зміні довжини дуги не повинно відбуватися значної зміни зварювального струму;

– при коротких замиканнях струм у ланцюзі не повинен перевищувати робочий струм при зварюванні більше ніж на 20–40 %;

– забезпечити легке і плавне регулювання зварювального струму.

Історична довідка

Вперше ідея про використання явища електричної дуги була запропонована у 1802 році російським фізиком В.А. Петровим, ним же була встановлена можливість використання теплової енергії для плавлення металів. Після цього вчені усього світу, у тому числі й такі відомі, як британець Майкл Фарадей, проводили різноманітні експерименти з електричною дугою, які десятиріччями обмежувались теоретичними пошуками.

Перехід на практичний рівень відбувся у кінці XIX століття. У той же період історії на промислові рейки вийшло виробництво сталі та чавуну. Усе частіше вимагалось з’єднання металевих деталей простим та надійним способом.

У 1881 році в Парижі вчений Микола Бернардос продемонстрував спосіб зварювання із застосуванням вугільного електроду. Це був апарат «ЭлектроГефестЪ», який здобув золоту медаль на Паризькій міжнародній виставці. Примітно, що Бернардос хоча й мав грецьке коріння, але народився у селі на території сучасної Миколаївської області України, а навчався у Київському університеті.

У 1888 році російський вчений Микола Слав'янов створив та запатентував зварювальне обладнання, в якому використовувались плавкі металеві електроди, які були схожі за характеристиками із зварювальними металами. Саме ця технологія стала основою для розповсюдження дугового електрозварювання по всьому світу.

За допомогою першого зварювального обладнання вдалося усунути брак, який виникав під час виливання деталей, а також відновлювати спрацьовані частини обладнання. На зламі століть електрозварювання ставало все більш досконалим. Наприклад, були запропоновані способи використання електричної дуги, яка збуджується трифазним та змінним струмом.

У 1906 році швед Оскар Чельберг вдосконалив винахід Слав'янова. Він запатентував зварювальний електрод, який був покритий флюсом. Це спеціальний матеріал, який захищає місце зварювання від окиснення і накопичування шкідливих домішок. Його винахід дійшов до наших днів практично без змін.

У 1904 році молодий вчений Євгеній Патон, який народився у Франції та закінчив Дрезденський технологічний університет, отримав пропозицію створити кафедру будування мостів на базі Київського політехнічного інституту. У ті роки мостобудування було нерозривно пов'язане з металургією та іншими суміжними процесами. Тому у 1930-х Патон захопився електрозварюванням. З часом кафедра, яку він очолив, еволюціонувала в Інститут електрозварювання при Академії Наук. Євгеній Патон був його керівником з моменту заснування у 1934 році і до своєї смерті у 1953 р.

Саме Київський інститут електрозварювання став одним з світових центрів вивчення зварювання. Зроблені тут відкриття і винаходи знайшли практичне застосування у багатьох сферах промисловості та економіки.

Наприклад, під час Другої світової війни інститут зробив значний внесок у обороноздатність колишнього СРСР, запропонувавши технологію зварювання спеціальних сталей для танкових башт, які до того були клепані або суцільнолиті.

Однак головним винаходом Євгенія Патона став розвиток ідей Бенардоса і Чельберга – швидкісне автоматичне зварювання під флюсом, яке було названим «методом Патона». Для цього були створені механізовані самохідні апарати – зварювальні трактори. Вони рухаються безпосередньо по поверхні зварювальних виробів та переміщують електричну дугу вздовж зварного шва, подають флюс та забезпечують інші допоміжні процеси без участі людини. Найбільш активний період розвитку автоматичного зварювання припав на 1959–1965 рр. На сьогодні воно використовується у багатьох галузях промисловості: для зварювання листового металу, труб, корпусів техніки, побутових виробів та багато іншого.

Ручне дугове електрозварювання. Основні положення

Електричне дугове зварювання є одним із сучасних і найвидатніших способів з'єднання різноманітних металів і сплавів. При цьому способі з'єднання, кількість теплової енергії, що виділилася, може досягати до 300 кВт на 1 мм^2 площі поперечного перерізу дуги з температурою катода 2000 °С, анода 2600 °С, а в середині дуги 6000–7000 °С (рис. 7.6).

На сьогодні налічується більш ніж 150 різних способів зварювання. Одна з класифікацій цього процесу з'єднання металів – за формою теплової енергії, яка використовується, так званий «термічний клас». Вона визначає види зварювання залежно від теплової енергії, яка використовується.

Ключовими різновидами зварювання за даним критерієм є:

- дугове;
- газове;
- електронно-променеве;

- плазмове;
- електрошлакове;
- лазерне та ін.

Структура дуги під час електрозварювання

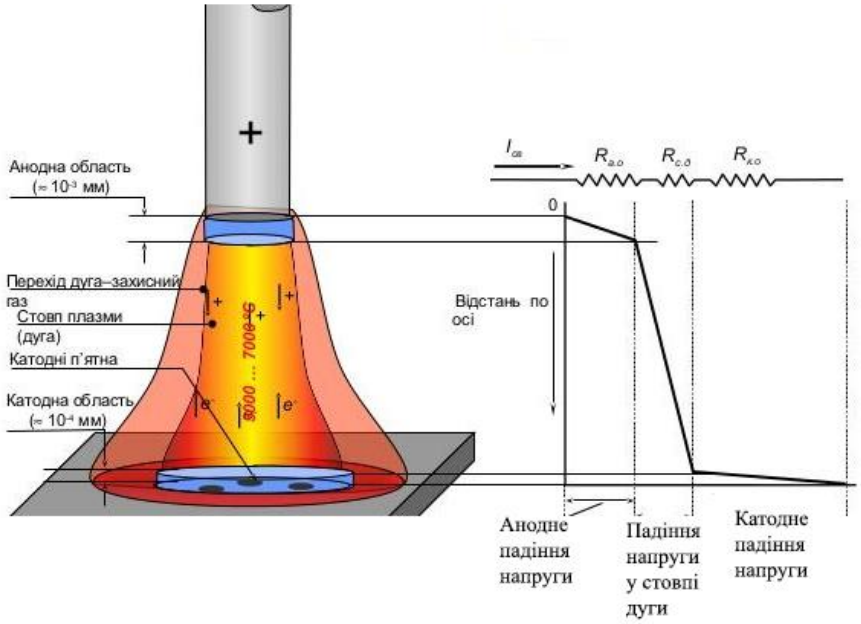


Рисунок 7.6 – Структура зварювальної дуги

В електричному дуговому зварюванні джерелом дуги є змінний, постійний та пульсуючий струм, який пропускається між двома електродами (один з них – це виріб, який зварюється). Від виду струму залежать сфери застосування електрозварювання та метали, які зварюються.

Тепло, яке виділяється з дуги, оплавляє краї виробу, який зварюється, та електрод, що призводить до виникнення **зварювальної ванни** (рис. 4.7). Цей невеликий об'єм рідкого металу, який після затвердіння утворює зварне з'єднання.

Найбільш популярні види електродугового зварювання:

- ручне дугове зварювання;
- автоматичне зварювання під флюсом;
- напівавтоматичне зварювання у середовищі захисних газів.

Зварювання плавким електродом добре автоматизується та забезпечує високу продуктивність.

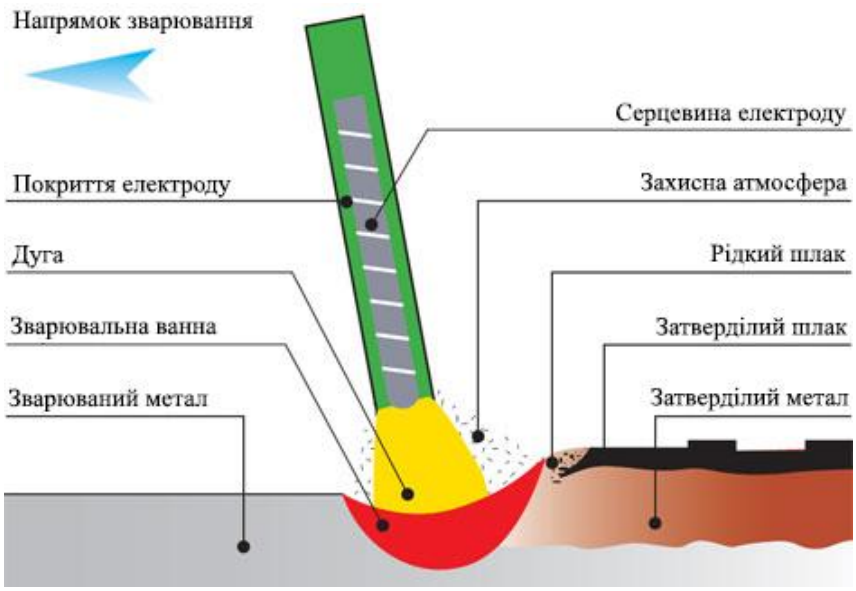


Рисунок 7.7 – Ілюстрація процесу електродугового зварювання покритим електродом

Для одержання зварного з'єднання гарної якості необхідно правильно обрати енергетичні параметри зварювальної дуги і домогтися стабільності її горіння. Властивості зварювальної дути залежать від роду струму, середовища, в якому горить дуга і матеріалу електродів. По роду струму розрізняють дуги постійного і змінного струму. При зварюванні на постійному струмі **мінусовий полюс джерела струму приєднується до електроду, а плюсовий до зварюваного металу**. Таке з'єднання називається **прямою полярністю** (рис. 7.8). Якщо змінити знаки на електроді і в зварювальному виробі, то таке з'єднання називається **оберненою полярністю**. Як правило, при зварюванні використовується з'єднання прямої полярності, і лише коли зварюється матеріал, який тонший від електроду (зварювання листової сталі), тоді застосовується з'єднання оберненої полярності. Пояснюється це тим, що на плюсовому електроді виділяється значно більша кількість тепла, між на негативному.

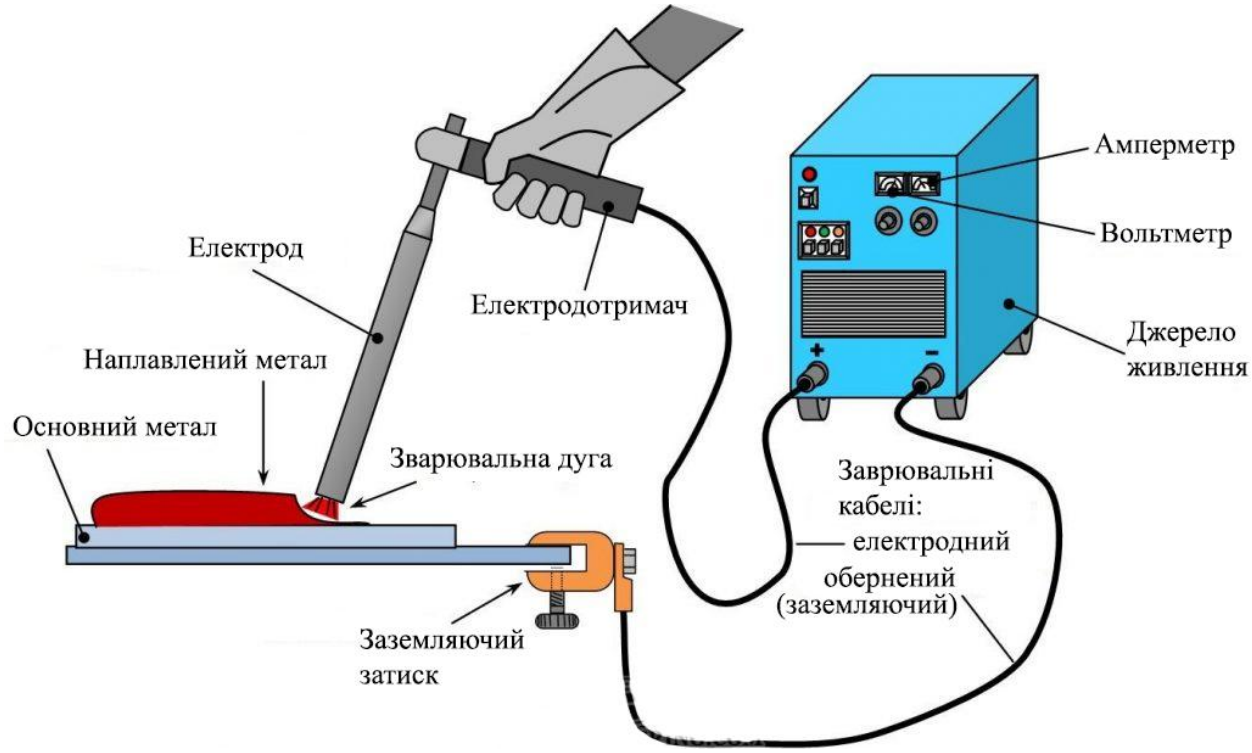


Рисунок 7.8 – Основні елементи електродугового зварювання покритим електродом

При живленні дуги змінним струмом катодні і анодні області у процесі роботи періодично змінюються місцями. Процес дугового зварювання практично складається з трьох основних операцій: запалювання дуги, подача електроду та переміщення його уздовж зварювального шва.

Запалювання дуги здійснюється шляхом доторку електроду до поверхні виробу (коротке замикання) і відводом електроду на відстань, при якій з’являється дуга. Дугу можна розглядати як іонізований стовпчик газу, по якому рухаються електрони з одного електроду на інший. Дуга змінного струму порівняно з дугою постійного струму нестійка, тому що вона переривається 100 разів на секунду. Для підтримки стійкого горіння в зону дуги вводяться речовини, що додатково іонізують дуговий проміжок. Для цього служить обмазка електродів. Для горіння дуги необхідно на електродах підтримувати напругу визначеного розміру.

Ця напруга змінюється залежно від матеріалу електродів, сили струму дуги і її довжини.

По характеру середовища, в якому горить дуга, розрізняють такі види зварювальної дуги:

а) відкрита дуга, що горить у суміші повітря, парів електроду, металу;

б) закрита дуга, що горить під флюсом у суміші парів металу електроду, металу і флюсу;

в) дуга, захищена від навколишнього повітря різноманітними газами, які спеціально подаються у зону зварювання, або при розплавлюванні електродних покриттів.

Апаратура для зварювання працює у двох режимах – **робочому** і **холостому**. Під час зварювання вторинна обмотка замикається між робочим інструментом і деталлю. Струм розплавляє кромки заготовок і у результаті виходить надійне з'єднання деталей. Після того, як зварювальник закінчить роботи, ланцюг переривається і трансформатор перемикається на холостий хід.

ЕРС в первинні обмотці з'являються внаслідок наявності:

- магнітного потоку;
- його розсіювання.

Робота на холостому ходу не повинна становити небезпеку для зварювальника і оточуючих людей. Вона не повинно бути більшою 46 В, але окремі моделі зварювального обладнання, мають великі значення, наприклад, 60–70 В. У цьому випадку у конструкції зварювального пристрою встановлюють обмежувач параметрів холостого ходу. Швидкість його спрацювання не перевищує одну секунду з моменту розриву ланцюга і закінчення роботи. З метою додаткового захисту зварника, корпус трансформатора необхідно заземлити, що дозволяє напрузі, яка може з'явитися на корпусі у результаті пошкодження ізоляції, піти у землю, не завдавши жодної шкоди зварнику.

Коефіцієнт перетворення зварювального трансформатора (рис. 7.9) визначається кількістю витків в обмотках. Напруга у обмотці прямопропорційна кількості витків у ній. Первинна обмотка з'єднана з центральною електромережею, вторинна – з заземляючим провідником (масою) і тримачем електродів, через який здійснюється процес зварювання.

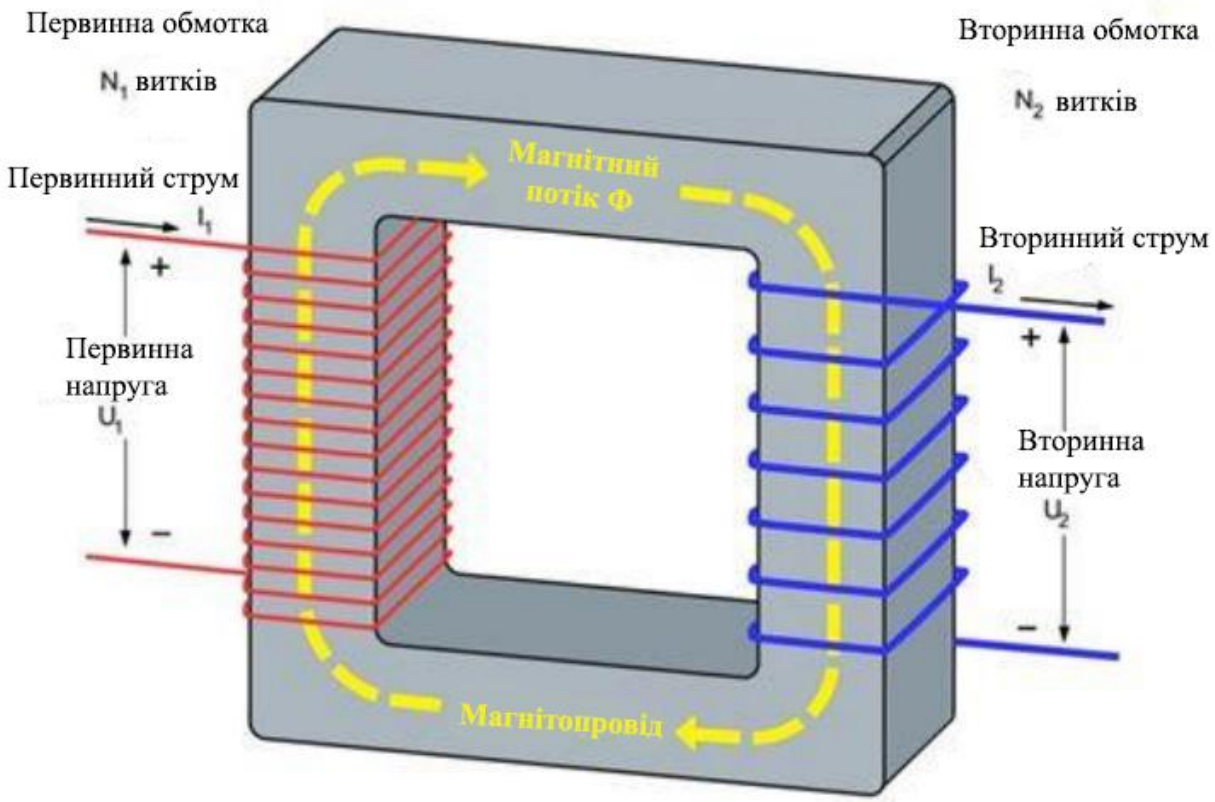


Рисунок 7.9 – Схематичне зображення звального трансформатора

Конструктивна особливість кожного виду зварювального трансформатора залежить від таких параметрів:

- форми і типу серцевини, обмоток;
- типу і потужності перетворення струму;
- характеристик охолодження обмоток;
- параметрів ізоляції;
- місця встановлення обладнання;
- необхідних вимог до маси і опору обмоток.

Деякі моделі зварювальних трансформаторів оснащені спеціальними вузлами: конденсаторами, додатковими обмотками, примусовою вентиляцією, стабілізаторами, що сприяють покращенню характеристик зварювального апарату.

Отже, основне завдання зварювального трансформатору – перетворити високу вхідну напругу в низьку, оптимальну для здійснення процесу зварювання.

Це дає можливість збільшити силу струму в обмотці трансформатора, і, як наслідок, відбувається плавлення металу.

Етапи роботи зварювального трансформатора:

1) струм потрапляє на первинну обмотку високої напруги, що спричиняє утворення у магнітопроводі змінного магнітного поля;

2) утворений магнітний потік переходить серцевиною по магнітопроводу на вторинну обмотку;

3) магнітна індукція створює електрорушійну силу, змішуючи рухатись вільні електрони металу, тобто створюючи вторинний електричний струм у вторинній обмотці;

4) через меншу кількість витків у вторинній обмотці, напруга спадає, а сила струму при цьому підвищується;

5) під час створення контакту між зварюваним металом та електродом створюється електрична дуга, яка переносить частинки металу з електроду (катоду) до об’єму деталі, що зварюються (аноду).

Під час роботи зварювальний агрегат знаходиться під постійним навантаженням (рис. 7.10), але після завершення процесу зварювання апарат (трансформатор) переходить у режимі холостого ходу (режим очікування) (рис. 4.11).

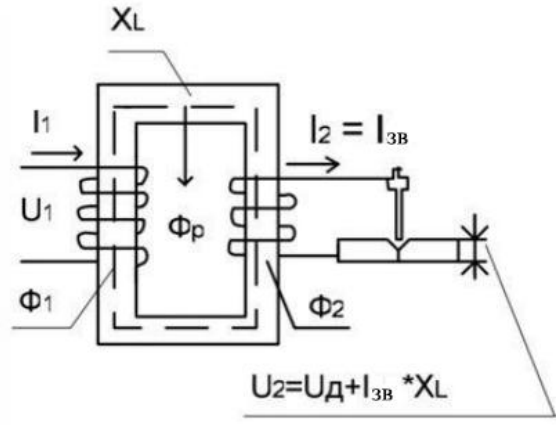


Рисунок 7.10 – Режим роботи трансформатора під навантаженням

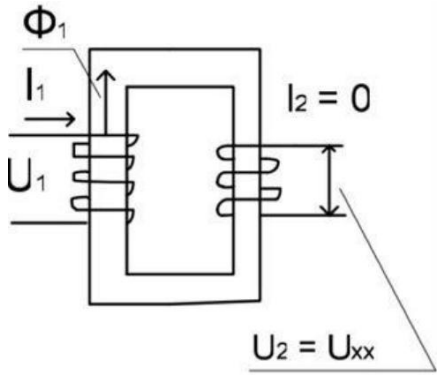


Рисунок 7.11 – Режим холостого ходу трансформатора

Вольт-амперна характеристика дуги

Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги. Залежність напруги у зварювальній дузі від її довжини та величини зварювального струму, звану вольт-амперною характеристикою зварювальної дуги, можна описати рівнянням:

$$U_d = a+bL_d,$$

де a – сума падінь напруги на катоді та аноді ($a=U_к+U_a$);

b – питоме падіння напруги в газовому стовпі, віднесене до 1 мм довжини дуги (величина b залежить від газового складу стовпа дуги);

L_d – довжина дуги.

За малих і надвисоких величин струму U_d залежить від величини зварювального струму.

Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги показана на рис. 7.12. На ділянці I збільшення струму до 80 А призводить до різкого падіння напруги дуги, що зумовлюється тим, що в разі малопотужних дуг збільшення струму спричиняє збільшення площі перерізу стовпа дуги, а також його електропровідності. Форма статичної характеристики зварювальної дуги на цій ділянці падаюча. Зварювальна дуга, що має падаючу вольт-амперну характеристику, має малу стійкість.

На ділянці II (80–800 А) напруга дуги майже не змінюється, що пояснюється збільшенням перерізу стовпа дуги та активних плям пропорційно зміні величини

зварювального струму, тому густина струму та падіння напруги в усіх ділянках дугового розряду зберігаються постійними. У цьому випадку статична характеристика зварювальної дуги жорстка. Така дуга широко застосовується у зварювальній техніці.

У разі збільшення зварювального струму понад 800 А (ділянка III) напруга дуги знову зростає. Це пояснюється збільшенням густини струму без зростання катодної плями, оскільки поверхня електрода вже виявляється недостатньою для розміщення катодної плями з нормальною густиною струму. Дуга зі зростаючою характеристикою широко застосовується під час зварювання під флюсом і в захисних газах.

Рисунок 7.12 – Статична вольт-амперна характеристика зварювальної дуги

Характеристики джерел зварювального струму

На рис. 7.13 подано зовнішні характеристики джерел зварювального струму із накладенням статичної характеристика зварювальної дуги (рис. 7.12).

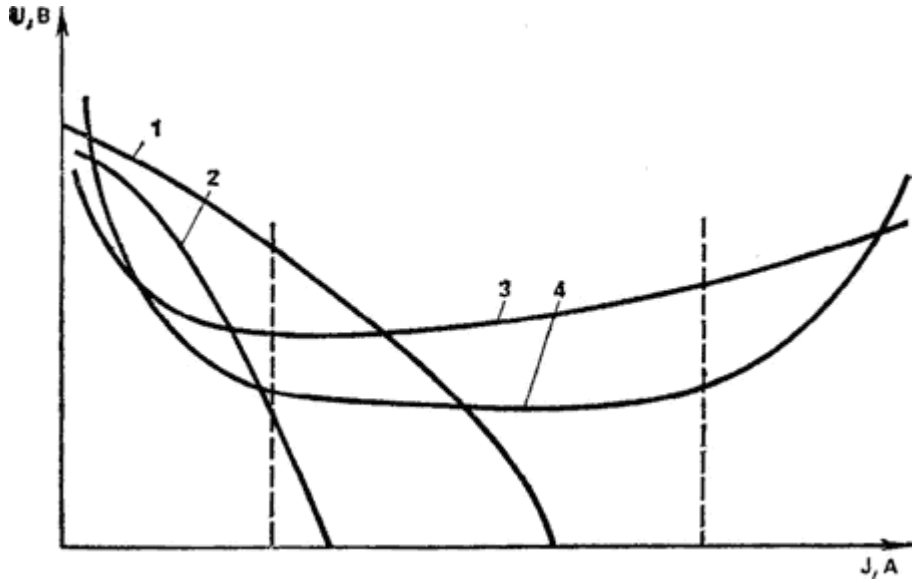


Рисунок 7.13 – Зовнішня характеристика джерела зварювального струму і статична характеристика зварювальної дуги

1 – пологоспадна; 2 – крутоспадна; 3 – зростаюча;

4 – статична вольт-амперна характеристика дуги

Джерела живлення з **пологоспадними** зовнішніми статичними характеристиками (рис. 7.13, лінія 1) часто використовуються у зварювальних пристроях, таких як дугові зварювальні апарати. Вони забезпечують стабільний струм, необхідний для зварювання металів, особливо в процесах, які потребують точного контролю енергії. Для цього використовують, наприклад, джерела живлення зі змінним опором.

Джерела живлення дуги постійного струму мають **крутоспадні зовнішні** статичні характеристиками (рис. 7.13, лінія 2).

Джерела живлення зі **зростаючою** зовнішньою статичною характеристикою (рис. 7.13, лінія 3) використовуються к таких зварювальних пристроях, як напівавтоматичні зварювальні апарати (MIG/MAG) або аргонодугові зварювальні апарати (TIG). Вони забезпечують збільшення напруги при зростанні струму.

Особливості зростаючої характеристики: збільшення напруги при збільшенні струму дозволяє пристрою краще адаптуватися до змінних умов зварювання, таких як різні види матеріалів або товщина металу. Це дозволяє забезпечити стабільний і плавний процес зварювання з меншою ймовірністю утворення дефектів, таких як надлишкове розплавлення або підгоряння. Підходить для зварювання з використанням змінних електродів, де підтримується постійна стабільність дуги.

Порівняння з спадними характеристиками

Зі спадними характеристиками джерела живлення зменшують напругу при збільшенні струму. Це є типовим для зварювання металів з високою теплопровідністю (наприклад, алюміній) або в умовах, де потрібно мінімізувати перегрівання металу і точніше контролювати енергетичний потік.

У зварювальних апаратах зі спадними характеристиками, таких як ручне дугове зварювання (ММА), зварювальний струм зменшується при збільшенні дуги, що дозволяє точніше контролювати зварювання в певних умовах.

Отже, **зростаюча характеристика добре підходить для процесів, де необхідно забезпечити стабільність і контроль над потужністю при автоматичному або напівавтоматичному зварюванні, тоді як спадна характеристика краща для ручного зварювання з інтенсивним контролем процесу**.

6.2 Технічні дані апарата

Для лабораторних досліджень застосований зварювальний побутовий апарат ТДЕ-101 У2. (рис. 7.14).

Технічні характеристики (паспортні) зварювального трансформатора ТДЕ-101 У2:

U – номінальна напруга первинна – 220 В;

$I_н$ – номінальний зварювальний струм – 100 А;

f – частота – 50 Гц;

I_1 – максимальний первинний струм – 15 А;

U_{2xx} – вторинна напруга холостого ходу – 42 В;

I_{xx} – сила стуму холостого ходу – 2 А;

U_{2p} – номінальна вторинна робоча напруга – 24 В;

Ступені регулювання зварювального струму 1 ст.: 40 А, 2 ст.: 80 А; 3 ст.: 110 А;

τ – максимальна тривалість робочого циклу – 5 хв;

ПР – тривалість роботи – 20%;

S – повна споживана потужність з мережі – 4,2 кВА.

η – ККД – 0,63;

cosφ – коефіцієнт потужності – 0,92;

Ш х Г х В – габаритні розміри – 312 х 176 х 445 мм;

М – маса (без проводів і електродотримача) – 22 кг.

Рисунок 7.14 – Зовнішній вигляд зварювального трансформатора ТДЕ-101 У2

6.3 Будова і принцип дії апарата

Підставкою апарату служить металевий каркас, на якому розміщені трансформатор, перемикач ступенів зварювального струму. Трансформатор Т (рис. 7.15) виконаний підвищеним полем магнітного розсіювання з метою створення зовнішніх круто падаючих характеристик, необхідних для зварювання. Регулювання зварювального струму ступеневе, тому трансформатор має вторинну обмотку, що складається з двох котушок, одна з яких основна. Вона знаходиться разом із первинною обмоткою на спільному стержні, а друга (додаткова) – окремо на іншому стержні. Отже, кожна з котушок вторинної обмотки має різний магнітний зв'язок із первинною обмоткою. Перемикач ступенів зварювального струму підключає різноманітні кількість витків котушок вторинної обмотки залежно від положення перемикача. Від з'єднання витків залежить загальний коефіцієнт магнітного зв'язку, а тому і нахил зовнішніх характеристик та зварювальний струм.

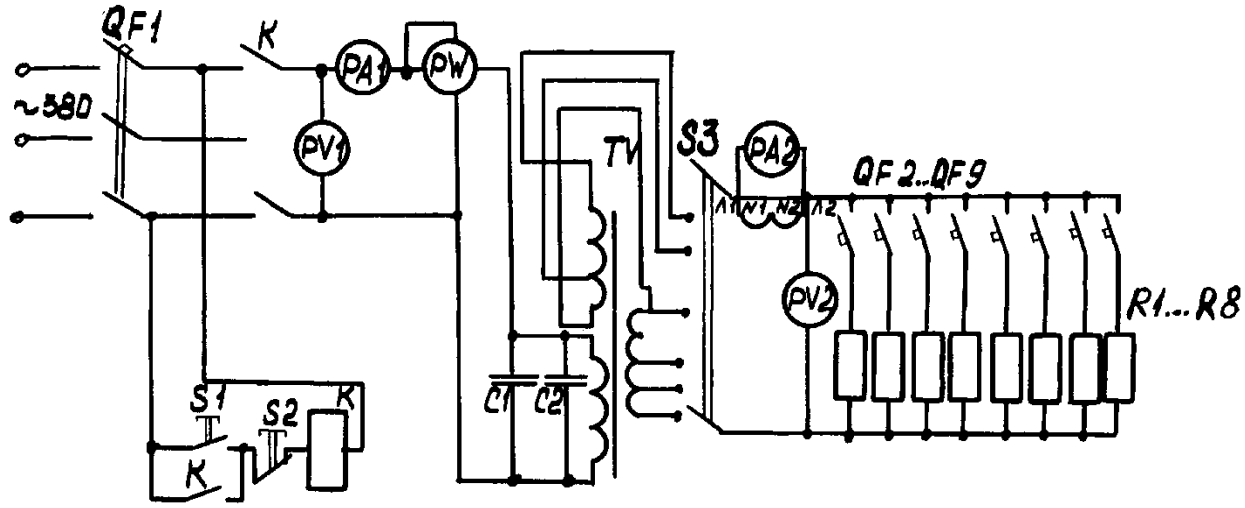


Рисунок 7.15 – Схема лабораторної установки

7. Контрольні запитання

7.1 Хто і коли відкрив явище електричної дуги?

7.2 Основні історичні відомості використання явища електричної дуги.

7.3 Коли і з якою метою почалося практичне застосування тепла від електричної дуги?

7.4 Поясніть фізичну природу дугового електрозварювання?

7.5 Які існують види електрозварювання і у чому полягає їх принципова відмінність?

7.6 Перерахуйте основні переваги і недоліки зварювальних апаратів на змінному і постійному струму.

7.7 Що таке пряма і обернена полярність? Особливості застосування.

7.8 Зазначте вимоги, викладені до пристроїв зварювальних агрегатів та їх джерел живлення.

7.9 Поясніть призначення зварювального трансформатору і його будову.

7.10 Якими засобами можна регулювати зварювальний струм?

7.11 Що називається зовнішньою характеристикою зварювального трансформатору?

7.12 Для чого електроди покривають обмазкою і які види обмазок існують?

7.13 Чому зовнішня характеристика повинна бути спадною?

7.14 Яке призначення конденсаторів у первинній обмотці трансформаторів.

7.15 Як здійснюється запалювання дуги?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8
ВИВЧЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТНИХ ВОДОНАГРІВАЧІВ

Мета роботи

Вивчити конструкцію водонагрівачів, схеми електричні принципові, отримати навички щодо їх експлуатації.

1. Програма роботи

1.1 Вивчити призначення, будову, принцип дії та область застосування водонагрівачів.

1.2 Скласти ескіз ємкісного і проточного водонагрівачів.

1.3 Вивчити схеми електричні принципові керування водонагрівачами ВЕП-600, ЕПВ-2А, УАП-400, САОС-400.

1.4 Накреслити схеми електричні принципові.

1.5 Провести дослідження динамічних властивостей та енергетичних показників елементного водонагрівача.

2. Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи

2.1 Пункти 1.1–1.4 виконати під час підготовки до лабораторної роботи.

2.2 Приготуватися до відповіді на контрольні запитання.

3. Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити будову водонагрівачів, станції керування і захисту на робочому місці, вивчити інструкцію з монтажу та експлуатації елементних водонагрівачів.

3.2 Дослідити енергетичні показники і динаміку нагрівання водонагрівача відповідно до п. 5.

4. Зміст звіту

4.1 Схеми електричні принципові.

4.2 Рівняння нагрівання водонагрівача.

4.4 Графіки зміни потужності і ККД як функції часу і температури.

5. Методика виконання роботи

Для виконання дослідів необхідно вивчити апаратуру та контрольно-вимірювальні прилади, після дозволу викладача або лаборанта включити установку і провести дослідження. Протягом процесу нагрівання води необхідно знімати покази приладів і заносити їх до табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Результати дослідження елементного водонагрівача

Виміряно							Розраховано				
τ, с	V, $м^3$	U, В	t, °С	I_1, А	I_2, А	I_3, А	$I_{сер}$, А	P, кВт	η	$А_{пит}$, кВт·год/ ($м^3$°С)	S, грн/ ($м^3$·°С)

У табл. 8.1 позначено:

τ – тривалість нагрівання води, с;

V – місткість бака, $м^3$;

U – фазна напруга мережі, В;

I_1, I_2, I_3 – фазні струми, А;

Середнє значення сили струму, А

$$I_{сер} = (I_1+I_2+I_3)/3. \quad (8.1)$$

Потужність нагрівача, кВт

$$P = 3\cdot10^{-3}\cdot U\cdot I_{сер}. \quad (8.2)$$

Коефіцієнт корисної дії нагрівача (тепловий)

$$\eta = V\cdot\rho\cdot C_p\cdot(t_к-t_п)/(\tau\cdot P), \quad (8.3)$$

де ρ – густина води, кг/м^3; задатися ρ = 1000 кг/м^3;

$C_р$ – теплоємкість води, кДж/(кг °С); задатися ρ = 4,186 кДж/(кг °С);

$t_к$, $t_п$ – відповідно кінцева і початкова температура води, °С.

Питома витрата електроенергії, кВт·год/(м^3°С)

$$A_{пит} = P \cdot \tau / [3600 \cdot V \cdot (t_к - t_п)], \quad (8.4)$$

Вартість нагрівання 1 м^3 води на 1°С, грн/ (м^3·°С)

$$S = A_{пит} \cdot S_{ел}, \quad (8.5)$$

де $S_{ел}$ – вартість 1 кВт·год електроенергії, грн; задатися $S_{ел}$ = 4,32 грн/(кВт·год).

6. Пояснення до роботи

Досліджуваний водонагрівач складається з металевого резервуару зі сферичним днищем, прошарку теплової ізоляції, металевого кожуха, нагрівальних елементів (ТЕНів), температурного реле, трубопроводів гарячої і холодної води.

Застосування у водонагрівачах непрямого нагрівання трубчастих нагрівальних елементів із керамічними наповнювачами дозволяє створювати конструктивно прості, раціональні і електробезпечні апарати.

Холодна вода подається у нижню частину резервуару, а гаряча збирається через верхній патрубок.

Нагрівальний пристрій складається з 6 трубчастих елементів, які з’єднані у «зірку» по два елементи на фазу. Потужність нагрівача – 12 кВт.

7. Контрольні запитання

7.1 Які основні переваги має непрямий (елементний) засіб нагрівання?

7.2 Якими засобами здійснюється передача тепла від нагрівальних елементів?

7.3 В яких галузях сільськогосподарського виробництва використовуються елементні нагрівальні пристрої?

7.4 Які основні властивості повинні мати матеріали, які використовуються для виготовлення нагрівальних елементів?

7.5 З яких матеріалів виготовляються нагрівальні елементи?

7.6 Як класифікуються елементні нагрівачі за конструктивним виконанням?

7.7 Які переваги мають герметичні нагрівальні елементи?

7.8 Будова трубчастих нагрівальних елементів (ТЕНів)?

7.9 Які вихідні дані необхідно мати для розрахунку нагрівальних пристроїв?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9
ВИВЧЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

Мета роботи

Вивчити будову та принцип дії парокомпресійної та абсорбційної холодильних установок, дослідити їх енергетичні показники.

1 Програма роботи

1.1 Вивчити конструкції обох типів холодильних установок.

1.2 Вивчити принцип дії обох типів холодильних установок.

1.3 Зібрати електричну схему підключення обох типів холодильних установок.

1.4 Дослідити енергетичні показники (COP і $\cos\varphi$) обох типів холодильних установок та зробити висновки.

2 Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи

2.1 Пункти 1.1 і 1.2 виконати вдома.

2.2 Підготуватися до відповідей на контрольні запитання.

3 Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Користуючись рекомендованою літературою і додатком до роботи, вивчити будову, призначення і технічні дані холодильних установок.

3.2 Зобразити ескізи технологічних схем холодильних установок парокомпресійного і абсорбційного типів.

3.3 Записати технічні характеристики обох холодильних установок.

3.4 Пусті однакові ємності для води попередньо поставити у обидві холодильні установки.

3.5 Одночасно включити обидві холодильні установки у електричну мережу і дочекатися виходу їх на робочий режим, про що буде свідчити спрацювання температурного реле (вимикання компресора для парокомпресійної холодильної

установки або повне відключення електроспоживання за ватметром для абсорбційної).

3.6 Дістати обидві охолоджені ємності з холодильників, набрати у них однаковий об’єм води, виміряти початкову температуру води.

3.7 Одночасно поставити ємності з водою у холодильні камери парокомпресійного і абсорбційного холодильників.

3.8 Виконати дослідження роботи обох холодильників: зачекати деякий час, наприклад 20 хв, і одночасно дістати ємності з водою з холодильників та одразу виміряти її температуру.

3.9 Результати досліджень занести до табл. 5.1.

4 Зміст звіту

4.1 Технічні характеристики холодильних установок.

4.2 Технологічна схема парокомпресійної холодильної установки.

4.3 Технологічна схема абсорбційної холодильної установки.

4.4 Таблиця експериментальних та розрахункових даних.

4.5 Висновки за результатами досліджень.

5 Методика виконання роботи

Для зняття енергетичних показників побутових холодильних установок необхідно зібрати схему вмикання холодильної установки у мережу. Результати дослідів заносяться до табл. 9.1. Після зняття дослідних даних проводиться визначення розрахункових показників.

Умовні позначення у табл. 9.1:

M – маса води, що охолоджується, кг;

P – потужність, що споживає компресор холодильної установки, кВт;

U – напруга, В;

I – струм, що споживає компресор холодильної установки, А;

τ – тривалість процесу охолодження, с;

$t_п$ – початкова температура води, °С;

$t_к$ – кінцева температура води °С;

cosφ – Коефіцієнт потужності двигуна компресора

Q_0 – холодопродуктивність холодильної установки, кВт;

COP – коефіцієнт термотрансформації (холодильний коефіцієнт);

ПКХМ – парокомпресійна холодильна машина;

АБХМ – абсорбційна холодильна машина.

Таблиця 9.1 – Результати дослідження роботи побутових холодильних установок

Тип холодильної установки	Дані досліду							Дані розрахунку			
	V, л	P, кВт	U, В	I, А	$t_п$, °C	$t_к$, °C	τ, с	M, кг	cosφ	Q_0, кВт	COP
ПКХМ											
АБХМ											

Маса охолоджуваної води, кг

$$M = \rho \cdot V \cdot 10^{-3}, \quad (9.1)$$

де ρ – густина води; задаються ρ = 1000 кг/м^3;

V – об’єм води, л.

Коефіцієнт потужності двигуна компресора

$$\cos\varphi = P \cdot 10^3 / (U \cdot I). \quad (9.2)$$

Холодопродуктивність холодильної установки, кВт

$$Q_0 = M \cdot C_р \cdot (t_п - t_к) / \tau, \quad (9.3)$$

де $C_р$ – теплоємність води, $\frac{кДж}{кг \cdot \ ^\circ C}$; задатися $C_р = 4{,}196 \ \frac{кДж}{кг \cdot \ ^\circ C}$.

Коефіцієнт термотрансформації (холодильний коефіцієнт)

$$COP = Q_0 / P. \tag{9.4}$$

6 Пояснення до роботи

Штучний холод став одним з головних показників рівня технічного і культурного розвитку будь-якої країни. Сучасний етап розвитку холодильної промисловості характеризується найширшим використанням холоду в усіх галузях народного господарства. По суті, немає таких галузей, де б холод не застосовувався. Особливого поширення він набув у харчових галузях промисловості, хімії, охороні здоров'я, сільському господарстві, машинобудуванні, будівництві. Цілеспрямована зміна властивостей неорганічних і органічних речовин при зниженні температури (металів, гуми, пластмас, мастил, води, клітин, мікроорганізмів та ін.) дозволила розширити діапазон застосування, використання, роботи, зберігання, терміну служ-би продукції всіх галузей, тобто привело до створення холодильних технологій. Особливо важливим є розвиток холодильних технологій у харчовій промисловості і сільському господарстві. Сьогодні у світі щороку втрачається 20–30 % усіх вироблюваних продуктів харчування (близько мільярда тон), а голодують 900 млн осіб. З цієї кількості не менше 50 % – швидкопсувні продукти, зберігати які можна лише за допомогою консервації.

Існують різні промислові способи консервації харчових продуктів (ХП), наприклад, пастеризація, стерилізація, консервація, теплове сушіння, сублімаційне сушіння, низькотемпературна холодильна обробка та ін. Низькотемпературний спосіб є найбільш універсальним та ефективним з точки зору збереження якості ХП і витрати енергії. Він приводить до мінімальної зміни поживної цінності ХП, маси і органолептичних показників (смаку, аромату, кольору).

Витрата енергії на заморожування менша у 1,3 рази порівняно з пастеризацією, у 2,35 рази порівняно зі стерилізацією і у 6,6 рази порівняно з сушінням.

Холодильна обробка ХП має величезне значення для забезпечення продовольчої безпеки держави, тобто її здатності забезпечити фізичну і економічну доступність ХП для усіх громадян, гарантовану власним виробництвом продуктів (не менше 85 % внутрішнього споживання) і наявністю резервів.

За допомогою холодильних технологій вирішуються два види завдань: збереження властивостей ХП і отримання ХП із новими властивостями (морозиво, цукерки, глазуровані шоколадом, та ін.).

6.1 Основна термінологія і визначення

Поняття «**холод**» пов'язане оціночним розумінням та визначається поняттям «низька температура» оточуючого середовища. Власне поняття «холод» не має безпосереднього фізичного визначення. Низькою називають температуру, яка чисельно (за результатами вимірювань термометром) менша ніж температура довкілля.

Разом з тим, суб'єктивно людиною можуть спостерігатися стани, коли за умови високої вологості та при температурі, що дорівнює або навіть перевищує температуру довкілля, а також за підвищених швидкостей руху середовища (наприклад, повітря), у неї буде суб'єктивне відчуття «холоду». Однак такий стан у теплофізиці не відносять до поняття «холод».

Розрізняють поняття «**холодильний цикл**» – графічний опис термодинамічних процесів, що відбуваються послідовно та забезпечують реалізацію принципу перенесення тепла з низькотемпературного рівня на високотемпературний, при чому корисне теплове навантаження прикладається на низькотемпературному рівні (нижче рівня температури довкілля). Тепло, що відводиться на високотемпературному рівні, викидається у довкілля. Для реалізації цього циклу необхідно витратити зовнішню роботу – здійснити компенсуючий термодинамічний процес.

Еталонним холодильним циклом вважається обернений цикл Карно, який складається з чотирьох послідовних термодинамічних процесів: адіабатного (без теплообміну з довкіллям) стиснення, ізотермічного (при сталій температурі) відведення тепла на високотемпературному рівні, адіабатного розширення і ізотермічного підведення тепла на низькотемпературному рівні.

Послідовно з'єднані елементи, що забезпечують реалізацію холодильного циклу, які вважаються основними, називають **холодильною машиною**. Вони різні для кожного типу холодильної машини. Наприклад, для парокомпресійної холодильної машини до основних елементів відносять компресор, конденсатор, дросельний вентиль і випарник. Фактично це більш теоретичне поняття.

Якщо холодильну машину доповнити допоміжними пристроями, наприклад, фільтрами-осушувачами, ресиверами, насосами, вентиляторами, засобами автоматичного керування тощо, тоді її називають **холодильною установкою**. Допоміжні пристрої забезпечують тривалу роботу холодильної машини у реальних умовах експлуатації.

Холодильна установка встановлюється у деякому об'ємі, що включає термоізольований контур – **холодильну камеру**, а також корпус (каркас), де розміщується все інше обладнання. Сукупна назва такого об'єкту – **холодильник**. Якщо хочуть підкреслити, що у холодильній камері підтримується низька (нижче 0 °С) температура, тоді кажуть, що це **морозильник**, а його камеру називають **морозильною камерою**.

Якщо холодильник має лише високо- низькотемпературну холодильну камеру, тоді його називають **однокамерним**, якщо у одному корпусі розміщені дві камери (холодильна і морозильна), тоді його називають **двокамерним**.

Якщо для забезпечення роботи двокамерного холодильника використовують одну холодильну установку, тоді таке виконання називають **одноагрегатним**. Якщо для кожної камери використовують окрему холодильну установку, що розміщені у спільному корпусі, тоді таке виконання називають **двоагрегатним**.

Під словом «**агрегат**» розуміють сукупність фізичних (реальних) елементів, що утворюють холодильної машини. Також слово «**агрегатований**» вказує, що схема доповнена деяким елементом.

Середовище (хімічна речовина), що забезпечує реалізацію холодильного циклу, називається **робочим тілом** або **холодильним агентом**. Як холодильні агенти використовують штучно синтезовані речовини – **фреони** (наприклад, гідрохлорфторвуглеводні) або **натуральні** (природні) **холодильні агенти** (наприклад, вуглеводі, повітря, воду, аміак, діоксид вуглецю). Незалежно від походження їх позначають буквою R та відповідним цифровим індексом, за яким можна визначити, яка саме це речовина (або суміш цих речовин).

6.2 Класифікація

Класифікація холодильних машин, як різновиду **термотрансформаторів**, є досить різноманітною. З метою покращення її сприйняття подано графічно на рис. 9.1.

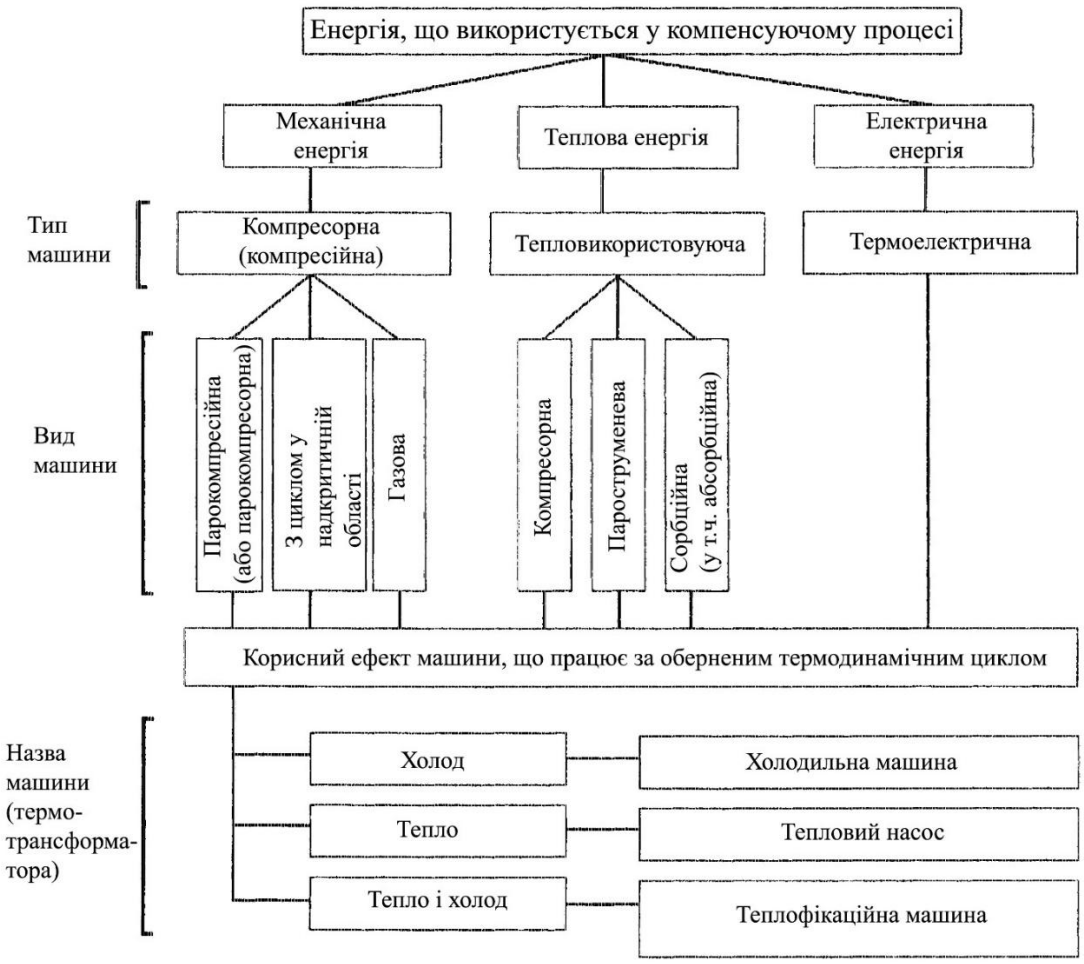


Рисунок 9.1 – Класифікація термотрансформаторів

Побутові холодильники виготовляють переважно двох типів: парокомпресійні (переважна більшість, оцінно для побутових виконань не менше 95 % від загальної кількості) та абсорбційні.

Доповнення. Теплові насоси також належать до термотрансформаторів, а їх холодильний цикл може бути визначений аналогічно наведеному вище для холодильних машин. Основна відмінність теплового насосу від холодильної машини полягає у температурному рівні, на якому здійснюється корисне перенесення тепла та подальше його використання. У даному випадку це високотемпературний рівень. Теплові насоси використовуються для опалення, нагрівання різноманітних середовищ за рахунок відбирання тепла з довкілля. При цьому також здійснюється компенсуючий термодинамічний процес.

6.3 Призначення побутових холодильних установок

Побутові холодильні установки (холодильники) призначені для короткочасного збереження швидкопсувних харчових продуктів в охолодженому стані. Температура, при якій зберігаються продукти в холодильній камері, складає +2…+8 °С залежно від налаштувань терморегулятора. Крім того, побутові холодильники часто мають дві температурні зони. Окрім холодильного відділення, вони також мають морозильне відділення, де підтримується температура –6…–24 °С. Однак переважна більшість побутових холодильників у цьому відділі не має налаштувань температури, а її величина у морозильній камері встановлена заводом-виробником на рівні –18 °С. Кожен рівень температури підтримується власним дросельним пристроєм, який за рахунок зниження тиску холодильного агенту до певного рівня забезпечує її підтримання на більш низькому значенні температури.

6.4 Конструкція побутових холодильних установок

Переважно побутові холодильники мають один компресор і два дроселюючі пристрої (або як їх ще називають терморегулюючі пристрої) встановлені один за одним. Це забезпечує підтримання температури на двох рівнях, необхідних для

підтримання температури у холодильній і морозильній камерах. Така конструкція призводить до значного здешевлення, однак не дозволяє оремо регулювати температури у цих камерах, відключати (за необхідності) одну з камер, а у випадку виходу з ладу будь-якої з ланок холодильної установки одразу всі камери перестають працювати. Щоб подолати ці недоліки двокамерні побутові холодильники обладнують двома незалежними холодильними контурами, що мають окремі компресори.

Холодильники випускаються у виді суцільнометалевих шаф, покритих білою емаллю. Окремі частини холодильників хромовані. Усередині шафи розташована холодильна камера, випарник, лотки і посудини для складання продуктів. Холодильна шафа щільно закривається дверима з гумовим ущільнювачем.

Між внутрішніми стінками шафи, дверей і зовнішніми металевими стінками корпусу прокладений теплоізоляційний матеріал, що перешкоджає проникненню тепла у холодильну камеру з довкілля. Для теплоізоляції застосовують синтетичні матеріали на основі спіненого пінополіуретану, пінополістиролу, або мінеральної вати.

6.5 Парокомпресійна холодильна установка

У парокомпресійних холодильних установках для одержання холоду використовують холодильні агрегати компресійного типу. Принципова технологічна схема парокомпресійного холодильного агрегату побутової холодильної установки зображена на рис. 9.2.

Основним вузлом агрегату є герметичний компресор 1 (як правило одноциліндровий поршневий або спіральний) з вбудованим у спільному корпусі електродвигуном. З метою компенсації вібрації корпус та зменшення шуму при роботі компресора він встановлюється на рамі на пружинах або гумових демпфуючих. Як правило у побутових виконаннях компресор розміщують у задній нижній частині корпусу холодильної установки. Усередині по периметру холодильної камери розміщують випарник, а зовні, як правило, на задній стінці (значно рідше – на бічних стінках при закритому виконанні) розміщують

трубчастий конденсатор, який при зовнішньому виконанні часто має оребрення, що покращує процес тепловіддачі.

Розглянемо принцип дії холодильної установки. Пари фреону, проходячи всмоктувальну лінію 6, всмоктуються компресором 1 із випарника 4, стискаються і нагнітаються через нагнітальну лінію 2 у конденсатор 3. Там вони охолоджуються і конденсуються. Рідкий фреон у капілярній (як правило зігнутій по спіралі) дуже тонкій трубці (або дросельному вентилі) дроселюються зі зменшенням тиску від тиску конденсації до тиску кипіння у випарнику та надходить у випарник 4, де за рахунок поглинання тепла від охолоджуваних середовищ фреон кипить, утворюючи пару. Далі вона відкачуються компресором і цикл повторюється.

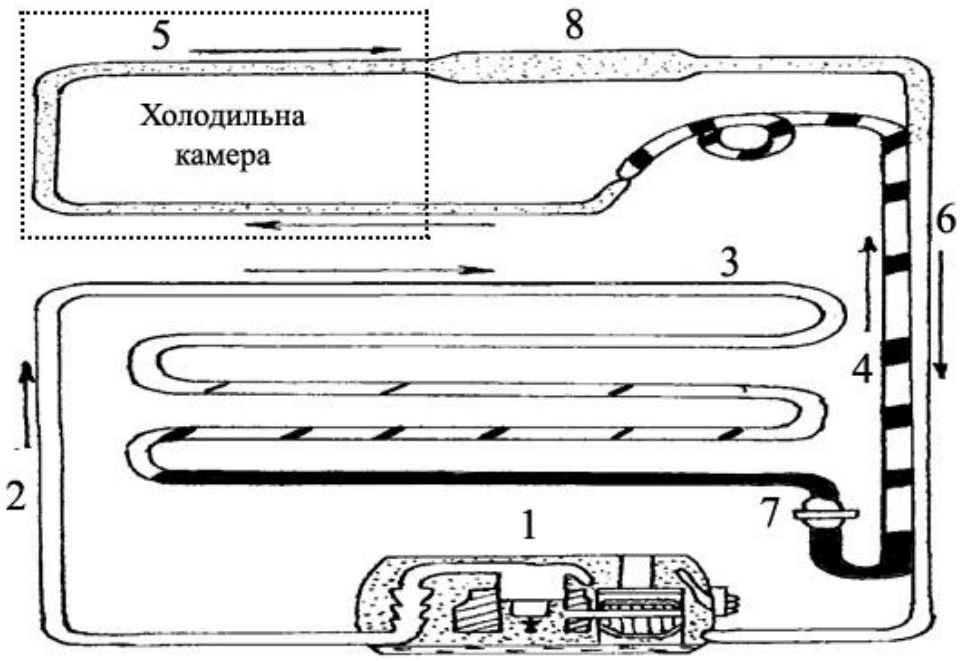


Рисунок 9.2 – Принципова технологічна схема парокомпресійного холодильного агрегату побутової холодильної установки

На рис. 9.2 зображено: 1 – компресор; 2 – нагнітальна лінія компресора; 3 – конденсатор (у даному випадку повітряний); 4 – капілярна трубка (дросельний вентиль); 5 – випарник (у даному випадку повітроохолоджувач); 6 – всмоктувальна лінія компресора; 7 – фільтр-осушувач (допоміжний елемент); 7 – ресивер низького тиску (сухопарник, допоміжний елемент);

Для забезпечення захисту від потрапляння у зони дроселювання і випарника речовин, що можу замерзнути, перекривши прохід холодильного агенту, або погіршити тепловіддачу у випарнику за рахунок утворення на його внутрішній поверхні шару мастила, як допоміжний елемент може бути встановлений фільтр-осушувач 7.

Між випарником 4 і всмоктувальною лінією компресора 6 інколи можуть встановлювати ресивери низького тиску 5, щоб мінімально перегріти пару при її розширенні та запобігти потраплянню рідкого холодильного агенту у компресор 1, або шумопоглиначі з метою зменшення шуму від руху холодильного агенту (робочого тіла) у трубках.

Технічна характеристика парокомпресійної холодильної установки «КОДРИ»:

– об’єм холодильної камери:

– загальний – 160 дм^3;

– корисний – 150 дм^3;

– об’єм випарника –15 дм^3.

– температура в основному відділенні – 0…+5 °С;

– маса холодильної установки – 60 кг;

– холодильний агрегат – компресійний герметичний;

– холодильний агент – хладон-12 (R12);

– середньодобова витрата електроенергії:

а) при температурі довкілля 32 °С середня температура в шафі+5 °С, а температура у випарнику –12 °С – 1,5 кВт·год/добу;

б) при температурі навколишнього повітря 32°С середня температура у шафі +5°С, а температура у випарнику –6°С – 2,3 кВт·год/добу;

– напруга мережі – 230 В;

– номінальна потужність електродвигуна – 130 Вт.

6.6 Абсорбційна холодильна установка

Побутова холодильна установка призначена для зберігання у домашніх умовах харчових продуктів за рахунок штучного охолодження (у холодильній камері), приготування харчового льоду і збереження заморожених продуктів (у морозильній камері).

У холодильних установках абсорбційного типу холодильний апарат може бути абсорбційно-дифузної дії (безнасосне, побутове виконання). Насосною схему використовують у промислових абсорбційних холодильних установках. Для одержання холоду використовується не механічна енергія, як у парокомпресійних холодильних установках, а теплова (рис. 9.1). Холодильним агентом є аміак, а абсорбентом (речовиною, що поглинає (розчиняє) аміак) – вода. Крім конденсатора 2 і випарника 3, які виконують такі самі функції, що й у парокомпресійних агрегатах, технологічна схема абсорбційної холодильної установки побутового виконання (рис. 9.3) містить абсорбер 4, у якому пара аміаку поглинаються водою і генератор 1 (кип’ятильник), де аміак випарюється з водо-аміачного розчину електронагрівачем 5. У абсорбері, залученому до випарника, підтримується такий самий тиск, що і у випарнику. Тиск у генераторі близький до тиску у конденсаторі, тому що генератор безпосередньо підключений до конденсатора. Між абсорбером і генератором безупинно циркулює за допомогою спеціального насосу (на рис. 9.3 не зображений) міцний (тобто з високою концентрацією аміаку) водо-аміачний розчин. Задача цього насосу полягає не лише у забезпеченні процесу циркуляції робочого тіла між абсорбером і генератором, а й підтриманні двох діапазонів тисків: низького (абсорбер, випарник) та високого (генератор, конденсатор). На схемі рис. 9.3 також не зображено два дросельні вентилі. Це як правило нерегульовані пристрої, що забезпечують термодинамічний процес дроселювання, тобто розширення (зменшення тиску) рідини, пари або газу. Дросель, встановлений між генератором 1 і абсорбером 4, дозволяє зменшити тиск слабкого (низької концентрації за аміаком) розчину після генератора до тиску у абсорбері і при цьому забезпечується перетікання розчину з генератора у абсорбер.

Інший дросель, встановлений між конденсатором 2 і випарником 3 (на рис. 9.3 не зображений), забезпечує дроселювання (зниження тиску) аміаку та разом з тим знижується його температура. При цьому зі стану рідини аміак перетворюється на вологу насичену пару (рівноважна суміш рідини і насиченої пари).

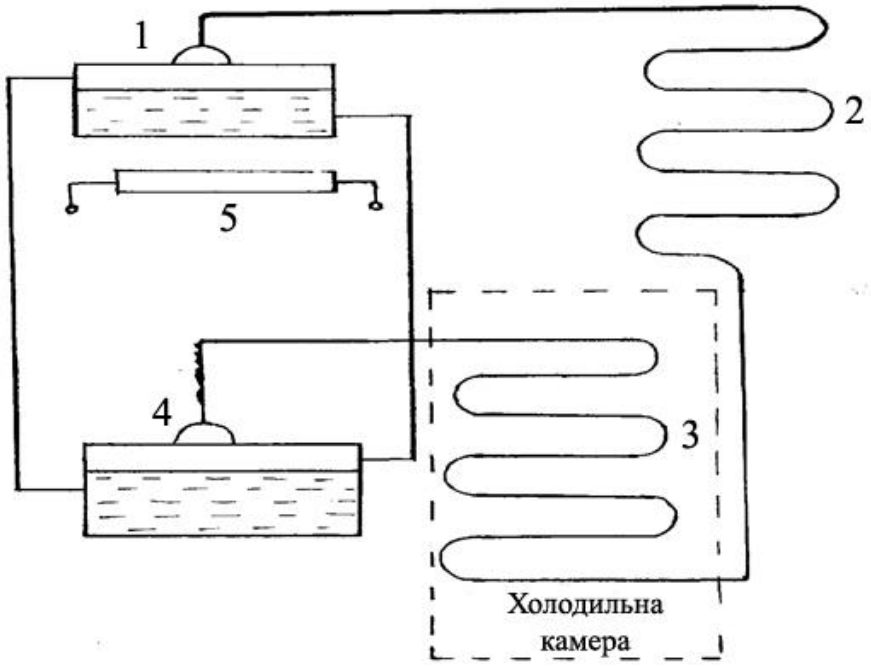


Рисунок 9.3 – Принципова технологічна схема холодильного агрегату побутової абсорбційної холодильної установки:
1 – генератор; 2 – конденсатор; 3 – випарник; 4 – абсорбер;
5 – електричний нагрівач (кип’ятильник)

Отже, в абсорбер 4 із генератора 1 надходить слабкий водо-аміачний розчин. Він поглинає пари аміаку, що надходять із випарника 3, і стає міцним. Міцний розчин насосом з абсорбера повертається до генератора, де за рахунок нагрівання кип’ятильником 5 з нього випаровується пара аміаку, що потім надходить до конденсатора 2. У ньому пара внаслідок охолодження повітрям довкілля конденсується. Рідкий аміак після конденсатора, проходячи через дросельний вентиль, надходить до випарника 3, де за рахунок підведення тепла від речовин або матеріалів, що охолоджуються у холодильній або морозильній камері, кипить у ньому. Отримана у випарнику пара під впливом розрідження, створеного у абсорбері, надходить до нього у нижню частину, барботується через

шар розчинника (води), при цьому інтенсивно поглинаються (розчиняється), утворює міцний водо-аміачний розчин. Далі цикл повторюється. Процес абсорбції аміаку у воді є екзотермічним, тобто під час абсорбції аміаку виділяється тепло. Спричинене цим нагрівання розчину сприяє гальмуванню процесу. З метою підтримання процесу (охолодження сприяє підвищенню кінцевої концентрації абсорбенту у розчиннику) у абсорбері здійснюють додаткове охолодження.

У побутових абсорбційних холодильниках циркуляція водо-аміачного розчину між абсорбером і генератором здійснюється без використання насосу, це абсорбційно-дифузійні агрегати. Циркуляція водо-аміачного розчину забезпечується термосифоном, завдяки тому, що розчин в абсорбері і генераторі знаходяться на різних рівнях.

Перевага абсорбційних холодильних установок полягає у тому, що вони не мають рухомих металевих частин і тому цілком безшумні та мають високу надійність і тривалий термін експлуатації, недолік порівняно з парокомпресійними холодильними установками – підвищені витрати електроенергії, у чому можна переконатися, розрахувавши коефіцієнт термотрансформації (більш рання назва – холодильний коефіцієнт). Для абсорбційних холодильних установок

Технічна характеристика абсорбційної холодильної установки «КРИСТАЛ -4»:

– загальний внутрішній об’єм – 120 дм^3 ;

– об’єм низькотемпературного відділення (морозильна камера) – 15 дм^3;

– середня температура повітря у незавантаженій охолоджуваними середовищами холодильній установці, при номінальній напрузі мережі, встановленні ручки терморегулятору на позначці «5» і температурі довкілля не вище +32 °С:

а) у основному (холодильному) відділенні – не вище +7 °С;

б) у низькотемпературному (морозильному) відділенні – не вище –6°С;

– середньодобова витрата електроенергії при температурі довкілля +25 °С – 1,6–2,0 кВт·год/добу;

– холодильний агент – аміак (R717);

– розчинник – вода;

– робоча речовина – водо-аміачний розчин;

– номінальна потужність – 117 Вт.

– маса холодильної установки – 60 кг.

7 Контрольні запитання

7.1 Назвіть і поясніть способи охолодження.

7.2 Поясніть будову і принцип дії парокомпресійної холодильної установки.

7.3 Поясніть будову і принцип дії абсорбційної холодильної установки.

7.4 Порівняйте особливості роботи, переваги і недоліки абсорбційних та компресійних холодильних установок.

7.5 Що відносять до основних характеристик холодильної установки?

7.6 Як оцінюють ефективність роботи холодильної установки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ФІЛЬТРА

Мета роботи

Вивчення конструкції і дослідження характеристик електричного фільтра та джерела його живлення.

1. Програма роботи

1.1 Вивчити конструкцію електричного фільтру.

1.2 Вивчити область застосування поля коронного розряду.

1.3 Вивчити область застосування електричних фільтрів.

1.4 Вивчити принцип роботи електричного фільтру.

1.5 Зняти вольт-амперну характеристику коронного розряду.

1.6 Розрахувати лінійну густину струму корони, повну потужність установки, $\cos\varphi$, η.

2. ***Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи***

2.1 Пункти 1.1–1.4 виконати до початку заняття.

2.2 Вивчити природу коронного розряду.

2.3 Вивчити характеристики корони.

2.4 Підготуватися до відповідей на контрольні запитання.

3. ***Вказівки щодо виконання лабораторної роботи***

3.1 Вивчити конструкцію електричного фільтру та джерела його живлення на робочому місці

3.2 Дослідити електричний фільтр відповідно до п. 5.

4 Зміст звіту

4.1 Накреслити схему для дослідження електрофільтру.

4.2 Подати у вигляді таблиці результати дослідження і графічну залежність лінійної густини струму корони від напруги.

5. Методика виконання роботи

Зміна напруги на фільтрі здійснюється автотрансформатором, починаючи з 1000 В до 10000 В. Вимірюються первинна напруга U_1, первинний струм I_1, первинна активна потужність P_1 та вторинний струм I_2.

Результати дослідів заносяться до табл. 10.1. Після зняття дослідних даних визначаються розрахункові величини.

Таблиця 10.1 – Результати дослідження електрофільтра

Виміряно				Розраховано					
Первинна напруга (U_1),В	Первинний струм (I_1), А	Первинна потужність (P_1), Вт	Вторинний струм (I_2), мА	Вторинна напруга (U_2),В	Вторинна потужність (P_2), Вт	Повна первинна потужність (S_1), ВА	$\cos\varphi$	Коефіцієнт корисної дії, η	Лінійна щільність току корони (і),мА/м

5.1 Методика обробки експериментальних даних

Вторинна напруга, В, розраховується за формулою:

$$U_2 = k \cdot U_1, \qquad (10.1)$$

де k – коефіцієнт трансформації (k =45).

Вторинна потужність, Вт

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot 10^3. \qquad (10.2)$$

Повна первинна потужність, ВА

$$S_1 = U_1 \cdot I_1. \qquad (10.3)$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos\varphi = P_1 / S_1. \qquad (10.4)$$

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = P_2 / P_1. \quad (10.5)$$

Лінійна густина струму корони

$$i = I_2 / h, \quad (10.6)$$

де h – довжина електроду, м.

6 Пояснення до роботи

6.1 Загальні відомості

Електричні фільтри є найбільш ефективними апаратами для очищення різноманітних газів від механічних домішок, таких як пил, дим і інші забруднювачі. Вони можуть мати ступінь очищення до 99,9 %.

За допомогою таких пристроїв з газів виділяються тверді та рідкі механічні домішки у широкому діапазоні розмірів (0,1–100 мкм) та електричних властивостей (питомий опір: 10^2–10^8 Ом м).

Суть процесу електростатичного очищення газів ґрунтується на іонізації газу, тобто розщепленні його молекул на позитивно і негативно заряджені іони. Запилені гази пропускають через неоднорідне електричне поле, яке утворюється між осаджувальним 2 і коронувальним 3 електродами (рис. 10.1). До електрода, розташованого в ізоляторі 4 підводиться випрямлений електричний струм при напрузі 30–60 кВ (промисловий варіант). Осаджувальний електрод звичайно заземлюють і підключають до позитивного полюсу випрямляча. Агрегат живлення складається з рубильника 9, запобіжників 8, регулятора напруги 7, перетворювача напруги 6 і випрямляча 5.

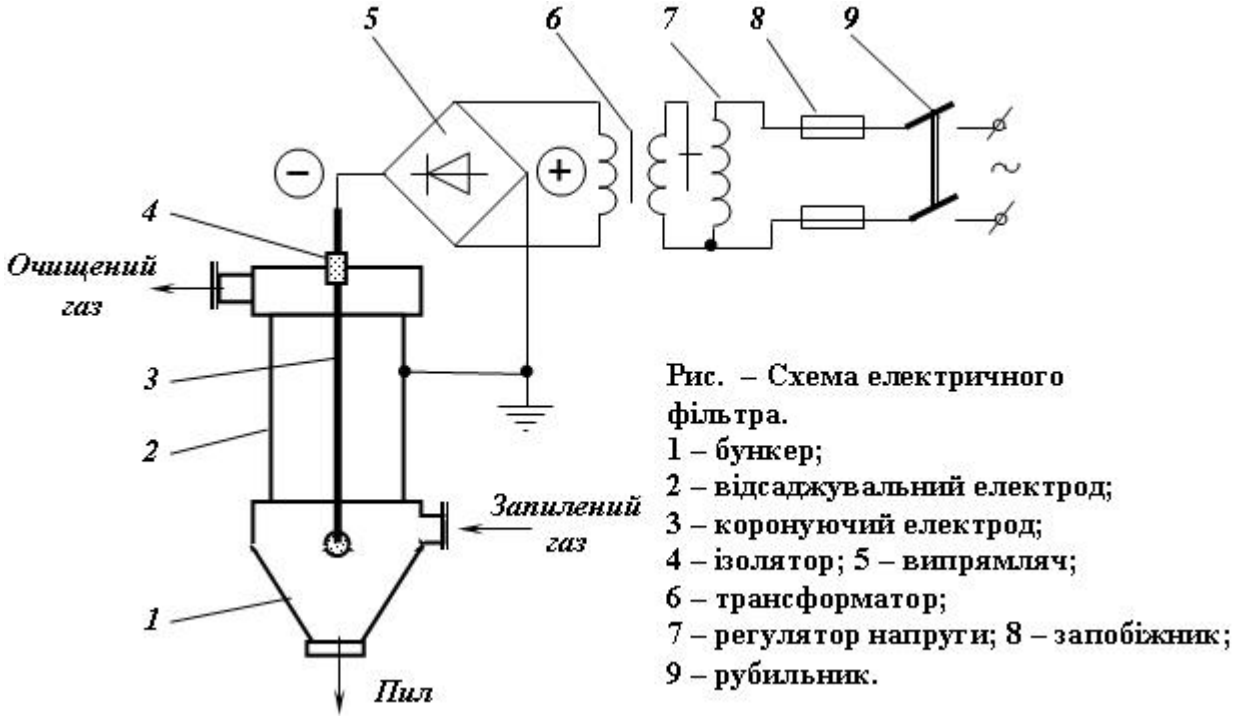


Рисунок 10.1 – Схема електричного фільтра

Процес ловлення пилу в електричному полі складається з таких підпроцесів:

1) зарядження завислих у газі частинок;

2) руху заряджених частинок до електродів;

3) осадження частинок на електродах і видалення частинок з електродів.

При великій різниці потенціалів швидкість руху, а значить і кінетична енергія іонів та електронів є значною, що спричиняє ударну іонізацію. При цьому спостерігається потріскування і слабке світіння газу (корона) навколо одного з електродів, який і отримав назву коронувального. Негативно заряджені іони і електрони, що утворюються при коронному розряді рухаються до протилежно зарядженого електрода, що отримав назву осаджувального.

При русі в запиленому газі чи тумані негативно заряджені іони заряджають пилинки, завдяки чому, останні також починають рухатись до осаджувального електрода. При контакті з осаджувальним електродом, частинки пилу (туману) віддають йому свій заряд і скидаються з електрода під дією власної ваги або при струшуванні.

Із збільшенням напруги вище за деяку критичну величину може статися електричний пробій з коротким замиканням електродів. Для уникнення цього в

електрофільтрах створюють неоднорідне електричне поле, напруження якого зменшується по мірі віддалення від коронувального електрода. У цьому випадку майже весь шар газу між короною і осаджувальним електродом відіграє роль ізоляції, яка запобігає іскровому розряду. Неоднорідність поля досягається шляхом конструктивного виконання електродів у вигляді провідників, розташованих по осі труб у трубчастому електрофільтрі або натягнутих між паралельними пластинами у пластинчастому електрофільтрі.

У полі коронного розряду частинки заряджаються дуже швидко – за 0,1–0,2 с. Рух заряджених частинок до електродів може спричинятися дією аеродинамічних сил, сили взаємодії електричного поля і заряду частинки, сили ваги і сили тиску електричного вітру. Інтенсивність осадження частинок на електродах залежить від електропровідності частинок і їхніх розмірів, швидкості руху газів в міжелектродному просторі, температури і вологості газів та інших факторів. Якщо пил не струмопровідним, то шар, який осів на електродах відштовхує однойменно заряджені частинки, що наближаються і при електричному напруженні у шарі, що перевищує критичне значення, біля осаджувального електрода з’являється світіння – зворотна корона. Це явище значно погіршує процес очищення газу.

Провідність пилу зазвичай збільшують шляхом зволоження гарячого газу перед входом його в електричний фільтр, не допускаючи, однак, зниження температури газу нижче за точку роси. Добре провідний пил миттєво віддає свій заряд і набуваючи заряду електрода, відштовхується від нього. Це також приводить до виносу газом частини пилу і зниженню ступеня очищення. А при дуже високій концентрації пилу чи туману більша частина іонів передає заряди пилинкам (крапелькам). В результаті різко знижується швидкість руху іонів, значить зменшується сила струму. При зниженні сили струму до нуля очищення повністю припиняється і настає так зване запирання корони.

При електричному очищенні газів коронувальний електрод має зазвичай негативний потенціал. Ефективність пиловловлення становить 50–80% при позитивно зарядженому коронувальному електроді і досягає 99,9%, якщо він заряджений негативно. При негативній полярності коронувального електрода

ступінь очищення газу є вищою, оскільки при цьому допустимою є вища напруга без виникнення іскрового розряду між електродами.

Як правило електрофільтри мають високу енергетичну ефективність, що оцінюється величиною ККД та знаходиться у діапазоні від 90% до 99 %, залежно від типу фільтра та умов експлуатації. Однак, ККД електрофільтра може бути нижчим ніж 90 % з кількох причин:

1) низька якість електродів: якщо електроди не мають належної якості або їхній стан погіршився, це може зменшити ефективність захоплення частинок;

2) висока вологість очищуваного середовища: волога в газах може знижувати ефективність електрофільтра, оскільки електричний розряд може стати менш ефективним;

3) забруднення електродів електрофільтру під час експлуатації: накопичення пилу або інших домішок на електродах може знижувати їх здатність ефективно захоплювати частки;

4) неправильне налаштування режимних (електричних) параметрів: якщо електрична напруга або інші параметри фільтра не оптимально налаштовані, тоді це може знизити ККД;

5) високий рівень забруднення очищуваного середовища: якщо початкова концентрація часток дуже висока, фільтр може не впоратися з ефективним їх захопленням.

Зі збільшенням напруги коронного розряду ККД електрофільтра може змінюватися. Переважно підвищення напруги може покращити здатність фільтра захоплювати дрібні частинки, що може призвести до підвищення ефективності фільтрації. Однак дуже висока напруга може призвести до неефективного захоплення часток або навіть до пошкодження обладнання. Тому оптимальна напруга повинна бути правильно налаштована для досягнення найвищого ККД.

Споживання електроенергії залежить від розрахункової продуктивності пристрою, що також визначає його розміри. Для промислових зразків як правило паспортна потужність складає від 1 кВт до кількох десятків тисяч кіловат.

За конструкцією електрофільтри аналогічні до електричних сепараторів з коронувальними електродами. Осаджувальні електроди електрофільтрів виконуються у вигляді заземлених металічних вертикальних труб або пластин, а коронувальні – у вигляді металічних стержнів, що установлюються всередині труб або між пластинами. Коронувальні і осаджувальні електроди монтуються в герметичних камерах, через яку в проміжках між електродами знизу угору проходить газопилова суміш.

За способом регенерації осаджувальних і коронувальних електродів електрофільтри бувають сухі та мокрі. В сухих електрофільтрах для видалення осадженого пилу використовують вібраційні, магніто-імпульсні, ударно-молоткові та ударно-пружинні системи струшування. В мокрих електрофільтрах для видалення пилу використовують промивання електродів необхідною кількістю рідини.

До переваг електрофільтрів відносять:

1) високу ефективність очищення: електрофільтри можуть дуже ефективно захоплювати дрібні частки, досягаючи ефективності до 99 %.

2) низьке енергоспоживання: вони споживають менше енергії порівняно з іншими методами очищення повітря (0,1–0,3 кВт·год/(1000 м^3/год)).

3) безхімічний процес: очищення відбувається без використання токсичних, отруйних чи інших шкідливих хімічних речовин;

4) можливість обробки великих об’ємів газів: електрофільтри застосовують переважно у промисловості.

До недоліків електрофільтрів відносять:

1) високі початкові (капітальні) витрати: велика вартість установки;

2) низька компактність (велика громіздкість) обладнання;

3) необхідність регулярного технічного обслуговування для підтримання ефективності очищення та електроспоживання;

4) чутливість до вологих частинок: електрофільтри менш ефективні для очищення у середовищах, що містять вологі або липкі частинки.

Зовнішній вигляд промислових електрофільтрів подано на рис. 10.2.

Рисунок 10.2 – Зовнішній вигляд промислових електрофільтрів

Лабораторна установка складається з джерела живлення, вимірювальних приладів і макета електричного фільтра (рис. 10.3).

Джерело живлення містить у собі автотрансформатор TV1, високовольтний трансформатор TV2 з коефіцієнтом трансформації k=45 і активним опором вторинної обмотки 100 кОм, однонапівперіодний випрямлювач VD1 і високовольтні проводи. У ланцюг електрода, що коронує включений мікроамперметр pA2. Первинну напругу вимірюють вольтметром

pV1, первинний струм амперметром pA1, первинну активну потужність ватметром pW1, що входять до комплекту приладів.

Довжина електрода h=0,36 м.

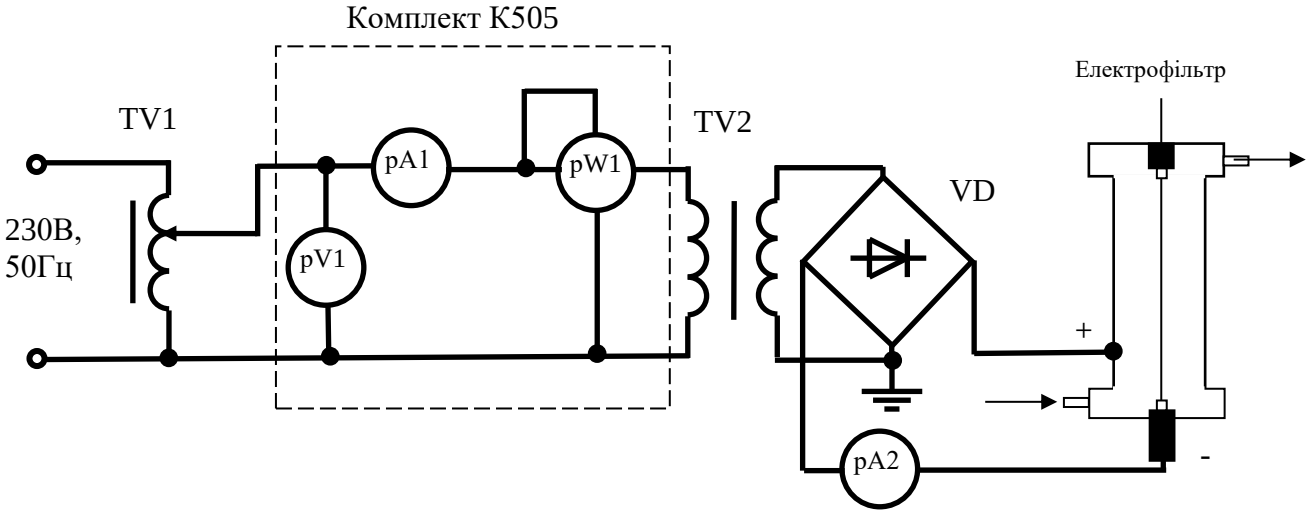


Рисунок 10.3 – Схема для дослідження електричного фільтру

7 Контрольні запитання

7.1 Яке призначення електричних фільтрів?

7.2 Який принцип дії та конструкція електричного фільтра?

7.3 Чому характер вольт-амперної характеристики нелінійний?

7.4 Що таке лінійна густина струму корони?

7.5 Чому ККД установки низький?

7.6 В яких технологічних процесах застосовується коронний розряд?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Мета роботи

Вивчення конструкції і дослідження характеристик електричних перетворювачів.

1. Програма роботи

Вивчити теоретичні частину щодо п’єзоефекту та його використання у техніці, проаналізувати результати досліджень та зробити висновки.

2. Вказівки до лабораторної роботи

2.1 Вивчити природу електричного ефекту.

2.2 Вивчити типи п’єзоелектричних перетворювачів, принцип їх дії та область застосування тощо.

3. Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Розглянути схему вимірювання резонансної частоти електричного перетворювача.

3.2 Проаналізувати резонансну частоту електричного п’єзоперетворювача за максимальною напругою.

4. Зміст звіту

4.1 Зобразити результати досліджень та подати його аналіз.

4.2 Надати розгорнуті відповіді на два будь-які контрольні запитання.

4.3 Зробити висновки з роботи.

5. Методика виконання роботи

Лабораторна установка складається з генератора ГЗ-56/І, електричного перетворювача, цифрового вимірювача ємності Е8-4.

Діапазон частот генератора ГЗ-56/І – 0–250 кГц, напруга змінюється в межах 0–63 В.

Визначення резонансної частоти здійснюється за максимумом споживаного струму, при якому величина вихідної напруги генератора ГЗ-56/І буде мати умовний мінімум.

Схема лабораторної установки подана на рис. 11.1.

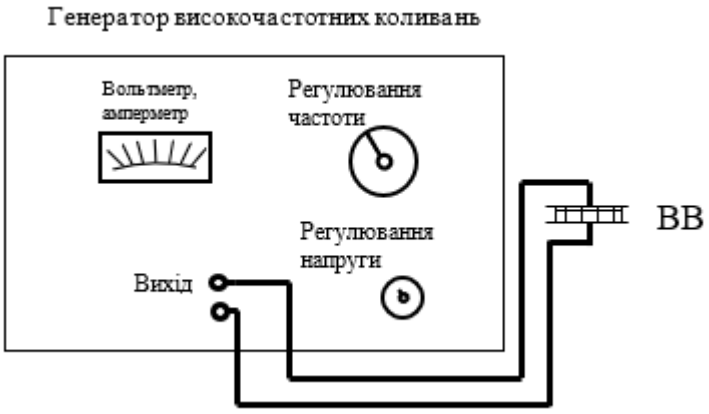


Рисунок 11.1 – Схема вимірювання резонансної частоти п’єзоелектричного перетворювача

Треба відмітити, що п’єзоелектричний перетворювач має декілька резонансних частот, тому для визначення основної резонансної частоти доцільно побудувати графік залежності повного опору від частоти.

Частота змінюється за допомогою ручки «Регулювання частоти». Частота змінюється у межах 20–250 кГц.

Принцип дії п’єзогенератора заснований на перетворенні енергії коливань в електричну енергію для живлення малопотужного електронного пристрою. Електричну схему для такого генератора наведено на рис. 11.2.

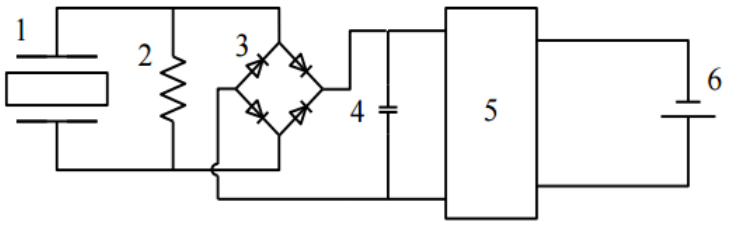


Рисунок 11.2 – Електрична принципова схема п’єзоперетворювача:
1 – біморфний п’єзоперетворювач; 2 – резистор; 3 – випрямляч;
4 – накопичувальний конденсатор; 5 – схема; 6 – акумулюючий пристрій

Біморфний п’єзоперетворювач 1 на опорі закріплюється до елементу, що вібрує (це може бути, наприклад підлога в метрополітені, дорожнє покриття чи залізнична колія). У цьому випадку перетворювач може коливатися на частоті основного резонансу вигину під дією зовнішньої збуджуючої сили *F*. Амплітуда змінної напруги на виході перетворювача у такому випадку максимальна.

Необхідно зазначити, що перетворювач може коливатися на частоті вібруючого елементу, і вона може не співпадати з частотою резонансу перетворювача – у цьому випадку на виході перетворювача створюється менша напруга.

При вібрації, за принципами прямого п’єзоефекту, на виході перетворювача виникає змінна напруга, яка надходить на резистор 2, а потім на випрямляч 3.

Після цього електричний заряд накопичується у конденсаторі 4, потім він переміщується на схему 5, що має функції керування зарядом акумулятора 6.

Отже, можна використовувати енергію вібрації різноманітних об’єктів.

Застосовуючи схему, рис. 11.2, можна:

– використовувати не враховану енергію вібрацій для отримання електричної енергії;

– збільшувати потужність п’єзоелектричного генератора;

– зберігати електричну енергію або виробляти.

6 Пояснення до роботи і теоретичні відомості

П’єзоелектричний ефект полягає у виникненні на поверхні деяких матеріалів електричних зарядів при їх деформації (прямий ефект) і навпаки виникнення пружних деформацій у цих матеріалах в електричному полі (обернений ефект).

Ця властивість дає можливість використовувати такі матеріали як електромеханічні перетворювачі для одержання високочастотних акустичних коливань – ультразвуку, який здебільшого неможливо отримати іншими перетворювачами, що пов’язано з габаритами, а тому і резонансними властивостями випромінювачів (для отримання високочастотних акустичних

коливань розміри випромінювачів повинні бути дуже малі). Обернений п’єзоефект може використовуватися для прийому механічних (акустичних) коливань.

Як п’єзоелектричні матеріали використовують як природні речовини (п’єзокристалічний кварц, ніобат літію та ін., так і штучні – в основному це п’єзокераміка ЦТС (цирконат-титанат свинцю) та ТБ (титанат барію).

Конструктивно п’єзоелектричні перетворювачі є пластинами різної форми, поверхня яких покрита тонким шаром металу. Крім пластинчатих перетворювачів виготовляють циліндричні та сферичні.

З точки зору електрики п’єзоперетворювачі характеризуються статичною та динамічною ємностями.

Під час своєю роботи на навантаження (випромінювання акустичних хвиль), особливо на резонансній частоті, перетворювач споживає активну потужність, тобто він має активну складову повного опору. Величина цієї складової залежить від частоти та акустичних властивостей того середовища, в яке випромінюються хвилі (механічний опір навантаження).

Під час роботи частина споживаної енергії втрачається у перетворювачі при його переполяризації. Ці втрати характеризуються тангенсом кута діелектричних втрат. При збудженні акустичних хвиль частина їх механічної енергії також розсіюється у перетворювачі. Ці втрати обумовлюють енергетичні показники перетворювача. Сучасні матеріали, що застосовуються у перетворювачах дозволяють досягнути досить великих значень ККД (понад 70 %).

6.1 Загальні відомості про п’єзоелектричний ефект

Термін «п’єзоелектрика» походить від грецького слова «п’єзо», що позначає стиснення.

П’єзоелектричний ефект був відкритий в 1880 р. Джексом і П’єром Кюрі. Вони помітили, що у деяких кристалах при механічному впливі на них з’являється електрична поляризація, причому ступінь її пропорційна величині тиску.

В основі багатьох приладів та електронних пристроїв використовують п’єзоелектричний ефект. Наприклад, при використанні деяких пристроїв розпізнавання звуку мікрофони, які вони використовують, працюють на основі згаданого ефекту. П’єзоелектричний кристал перетворює енергію голосу в електричний сигнал, з яким можуть працювати смартфони, комп’ютери та інші електронні пристрої.

Створення деяких прогресивних технологій теж стало можливо завдяки п’єзоелектричному ефекту. Наприклад, потужні гідролокатори використовують маленькі чутливі мікрофони і керамічний звуковий датчик, створені на основі п’єзоелектричного ефекту.

П’єзоелектричний матеріал поміщають між двома металевими пластинами. Для генерації електричного заряду необхідно докласти механічне зусилля (стиснути або розтиснути матеріал). При прикладенні механічного зусилля на металевих пластинах починає накопичуватися електричний заряд (рис. 11.3), що і є прямим п’єзоефектом.

Отже, п’єзоелектричний ефект діє як мініатюрний акумулятор. Мікрофони, датчики тиску, гідролокатори та інші чутливі пристрої використовують цей ефект в основі своєї роботи.

Існує і обернений п’єзоелектричний ефект. Він полягає в тому, що при прикладенні електричної напруги до п’єзоелектричного кристалу відбудеться його механічна деформація, під якою він буде розширюватися або стискатися (рис. 11.4).

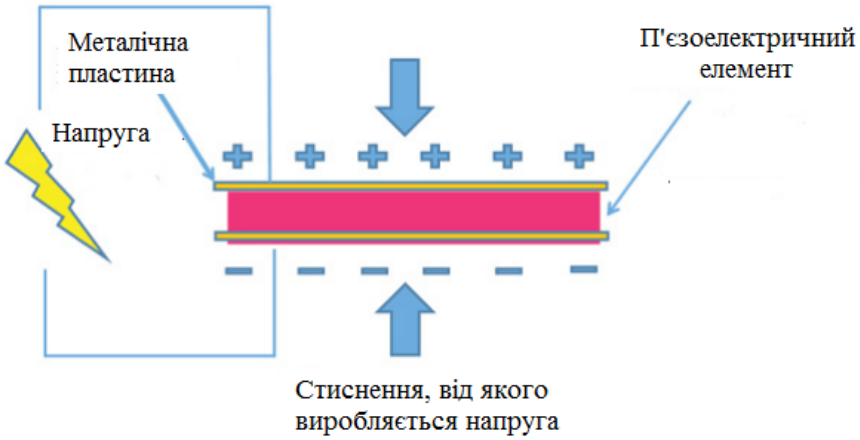


Рисунок 11.3 – Прямий п’єзоефект

Обернений п’єзоелектричний ефект незамінний при розробці акустичних пристроїв. Прикладом можуть бути звукові колонки, сирени, дзвінки. Переваги таких динаміків у тому, що вони дуже тонкі, а це робить їх практично незамінними при використанні у мікро- та нанопристроях, наприклад, у мобільних телефонах. Також цей ефект часто використовують медичні ультразвукові та гідроакустичні датчики.

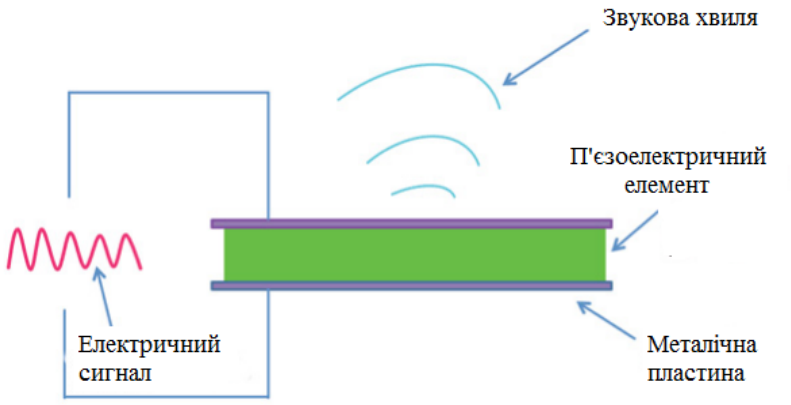


Рисунок 11.4 – Обернений п’єзоелектричний ефект

6.2 П’єзоелектрики

П’єзоелектричний ефект властивий деяким природним кристалам, таким як кварц і турмалін, які протягом багатьох років використовувалися як електромеханічні перетворювачі. Кристалічна решітка кристалів, що мають властивості п’єзоелектричного ефекту, не має центру симетрії.

Вплив (стискання чи розтягування), прикладений до такого кристала, призводить до поляризації після поділу позитивних і негативних зарядів, які є у кожній окремій елементарній частці. Ефект практично лінійний, тобто ступінь поляризації прямопропорційна величині прикладеного зусилля, але напрямок поляризації залежний, тому що зусилля стискання або розтягування генерують електричні поля, а отже, і напругу протилежної полярності. Відповідно, при розміщенні кристалу в електричному полі пружна деформація викликає збільшення чи зменшення його довжини відповідно до величини і напрямку полярності поля.

Перша група – п’єзоелектричні монокристали. Природні п’єзоелектричні матеріали мають досить високу вартість. У зв’язку з цим потреби електроніки, що розвивається на даний час, задовольняються синтетичними п’єзоелектричними монокристалами, які вирощуються в спеціальних установках.

П’єзоелектричні властивості таких кристалів з досить високою повторюваністю можна задавати компонуванням компонентів, що входять до їх складу. Вирощені кристали, певним чином ріжуть на пластини. Деякі (сегнетоелектрики) поляризуються і з них, шліфуванням і нанесенням електродів, виготовляються п’єзоелектричні елементи.

Друга група – п’єзоелектрична кераміка (п’єзокераміка). За фізичними властивостями це полікристалічний сегнетоелектрик, який представляє собою хімічну сполуку або твердий розчин (порошок) зерен (кристалітів).

П’єзокераміки знайшли широке застосування завдяки здатності змінювати свої властивості під дією механічних сил, напруженості електричного поля та температури. Вони утворюють багатозв’язну систему, стан якої характеризується зовнішніми та внутрішніми параметрами. До зовнішніх відносяться: напруженість електричного поля E, механічні напруженості T, температура Θ (інтенсивності величини); до внутрішніх, що змінюються під дією зовнішніх параметрів, належать, відповідно, індукція D (або поляризація P), механічна деформація S та ентропія δ (екстенсивні величини).

Процеси у п’єзоелектричному середовищі описуються методами тензорного та матричного аналізів. Тензорна форма рівнянь більш зручна при вирішенні задач, які містять координатні перетворення та похідні за довжиною.

На практиці теплообміном п’єзоелементів, що коливаються, з довкіллям нехтують (крім потужних п’єзоперетворювачів) та використовують адіабатичні рівняння ($\theta d\delta = 0$). Нехтують також впливом магнітних полів, що зумовлені струмами.

П’єзоелектричним матеріалам властивий прямий та обернений п’єзоефект, які проявляються у виникненні електричного заряду на гранях п’єзоелемента при

механічному стисканні (розтягненні) і навпаки, у зміні довжини при прикладенні електричної напруги до сторін п’єзоелементів.

Ці дуже цінні можливості п’єзоелементів забезпечують їх широке застосування як у ролі сенсорів, так і прецизійних актюаторів, мікро- та нанопотужних джерел живлення, перетворювачів енергії.

Точність позиціонування п’єзоактюаторів досягає десятих часток мікрометра, п’єзоелектричних двигунів ударного типу – до 0,01 мкм, кутової розрізнювальної здатності – до 0,1 (кутової секунди).

П’єзокерамічні матеріали добре витримують напруження стискання, а на розтягнення допустимі навантаження значно менші. Тому у пристроях, які мають працювати в обох режимах навантаження, конструкція повинна створювати початкове навантаження стискання.

На відміну від п’єзоелектричних кристалів, п’єзокерамічні елементи виготовляються методом напівсухого пресування, шлікерного лиття, гарячого лиття під тиском, екструзії або ізостатичного пресування з подальшим випалюванням на повітрі при температурі від 1000 до 1400 ºС. З метою зменшення пористості випалювання може проводитися у середовищі кисню, або елемент виготовляється за допомогою методу гарячого лиття. За спеціальною технологією на поверхню заготівок наносяться електроди.

Після цього кераміку роблять п’єзоелектричною з будь-яким обраним напрямом поляризації методом приміщення її в сильному електричному полі при температурі нижче так званої точки Кюрі.

Поляризація як правило є остаточним процесом при виготовленні п’єзокерамічних елементів, хоча за ним йде термостабілізація і контроль параметрів.

П’єзоелектрична кераміка являє собою твердий, хімічно інертний матеріал, абсолютно нечутливий до вологості і інших атмосферних впливів. За механічним якостям вона подібна керамічним ізоляторам.

Серед матеріалів, яким властивий п’єзоефект можна виділити також:

– титанат барію;

– цирконат-титанат свинцю (PZT);

– рошельні солі.

В останні роки розробляються нові п’єзокерамічні матеріали з властивостями, що дозволяють у деяких випадках використовувати їх замість більш дорогих п'єзоелектричних кристалів. Зокрема, розроблена і виробляється група матеріалів на основі ніобату свинцю, яка вже знайшла практичне застосування завдяки можливості її використання у діапазоні частот до 30 МГц і більше.

Значні дослідження проводяться по створенню п’єзокерамічних композитних матеріалів, а також багатошарової кераміки. Зарубіжні виробники залежно від п’єзоелектричних властивостей поділяють її на сегнетожорстку і сегнетом’яку. У вітчизняній практиці існує додатковий розподіл на кераміку середньої сегнетожорсткості, а також виділяються високостабільні і високотемпературні матеріали.

П’єзоелементи виготовляються в основному на основі п’єзокераміки ЦТС (цирконат-титану-свинцю) різного складу – двох-, трьох- або багатокомпонентних систем на основі ЦТС. З підвищенням кількості компонентів фізичні властивості та ефективність п’єзоелементів покращуються.

Вибір багатокомпонентної кераміки залежить від призначення, режиму роботи п’єзоелементу та умов робочого середовища.

6.3 П’єзоелектричні елементи електромеханічних перетворювачів

П’єзоелектричні елементи ідеальні при використанні як електромеханічні перетворювачі.

Вони досить широко використовуються для виготовлення п’єзокерамічних компонентів, вузлів і пристроїв.

Деякі п’єзокерамічні елементи вже на початку можуть виконувати функції компонента або вузла (наприклад, пластинчасті біморфи) і не потребують додаткового доопрацювання.

Всі вироби, виготовлені на основі п’єзокераміки, поділяють на такі основні групи:

– генератори;

– датчики (сенсори);

– актюатори (п’єзоприводи);

– перетворювачі;

– комбіновані системи.

П’єзокерамічні генератори. Вони перетворюють механічний вплив в електричний потенціал, використовуючи прямий п’єзоефект (рис. 11.3).

Прикладами можуть бути іскрові запалювачі натискного і ударного типів, що застосовуються для різного роду запальничках і підпалювальних системах, а також твердотільні батареї на основі багатошарової п’єзокераміки, що застосовуються у сучасних електронних схемах.

Рисунок 11.5 – П’єзокерамічні генератори

П’єзокерамічні датчики. П’єзокерамічні датчики (рис. 11.6) перетворюють механічну силу чи рух у пропорційний електричний сигнал, тобто також використовують прямий п’єзоефект.

Рисунок 11.6 – П’єзокерамічні датчики

В умовах активного впровадження комп’ютерної техніки датчики є незамінними пристроями, що дозволяють погоджувати механічні системи з електронними системами контролю та керування.

Виділяють два основних типи п’єзокерамічних датчиків:

– осьові (механічна сила діє уздовж осі поляризації;

– гнучкі (сила діє перпендикулярно осі поляризації.

В осьових датчиках, таких як п’єзоелемент використовують диски, кільця, циліндри і пластини. Прикладом є датчики прискорення (акселерометри), датчики тиску, датчики детонації, датчики руйнування тощо.

Гнучкі датчики виготовляються на основі послідовних (шари кераміки мають протилежну спрямованість поляризації) і паралельних (спрямованість поляризації шарів збігається) п’єзокерамічних біморф.

Найбільше поширення отримали датчики сили і прискорення.

П’єзокерамічні актюатори. Актюатори (рис. 11.7) побудовані на принципі оберненого п’єзоефекту і тому призначені для перетворення електричних величин (напруги або заряду) у механічне переміщення (зрушення) робочого тіла.

Рисунок 11.7 – П’єзокерамічні актюатори

Актюатори поділяють на три основні групи: осьові, поперечні і гнучкі.

Осьові і поперечні актюатори мають загальну назву – багатошарові пакетні, тому що набираються з декількох п’єзоелементів (дисків, стержнів, пластин або брусків) у загальний пакет. Вони можуть розвивати значне зусилля до 10 кН при керуючій напрузі 1 кВ, але при дуже малих відхиленнях робочої частини. Такі актюатори також називають потужними.

Гнучкі актюатори (біморфи). Гнучкі актюатори (біморфи) (рис. 11.8) розвивають незначну силу при малих відхиленнях робочої частини.

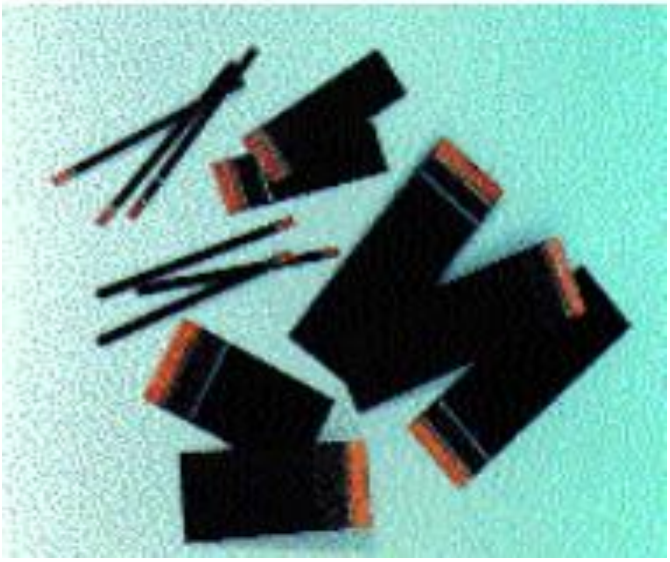


Рисунок 11.8 – П’єзокерамічні актюатори

Американській компанії APC International Inc. вдалося створити і вийти на ринок з новим типом пластинчастого біморфа – «стрічковим актюатором».

Стрічковий актюатор може забезпечувати силу 0,95 Н і величину відхилення 1,2 мм або відхилення до 3 мм і силу 0,6 Н.

Гнучкі актюатори відносяться до групи середньопотужних. До цієї самої групи відносяться також перспективні осьові актюатори, що представляють собою моноблок, виготовлений за технологією багатошарової п’єзокераміки.

Пакетні актюатори можуть вироблятися підприємствами, не пов’язаними з виробництвом п’єзокераміки.

Гнучкі ж і осьові актюатори з багатошарової кераміки самі по собі є п’єзокерамічними елементами. Їх можуть виготовляти лише підприємства, які мають технології і обладнання для виробництва п’єзокерамічних елементів.

П’єзокерамічні перетворювачі. П’єзокерамічні перетворювачі призначені для перетворення електричної енергії в механічну, (рис. 11.9).

Рисунок 11.9 – П’єзокерамічні перетворювачі

Перетворювачі залежно від діапазону частот підрозділяються на дві види:

– звукові (нижче 20 кГц) – зумери, телефонні мікрофони, високочастотні гучномовці, сирени тощо;

– ультразвукові (понад 20 кГц) – високоінтенсивні випромінювачі для зварювання та різання, мийки і очищення матеріалів, датчики рівня рідини, дисперсійні розпилювачі, генератори туману, інгалятори, зволожувачі повітря.

Окремою групою виділяються так звані ультразвукові вимірювачі відстані у повітряному середовищі (Air Transducers), що є п’єзокерамічними компонентами.

Вони використовуються як вимірювачі відстані для техніки, датчиків наявності руху в охоронних системах, у рівнемірах, для дистанційного контролю

та керування, у пристроях відлякування птахів, звірів і сільськогосподарських шкідників тощо.

Виготовляють п’єзокерамічні перетворювачі трьох типів: передавальні, приймальні та приймально-передавальні.

Високочастотні ультразвукові пристрої використовуються як устаткування для випробування матеріалів і неруйнівного контролю, діагностика в медицині і промисловості, лінії затримки тощо.

Комбіновані п’єзокерамічні системи. Такі системи перетворюють електричні величини в електричні, при послідовному використанні оберненого і прямого п’єзоефекті (рис. 10.10). Як приклади таких систем можна навести ехолоти, вимірювачі потоків, п’єзотрансформатори, «шукачі ключа».

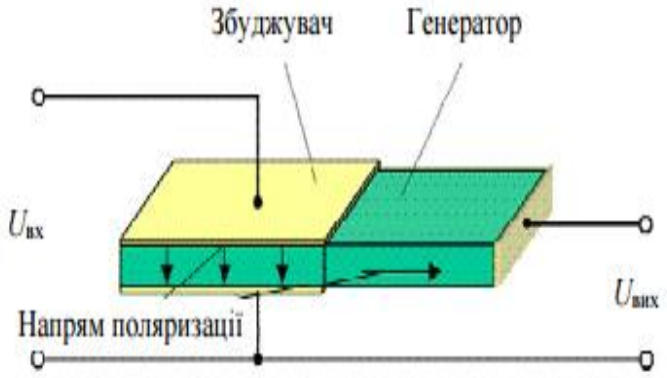


Рисунок 11.10 – Схематичне зображення конструкції п’єзотрансформатора

Отже, п’єзокераміка завдяки своїм унікальним властивостям знаходить все більше застосування у різних областях техніки і технології. Іноземні виробники п’єзокераміки, елементів і компонентів на її базі, намагаючись більш повно задовольнити сучасні вимоги ринку, проводять дослідження і конструкторські роботи з метою поліпшення параметрів кераміки, розробляють її нові типи, на що виділяються значні фінансові кошти.

Багатошарові п’єзоелектричні генератори в силу своїх технологічних виконань та конструкції, таких як збільшене значення статичної ємності та відносно великий генеруючий заряд, можуть використовуватися як твердотільні батареї (ТТБ). Треба зазначити, що значною перевагою таких типів джерел

живлення є повна відсутність електромагнітних полів, що призводять до паразитних наводок та сторонніх завад. Сучасні п’єзокерамічні конструкції товщиною п’єзокерамічних шарів 25–150 мкм дозволяють проєктувати елементи живлення невеликої потужності.

7 Контрольні запитання

7.1 Принцип дії електричного перетворювача.

7.2 Що таке резонансна частота перетворювача і від чого вона залежить?

7.3 Як експериментально визначається резонансна частота?

7.4 Що таке п’єзоелектричний ефект?

7.5 З яких матеріалів виготовляють п’єзоелектричні перетворювачі?

7.6 Групи п’єзоелектричних матеріалів.

7.7 П’єзокерамічні генератори.

7.8 П’єзокерамічні датчики.

7.9 П’єзокерамічні актюатори.

7.10 Гнучкі актюатори (біморфи).

7.11 П’єзокерамічні перетворювачі.

7.12 Комбіновані п’єзокерамічні системи.

7.13 Електрична принципова схема п’єзоперетворювача.

7.14 Метод виготовлення п’єзокерамічних елементів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12
ВИВЧЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ОГОРОЖІ

Мета роботи

Вивчення будови, принципу дії та правил експлуатації електричної огорожі. Експериментальне визначення кількості електрики в імпульсі.

1 Програма роботи

2.1 Вивчити призначення електричної огорожі.

2.2 Вивчити принцип дії електричної огорожі.

2.3 Вивчити електричні схеми генераторів імпульсів.

2.4 Освоїти методику розрахунку параметрів електричних імпульсів та елементів схеми генератору імпульсів.

2 Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи

2.1 Пункти 1.1–1.3 виконати під час підготовки до роботи.

2.2 Підготуватись на відповіді на контрольні запитання.

3 Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити призначення і принцип дії електричної огорожі.

3.2 Накреслити електричну схему генератора імпульсів і вивчити її роботу.

3.3 Розрахувати ємність накопичувального конденсатора для одержання заряду q =3 10^{-3} Кл при напрузі розряду, що дорівнює рівній напрузі джерела живлення.

3.4 Визначити діапазон регулювання частоти імпульсів.

3.5 Визначити діапазон регулювання амплітуди імпульсу вихідної напруги генератора взявши максимальну напругу 2000 *В*.

3.6 Розрахувати величину опору зарядного ланцюга *R*.

3.7 Відповісти на контрольні запитання.

4 Програма виконання лабораторної роботи

4.1 Викреслити схему електричної огорожі ІЕ-200.

4.2 Подати у виді таблиці технічні характеристики електричної огорожі ІЕ-200.

4.3 Надати розрахунки елементів схеми відповідно до завдання викладача.

5 Методика виконання роботи

Лабораторні дослідження роботи електричної огорожі ІЕ-200 полягають у вимірюванні амплітуди імпульсів за допомогою осцилографу. При цьому величина амплітуди фіксується у відносних одиницях. За допомогою регулятора амплітуди встановлюється мінімальна величина амплітуди (A_{min}), а потім максимальна (A_{max}).

Після цього вимірюється кількість імпульсів за 1 хвилину (за кількістю імпульсів, що чуються в момент появи імпульсів високої напруги або за появою зображення імпульсу на екрані осцилографа). Також вимірюється мінімальна кількість імпульсів (N_{min}) та максимальна (N_{max}), яка встановлюється регулятором частоти імпульсів.

Показники заносяться до табл. 12.1.

Таблиця 12.1 – Результати дослідження електричної огорожі ІЕ–200

Виміряно				Розраховано						
Амплітуда імпульсу, *мм*		Кількість імпульсів за хвилину, $хв^{-1}$		Амплітуда імпульсу, *В*		Частота імпульсів, *Гц*		Період заряду, *с*	Ємність, *Ф*	Опір, *Ом*
A_{min}	A_{max}	N_{min}	N_{max}	U_{min}	U_{max}	f_{min}	f_{max}	τ	C	R
					2000					

5.1 Методика обробки експериментальних даних

Амплітуда імпульсу напруги визначається за формулою:

$$U = U_{\max} \frac{A}{A_{\max}}, \tag{12.1}$$

де A – величина амплітуди імпульсу на екрані осцилографу, *мм*;

A_{max} – максимальна величина амплітуди імпульсу на екрані осцилографу, *мм*;

U_{max} – максимальна напруга імпульсу електричної огорожі, *В* (U_{max}=2000 *В*).

Частота імпульсів визначається за формулою:

$$f = \frac{N}{60}, \tag{12.2}$$

Період заряду

$$\tau = \frac{1}{f}, \tag{12.3}$$

Ємність конденсатора

$$C = \frac{q}{U_p}, \tag{12.4}$$

де C – ємність робочого конденсатора, *Ф*;

q – кількість електрики (заряд) конденсатора, *Кл* (q = 2,5 – 3 *мКл*);

U_p – робоча напруга, *В* (для генераторів з індуктивним виходом беруть такою, що дорівнює первинній напрузі підвищувального трансформатору, а для генераторів з ємкісним виходом – вторинній напрузі).

Зарядний опір

$$R = \frac{0,67 \cdot \tau}{C}. \tag{12.5}$$

6 Пояснення до роботи

Електрична огорожа призначена для огородження пасовищ і загонів великої рогатої худоби, телят, свиней, овець і інших тварин, літніх таборів, вигульних площадок, скирт сіна, ділянок посівів та інших місць, що охороняються від тварин або небезпечні для них. До переваг електричної огорожі порівняно з постійними огорожами і заборами відносять простоту використання і перестановки, невеликі витрати матеріалів, коштів і часу на її спорудження. Електрична огорожа складається з джерела живлення, генератора електричних імпульсів високої напруги, сталевого оцинкованого дроту, опор з ізоляторами і заземлювальними штангами. Огородження ділянки виконується в один або кілька проводів, підвішених на висоті від 0,1 до 0,85 *м* залежно від виду і віку тварин: відстань між опорами від 8 до 20 *м*, обгороджена площа 4–12 *га*.

Принцип дії електричної огорожі полягає у тому, що тварина, доторкнувшись до неї, потрапляє під напругу та одержує електричний удар, що є безпечним для життя тварини, але лякає її. Після декількох ударів струмом у тварини виробляється умовний рефлекс «страху» і вона більше не підходить до електричної огорожі. У цьому випадку доцільно перевести генератор у очікувальний режим з метою економії електроенергії і збільшення терміну служби живильних батарей.

Для безпеки струм, що проходить через тіло тварини, повинен мати спадну характеристику, а його амплітуда повинна знаходитися у межах 10^{-3}–10^{-4} А (при опорі 500 *Ом*); кількість електрики в імпульсі не повинна перевищувати $3 \cdot 10^{-3}$ *Кл* при тривалості 0,1 *с*. Амплітуда напруги у дроті не повинна бути нижче 2000 В.

Генератор імпульсів ІЕ-200 (рис. 12.1) працює так. Живлення генератора здійснюється або від чотирьох батарей сухих елементів *GB* напругою 45 В кожна, розміщених у пластмасовому корпусі, або від мережі змінного струму напругою 230 В через штепсельну розетку.

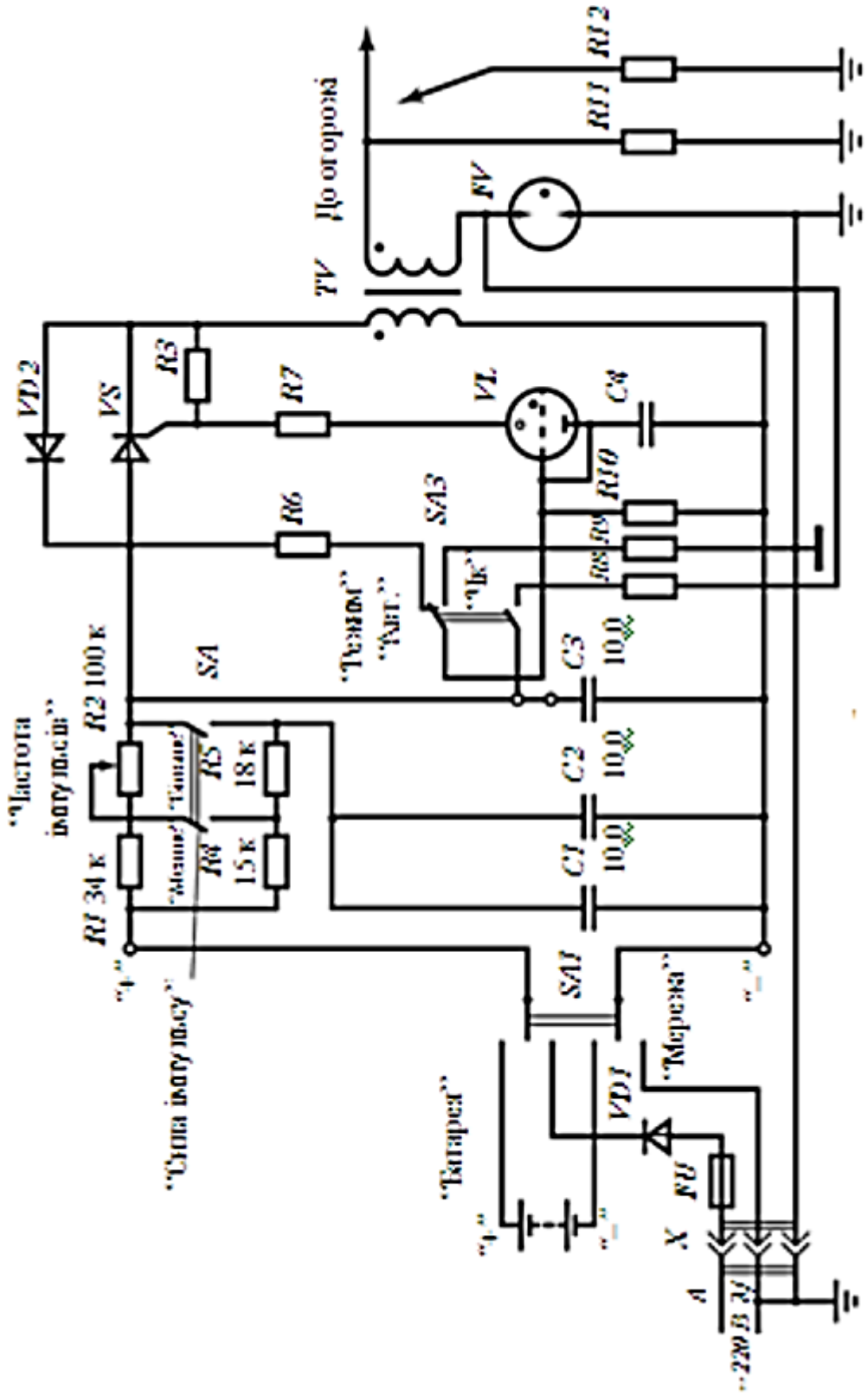


Рисунок 12.1 – Принципова електрична схема генератора імпульсів ІЕ-200

У випадку живлення від батареї генератор може працювати в автоматичному режимі та режимі очікування, а в випадку живлення від мережі змінного струму – тільки в автоматичному.

У режимі очікування генератор подає імпульси напруги лише у момент дотику тварини до дроту огорожі або при зниженні опору ізоляції дроту огорожі відносно землі до 1–2 *МОм*.

Для вмикання генератора імпульсів в автоматичному режимі при живленні від батареї перемикач *SA1* («живлення») ставиться у положення «Батарея». При цьому через резистори *R1* та *R2* заряджається конденсатор *C3*. Якщо тумблер *SA3* поставити «Авт.», починає протікати струм по колу: верхня обкладинка конденсатора *C3* – резистор *R6* – перемикач *SA3* – резистор *R10* – нижня обкладинка конденсатора *C3*. Під впливом падіння напруги на резисторі *R10* заряджається конденсатор *C4* до напруги запалювання тиратрона *VL* (65–90 В). Тиратрон відкривається і заряд конденсатора *C4* відкриває тиристор *VS*. Конденсатор *C3* розряджається на первинну обмотку трансформатора *TV*. У вторинній обмотці трансформатора індукується ЕРС високої напруги, під дією якої пробивається розрядник *FV*, і ця напруга прикладається до опору *R11* ізоляції дроту огорожі. Якщо в цей час тварина дотикається до дроту, то вона отримує електричний удар.

Розряд конденсатора *C3* має коливний характер, струм зворотного напрямку протікає через діод *VD2*. Частота імпульсів регулюється резистором *R2* («Частота імпульсів»).

При переключенні тумблера *S2* («Сила струму») у положення «Більше» паралельно конденсатору *C3* підключаються конденсатори *C1* і *C2*, які підсилюють розрядний струм через тиристор VS і відповідно ударний струм через тіло тварини. Резистори *R4* та *R5* забезпечують постійність частоти імпульсів у випадку переключення тумблера *S2* у положення «Більше» за рахунок збереження постійної часу зарядки конденсаторів зменшенням опору у колі зарядки при збільшенні зарядної ємності.

Для роботи в автоматичному режимі з живленням від мережі перемикач *SA1* встановлюють у положення «Мережа».

При живленні генератора імпульсів від батареї *GB* з метою економії її енергії тумблери *SA3* переводять у положення ЧК (режим чекання). При цьому конденсатори *C1*, *C2* і *C3* заряджаються як і у попередньому випадку. Коло

заряду конденсатора інше: верхня обкладинка конденсатора *C3* – резистор *R8* – вторинна обмотка підвищувального трансформатора *TV* – опори витоку ізоляції огорожі *R11* – «земля» – резистор *R9* – резистор *R10* – нижня обкладинка конденсатора *C3*. Оскільки опір ізоляції огорожі *R11* великий, струм, що протікає по визначеному колу, недостатній для утворення падіння напруги на резисторі *R10*, а отже, і зарядки конденсатора *C4* до напруги запалювання тиратрона *VL* і відкривання тиристора *VS*. Якщо ж тварина дотикається до дроту огорожі, тоді вона шунтує своїм тілом (опором *R12*) опір ізоляції огорожі *R11*, у результаті чого загальний опір кола зменшується, а струм збільшується. Це призводить до збільшення падіння напруги на резисторі *R10* і конденсатор *C4* заряджається до напруги, достатньої для запалювання тиратрона *VL* і подальшого відкривання тиристора *VS*. У результаті цього з'являються періодичні імпульси напруги на дроті огорожі доти, поки тварина не відійде від дроту. Іншими словами, у момент доторкання тварини до огорожі генератор імпульсів переходить в автоматичний режим роботи.

Таке саме відбувається і у випадку зниження опору ізоляції дроту огорожі відносно землі до 1–2 *МОм* (це може мати місце у випадку доторкання до дроту огорожі гілок, кущів, трави, а також у дощову погоду).

7 Контрольні запитання

7.1 Яке призначення електричної огорожі?

7.2 У чому полягає принцип дії електричної огорожі?

7.3 Які параметри електричних імпульсів вважаються безпечними?

7.4 У чому полягає принцип утворення високовольтних імпульсів?

7.5 Призначення резисторів *R1, R2* і ємності *C1* в електричній схемі генератора імпульсів ІЕ-200 (рис. 11.1)?

7.6 Призначення діода *VD2* та резисторів *R4* і *R5* (рис. 11.1).

7.7 Як можна змінювати частоту імпульсів?

7.8 Від чого залежить сила імпульсу (кількість електрики в імпульсі)?

7.9 Як працює електрична огорожа у режимі очікування?

7.10 Як працює генератор імпульсів в автоматичному режимі?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13
ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Мета роботи

Вивчення конструкції і дослідження характеристик ультразвукового генератора УЗГ-3-0,4.

1. Програма роботи

1.1 Вивчити конструкцію ультразвукового генератора УЗГ-3-0,4.

1.2 Вивчити принципову схему генератора УЗГ-3-0,4 і лабораторної установки.

1.3 Розрахувати параметри $P_{ак}$, $\cos\varphi$, $\eta_{ак}$; $\eta_г$; $\eta_у$.

1.4 Побудувати графічні залежності $P_{ак}$, $\cos\varphi$, $\eta_{ак}$; $\eta_г$; $\eta_у$ від функції вихідної напруги U_2.

2. Вказівки щодо підготовки до виконання роботи

2.1 Вивчити область застосування ультразвуку у сільському господарстві.

2.2 Вивчити призначення і вимоги, що висуваються до джерел живлення ультразвукової техніки.

2.3 Вивчити принципову схему генератора УЗГ-3-0,4.

3. Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити конструкцію ультразвукового генератора на робочому місці.

3.2 Дослідити роботу генератора відповідно до п. 5.

4. Зміст лабораторної роботи

4.1 Вказати тему і мету роботи.

4.2 Навести принцип короткі відомості щодо використання ультразвуку.

4.3 Подати короткий опис схеми лабораторного стенду та принципової електричної схеми ультразвукового генератора УЗГ-3-0,4.

4.4 Подати у вигляді таблиці результати дослідження та виконати необхідні розрахунки.

4.5 Побудувати графічні залежності $P_{ак}$, $\cos\varphi$, $\eta_{ак}$; $\eta_г$; $\eta_у$ від функції вихідної напруги U_2.

4.6 Зробити висновки за результатами виконання роботи.

5. Методика виконання роботи

Вивчення електричних схем і конструкцій установок, правил налаштування та обслуговування, а також основних застосувань ультразвуку проводяться попередньо при підготовці до лабораторної роботи за рекомендованою літературою і відповідно до цих вказівок.

У цій роботі ультразвуковий генератор УЗГ-3-0,4 комплектується ванною лудіння УЗВЛ-0,4 з магнітострикційним перетворювачем, тому перемикач SA4 встановлюють у положення ВЛ. Припій поміщають у ванночку, з'єднану з магнітострикційним перетворювачем. Розплавлення припою здійснюють за допомогою спеціального (вбудованого в УЗВЛ-0,4) електричного нагрівача. У розплавленому припої збуджуються ультразвукові коливання, які знімають окисні плівки зі спаюваних, наприклад алюмінієвих, деталей і надійно їх залуджують.

За умовами охорони праці роботу з припоєм у навчальній лабораторії проводити не можна. Замість припою у ванночку помічають інший матеріал (за вказівкою викладача). Для викладання випробувань установка обладнана необхідними приладами (рис. 13.1).

Послідовність операцій із введення установки у дію така.

За допомогою штепсельної вилки XS1 і шнура на генератор подають живлення від мережі 230 В, 50 Гц. Одночасно з увімкненням вилки у мережу починає працювати електродвигун M1 вентилятора (рис. 13.1).

Вимикачем SA1 подають напругу напруження розжарення і генераторної лампи VL1, про що сигналізує лампочка HL1 «РОЗЖАРЮВАННЯ». Через 3–5 хвилин після увімкнення напруги кнопкою SB2 «ПУСК» вмикати високу

напругу. У справному генераторі одночасно з увімкненням високої напруги мають виникнути коливання.

Під час роботи з ванною лудіння ввімкнення генератора у роботу здійснюють вимикачем «КОЛИВАННЯ» на передній панелі ванни. При цьому перемикач SA3 (рис. 5.1) генератора переводять у положення «Д» (дистанційно).

Ручкою RP1 «РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ» за мінімумом вихідної напруги встановлюють частоту, що відповідає резонансній частоті перетворювача.

Ручкою SA2 «РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ» встановлюють вихідну напругу, контрольовану вольтметром PV2.

Після закінчення роботи вимикачем «КОЛИВАННЯ» (або кнопкою SB1) вимикають напругу. Вимикач SA1 «РОЗЖАРЮВАННЯ» переводять у нижнє положення.

Через 5 хвилин після вимкнення напруги генератор відключають від мережі, а потім для розрядки конденсаторів C1 і C2 вилку живлення замикають накоротко.

Результати заносять до табл. 13.1.

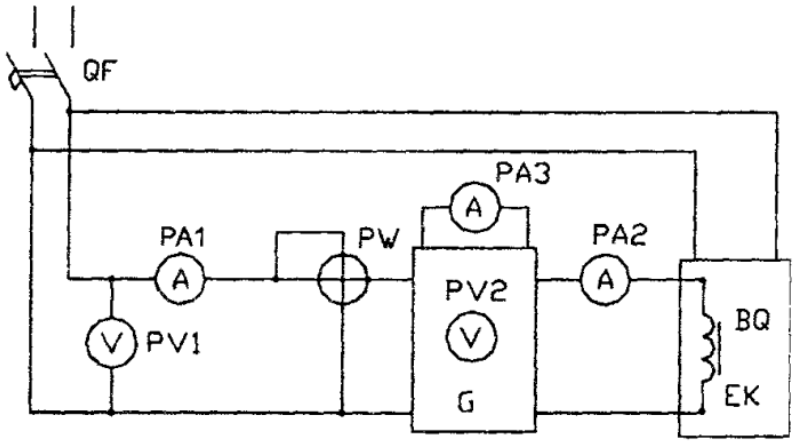


Рисунок 13.1 – Схема експериментальної установки:

G – ультразвуковий генератор УЗГ-3-0,4; ЕК – ванна для лудіння УЗВЛ;

BQ – обмотка магнітострикційного перетворювача магнітострикційного перетворювача

Алгоритм виконання роботи на установці з генератором УЗГ-3-04 і ванною лудіння УЗВЛ-0,4:

1. Заповнити ванночку для припою водою (50 г) або іншим матеріалом за вказівки викладача.

2. Виконати всі операції з введення установки в роботу у послідовності, наведеній вище. Струм підмагнічування (амперметр РА3) не повинен перевищувати 8 А.

3. Увімкнувши установку, ручкою RP1 «РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ» налаштовують генератор на оптимальний режим, що встановлюється за мінімумом вихідної напруги. Параметри, що відповідають оптимальному режиму: сила вхідного струму I_1 (РА1), споживану потужність P_1 (PW), струм підмагнічування I_3 (РА3), вихідна напруга U_2 (PV2) і струм I_2 (РА2) заносять у табл. 5.1 для значень вхідної напруги U_2, зазначених нижче.

4. Для оптимального режиму роботи встановити вихідну напругу $U_2 =$ 100, 140, 180, 230 В і за кожної з них обробляти («озвучувати») матеріал протягом 3–10 хв (за вказівкою викладача). Температуру оброблюваного матеріалу вимірювати термопарою або ртутним термометром (в останньому випадку необхідно ОБОВ'ЯЗКОВО відключити коливання).

5. За результатами вимірювань визначити:

– наближене значення акустичної потужності $P_{ак}$ до перетворювача, вважаючи, що ультразвукова енергія, що поглинається у матеріалі, перетворюється на теплову:

$$P_{ак} = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\tau \cdot \eta_n}, \qquad (13.1)$$

де m – маса (кг) і питома теплоємність c (Дж/(кг·°С)) матеріалу;

t_1 і t_2 – початкова і кінцева температура матеріалу, °С;

τ – час «озвучування» матеріалу, с;

η_n – ККД перетворювача, який рекомендується взяти таким, що дорівнює 0,54;

– коефіцієнт потужності установки

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}; \qquad (13.2)$$

– потужність, споживану перетворювачем, вважаючи, що в оптимальному режимі (під час резонансу) опір робочого коливального контуру і, отже, його елемента BQ (див. рис. 13.2) є активним. У цьому випадку

$$P_2 = U_2 \cdot I_2; \qquad (13.3)$$

– акустичний ККД $\eta_{ак}$, ККД генератора $\eta_г$ і ККД установки $\eta_у$

$$\eta_{ак} = \frac{P_{ак}}{P_2}; \quad \eta_г = \frac{P_2}{P_1}; \quad \eta_у = \frac{P_{ак}}{P_1}. \qquad (13.4)$$

Після зняття даних виконують розрахунки величин.

– побудувати графічні залежності обчислених величин (табл. 13.1) від функції вихідної напруги U_2.

Таблиця 13.1 – Результати дослідження ультразвукового генератора УЗГ-3-0,4

Виміряно								Розраховано				
U_1	P_1	I_1	I_2	I_3	m	t_1	t_2	$P_{ак}$	$\cos\varphi$	$\eta_{ак}$	$\eta_г$	$\eta_у$
В	Вт	А	А	А	кг	°С	°С	Вт	–	–	–	–

6. Пояснення до роботи

Лабораторна установка складається з ультразвукового генератора УЗГ-3-04 і вимірювальних приладів.

6.1 Призначення ультразвукового генератора УЗГ-3-04

Генератор УЗГ-3-04 призначений для живлення ультразвукового устаткування: ванн очищення, зварювальних пістолетів, ультразвукових паяльників у технологіях очищення дрібних деталей, зварювання і пайки пластмасових виробів.

Навантаженням для генератора є магнітострикційний перетворювач.

6.2 Технічні характеристики ультразвукового генератора УЗГ-3-04

Технічні характеристики ультразвукового генератора УЗГ-3-04 наведені у табл. 13.2.

Таблиця 13.2 – Технічні характеристики генератора УЗГ3-04

Характеристика	Величина
Напруга живлення	230 В
Споживана потужність	1,1 кВт
Вихідна напруга	20–250 В
Вихідна потужність	0–400 Вт
Вихідна частота: – положення ВО – положення ВЛ – положення П і ПС	 18 (17,5–19,3) кГц 22 (20,4–23) кГц 44 (39,6–45) кГц
Маса	60 кг

6.3 Порядок запуску генератора УЗГ-3-04:

а) подати живлення на ультразвуковий генератор;

б) включити тумблер «Розжарення»;

в) через 3–5 хв після включення «Розжарення» кнопкою «Пуск» включити генератор у роботу (подати анодну напругу).

При роботі генератора з навантаженням у вигляді магнітострикційного перетворювача або іншого електроакустичного перетворювача виконується

налаштування частоти генератора на резонансну частоту перетворювача. Якщо ці частоти збігаються, вихідна напруга генератора має мінімальне значення, тому що при резонансі перетворювач споживає максимальну потужність. Регулювання частоти здійснюється ручкою «Регулювання частоти», розташованою на передній панелі генератора.

6.4 Опис принципової схеми генератора УЗГ-3-0,4

Генератор УЗГ-3-0,4 виготовлений відповідно до принципової електричної схеми (рис. 13.2) і складається з таких вузлів: автогенератора, анодного випрямляча, випрямляча струму підмагнічування, випрямляча екранної сітки, ферорезонансного стабілізатора напруги розжарення, ланцюгів керування і захисту. Автогенератор виконано на тетроїді VL1 за схемою двоконтурного автогенератора. Контур у ланцюзі управляючої сітки лампи, що включає елементи L1, C13–C18, використовується для отримання зворотного зв'язку. Залежно від роду роботи перемикач SA4 встановлюють в одне з таких положень: ВО – ванна для очищення, ВЛ – ванна для лудіння, ПС – для зварювального пістолета, П – для паяльника. Кожному з положень відповідають свої параметри сіткового контуру і, отже, частота, наведені у табл. 13.1.

Анодний коливальний контур утворено первинною обмоткою вихідного трансформатора TV4 і конденсаторами C9, C10. Напруга вторинної обмотки трансформатора TV4 через розділювальний конденсатор C12 подається на навантаження і контролюється вольтметром PV.

Вихідна напруга регулюється плавно змінним резистором RP1 і ступенево перемиканням витків вторинної обмотки TV2. Зсув на керуючу сітку автоматичний, за рахунок падіння напруги від постійної складової катодного струму на резисторі R7. Анодний випрямляч зібрано за однофазною мостовою схемою на випрямних стовпах VD7–VD18. У кожному плечі моста включено по три послідовно з'єднані стовпи. Випрямляч живить автогенератор випрямленою напругою за струму 0,35 А (напруга 2,5 В). Для згладжування пульсацій випрямленої напруги застосовано фільтр C7, LL2.

Випрямляч струму підмагнічування служить для забезпечення ефективної роботи магнітострикційного перетворювача. Він зібраний на діодах VD1–VD4 за однофазною мостовою схемою і розрахований на випрямлений струм від 2 до 5 А. У схемі передбачено ступеневе регулювання струму підмагнічуванням магнітострикційного перетворювача встановленням пакетного перемикача SA2 у положення, що відповідає підключеному технологічному обладнанню.

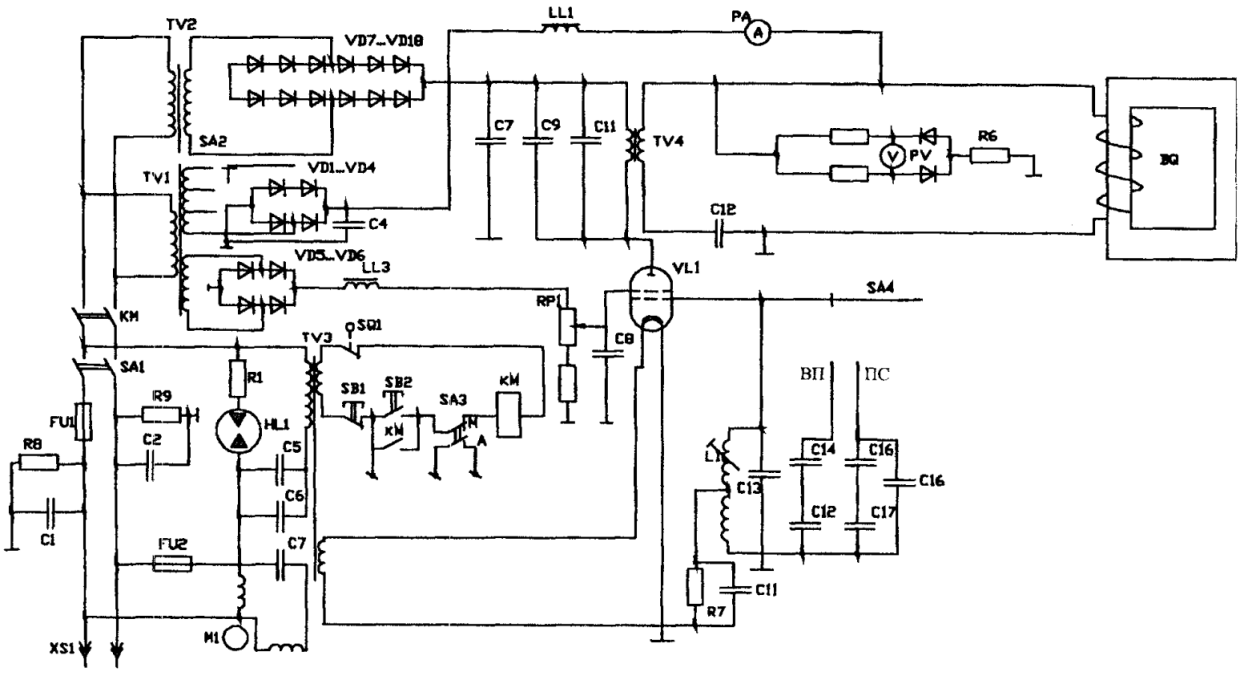


Рисунок 13.2 – Принципова схема ультразвукового генератора УЗГ 3-0,4

Випрямляч екранної сітки зібрано за однофазною мостовою схемою на кремнієвих діодах VD5, VD6. Для згладжування пульсацій випрямленої напруги є фільтр (LL3, C8). Випрямлену напругу регулюють змінним резистором RP1 у межах від 60 до 230 В.

Для підтримання напруги розжарення генераторної лампи і напруги обмотки реле KV1 у допустимих межах при довільних змінах напруги мережі у генераторі є ферорезонансний стабілізатор напруги. Для стабілізації використовується властивість глибокого насичення серцевини трансформатора TV3.

Напругу накалу лампи VL1 подають вимикачем SA1. Анодну, екранну напругу і струм підмагнічування вмикають натисканням кнопки SB2 «Пуск».

Мікровимикач SQ1 слугує для захисту від увімкнення високої напруги генератора при знятому кожусі.

Вимикач SA3 має два положення «Місцеве» і «Дистанційне». У першому з цих положень оператор вмикає коливання з передньої панелі генератора, а в другому – з моста встановлення технологічного обладнання.

7. Контрольні запитання

7.1 Перелічіть основні параметри ультразвуку і як вони визначаються?

7.2 Як проявляється дія ультразвуку на фізичні та біологічні об’єкти?

7.3 Поясніть принцип дії ультразвукових перетворювачів.

7.4 У яких технологічних процесах використовують ультразвук?

7.5 Принципова електрична схема ультразвукового генератора УЗГ-3-0,4.

7.6 З яких основних вузлів складається ультразвуковий генератор УЗГ-3-04?

7.7 Як здійснюється підготовка генератора до роботи і його налаштування?

7.8 Як здійснюється регулювання вихідної напруги (потужності) генератора?

7.9 Як здійснюється регулювання частоти генератора?

7.10 Принципова електрична схема лабораторної ультразвукової установки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14
ДОСЛІДЖЕННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Мета роботи

Вивчення конструкції і дослідження характеристик п'єзоелектричних перетворювачів.

1. Програма роботи

1.1 Вивчити конструкцію п'єзоелектричного перетворювача.

1.2 Визначити резонансну частоту наявного п'єзоелектричного перетворювача.

1.3 Вимірити статичну ємність перетворювача.

1.4 Розрахувати швидкість звуку і визначити матеріал, з якого виготовлений перетворювач.

2. Вказівки щодо підготовки до лабораторної роботи

2.1 Вивчити природу п'єзоелектричного ефекту.

2.2 Вивчити типи п'єзоелектричних перетворювачів, принцип їх дії та область застосування.

3. Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Зібрати схему виміру резонансної частоти п'єзоелектричного перетворювача.

3.2 Засвоїти методику та визначити резонансну частоту п'єзоелектричного перетворювача за максимальним струмом.

3.3 Зібрати схему вимірювання статичної ємності.

3.4 Виміряти статичну ємність та тангенс кута діелектричних втрат за допомогою приладу Е8-4.

4. Зміст звіту

4.1 Подати у вигляді таблиці результати досліджень і розрахунків.

4.2 Побудувати графік залежності повного опору п’єзоелектричного перетворювача від частоти.

4.3 Зробити висновки.

5. Методика виконання роботи

Лабораторна установка складається з генератора Г3-56/І, п’єзоелектричного перетворювача, цифрового вимірювача ємності Е8-4.

Визначення резонансної частоти здійснюється за максимумом споживаного струму, при якому величина вихідної напруги генератора Г3-56/І буде мати умовний мінімум.

Схема лабораторної установки подана на рис. 14.1.

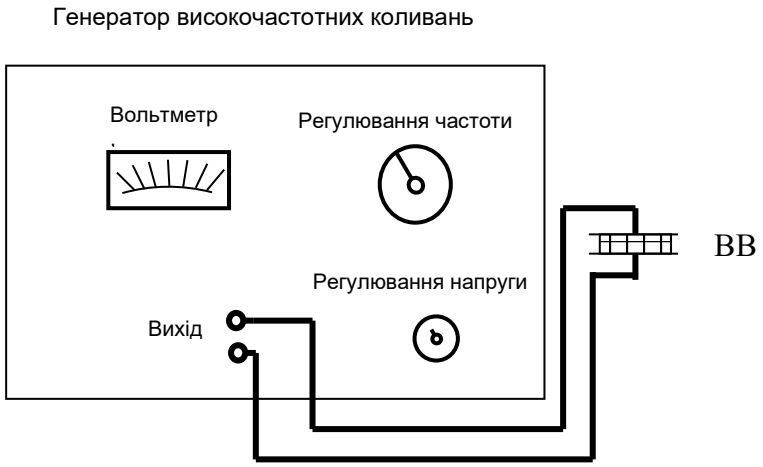


Рисунок 14.1 – Схема вимірювання резонансної частоти п’єзоелектричного перетворювача

Необхідно відмітити, що п’єзоелектричний перетворювач має декілька резонансних частот, тому для визначення основної резонансної частоти доцільно визначити графік залежності повного опору від частоти.

Частота змінюється за допомогою ручки «Регулювання частоти» при цьому у табл. 14.1 заносяться частота, струм та напруга. Змінюючи частоту, виконати 5–7 дослідів.

Таблиця 14.1 – Результати дослідження резонансних властивостей п’єзоелектричного перетворювача

Виміряно			Розраховано		
Частота	Напруга	Сила струму	Повний опір	Повна потужність	Швидкість звуку
(f), кГц	(U),В	(I), А	(Z), Ом	(S), ВА	($V_{зв}$), м/с

Статична ємність перетворювача і тангенс кута діелектричних втрат виміряються приладом Е8-4. Схема лабораторної установки подана на рис. 14.2.

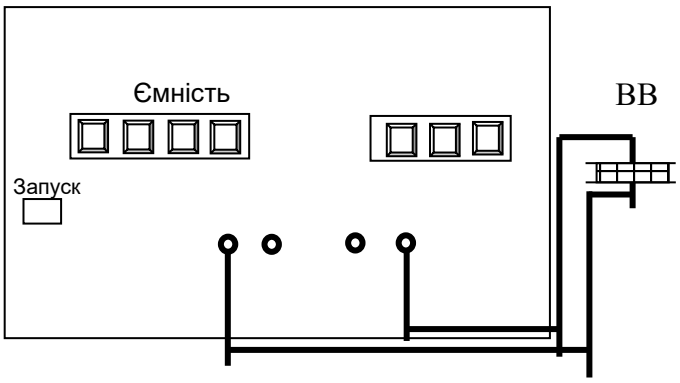


Рисунок 14.2 – Схема вимірювання ємності п’єзоелектричного перетворювача

Результати дослідів заносяться до табл. 14.2. Після зняття дослідних даних визначають розрахункові величини.

Таблиця 14.2 – Результати дослідження електричних властивостей п’єзоелектричного перетворювача

Виміряно	Розраховано	
Ємність	Діелектрична проникність матеріалу	Відносна діелектрична проникність матеріалу
(C), Ф	(ε), Ф/м	($\varepsilon_в$)

5.1 Методика обробки експериментальних даних

Повний опір перетворювача

$$Z = \frac{U}{I}. \qquad (14.1)$$

Повна потужність перетворювача

$$S = U \cdot I. \qquad (14.2)$$

Швидкість звуку у матеріалі перетворювача

$$V_{зв} = 2l \cdot f, \qquad (14.3)$$

де l – товщина перетворювача, м.

Діелектрична проникність матеріалу перетворювача

$$\varepsilon = \frac{C \cdot l}{S}, \qquad (14.4)$$

де С – статична ємність перетворювача, Ф;

S – площа поверхні електрода, м^2;

ε – діелектрична проникність, Ф/м.

Відносна діелектрична проникність

$$\varepsilon_в = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \qquad (14.5)$$

де ε_0 – діелектрична проникність вакууму, Ф/м, (ε_0 =8,85·10^{-12} Ф/м).

6 Пояснення до роботи

П’єзоелектричний ефект полягає у виникненні на поверхні деяких матеріалів електричних зарядів при їх деформації (прямий ефект) і навпаки виникнення пружних деформацій в цих матеріалах в електричному полі (зворотній ефект).

Ця властивість дає можливість використовувати такі матеріали як електромеханічні перетворювачі для одержання високочастотних акустичних коливань – ультразвуку, який переважно неможливо отримати іншими перетворювачами, що пов’язано з габаритами, а тому і резонансними властивостями випромінювачів (для отримання високочастотних акустичних коливань розміри випромінювачів повинні бути дуже малі). Зворотній п’єзоефект може використовуватися для прийому механічних (акустичних) коливань.

Резонансні властивості п’єзоелектричного перетворювача переважно визначаються його товщиною (формула (14.3)) . Вони визначаються часом, за який звукова хвиля пройде перетворювач в прямому і зворотному напрямках, щоб посилити наступну хвилю.

Як п’єзоелектричні матеріали використовують природні речовини (п’єзокристалічний кварц, ніобат літію та ін.) і штучні – в основному це п’єзокераміка ЦТС (цирконат-титанат свинцю) та ТБ (титанат барію).

Конструктивно п’єзоелектричні перетворювачі є пластинами різної форми, поверхня яких вкрита тонким шаром металу. Крім пластинчатих перетворювачів виготовляють перетворювачі циліндричної та сферичної форми.

З точки зору електрики п’єзоперетворювачі характеризуються статичною та динамічною ємностями. А під час їх дії на навантаження (випромінювання акустичних хвиль), особливо на резонансній частоті, перетворювач споживає активну потужність, тобто він має активну складову повного опору. Величина цієї складової залежить від частоти та акустичних властивостей того середовища, в яке випромінюються хвилі (механічний опір навантаження).

Під час дії частина споживаної енергії втрачається у перетворювачі під час його переполярізації. Ці втрати характеризуються тангенсом кута діелектричних

втрат. При збудженні акустичних хвиль частина їх механічної енергії також розсіюється у перетворювачі. Ці втрати обумовлюють енергетичні показники перетворювача. Сучасні матеріали, що застосовуються в перетворювачах дозволяють досягнути досить великих значень ефективності (ККД становить понад 70 %).

7 Контрольні запитання

7.1 Пояснити принцип дії п’єзоелектричного перетворювача.

7.2 Що таке резонансна частота перетворювача і від чого вона залежить?

7.3 Як експериментально визначається резонансна частота?

7.4 Що таке п’єзоелектричний ефект?

7.5 З яких матеріалів виготовляють п’єзоелектричні перетворювачі?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15
ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТОСТРИКЦІЙНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Мета роботи

Вивчення конструкції і дослідження характеристик магнітострикційних перетворювачів

1. Програма роботи

1.1 Вивчити конструкцію магнітострикційного перетворювача.

1.2 Визначити резонансну частоту наявного магнітострикційного перетворювача.

1.3 Визначити статичну індуктивність перетворювача.

1.4 Розрахувати швидкість звуку і визначити матеріал, з якого виготовлений перетворювач.

2. Вказівки щодо підготовки до виконання роботи

2.1 Вивчити природу магнітострикційного ефекту.

2.2 Вивчити типи магнітострикційних перетворювачів.

3. Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

3.1 Вивчити будову магнітострикційних перетворювачів на робочому місті.

3.2 Дослідити електричні і акустичні характеристики пакетного магнітострикційного перетворювача ПМС 1-1 відповідно до п. 5.

4. Зміст звіту

4.1 Навести у вигляді таблиці результати досліджень і розрахунків.

4.2 Зробити висновки з роботи.

5. Методика виконання роботи

Визначення резонансної частоти здійснюється по максимуму споживаного струму, при якому величина вихідної напруги генератора ГЗ-33 буде мати умовний мінімум.

Статична індуктивність перетворювача визначається методом амперметра і вольтметра при частоті 50 Гц.

Результати дослідів заносяться до таблиці. Після зняття дослідних даних здійснюється визначення розрахункових величин.

5.1 Методика обробки експериментальних даних

Статична індуктивність

$$L_c = \frac{U}{2\pi \cdot f \cdot I}, \tag{15.1}$$

де U – напруга на магнітострикційному перетворювачі, В;

L_c – статична індуктивність, Гн;

f – частота мережі, Гц; (f = 50 Гц);

I – струм, А.

Швидкість звуку

$$c = 2\, l\, f_p, \tag{15.2}$$

де l – довжина пакету магнітострикційного перетворювача, м (l = 0,1 м)

f_p – резонансна частота перетворювача, Гц.

Таблиця 15.1 – Результати дослідження перетворювача ПМС І-І

Виміряно				Розраховано		
Напруга (U)	Струм (I)	Частота (f)	Потужність, (P)	Швидкість звуку (c)	Статично індуктивність (Lc)	Матеріал
В	А	кГц	Вт	м/с	Гн	

6. Пояснення до роботи

Лабораторна установка складається з генератора ГЗ-33, магнітострикційного перетворювача ПМС І-І, джерела зниженої напруги частотою 50 Гц, комплекту вимірювальних приладів.

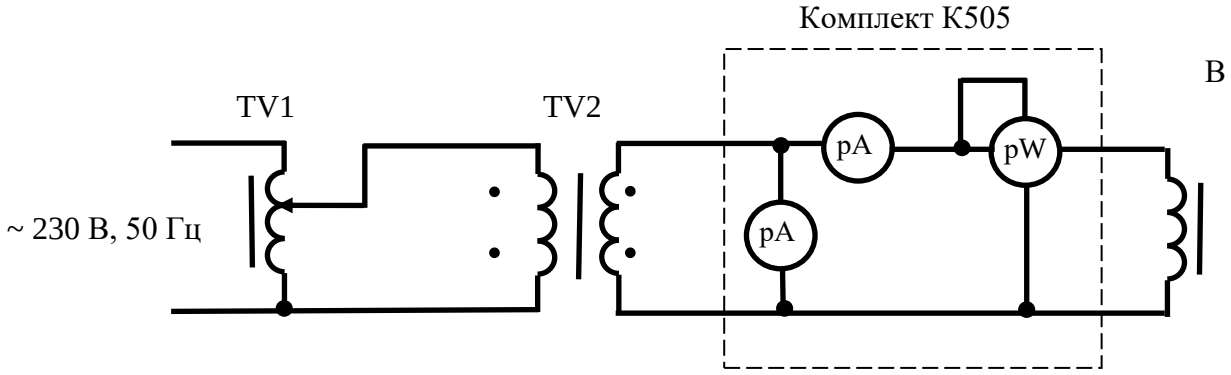


Рисунок 15.1 – Схема вимірювання статичної індуктивності магнітострикційного перетворювача

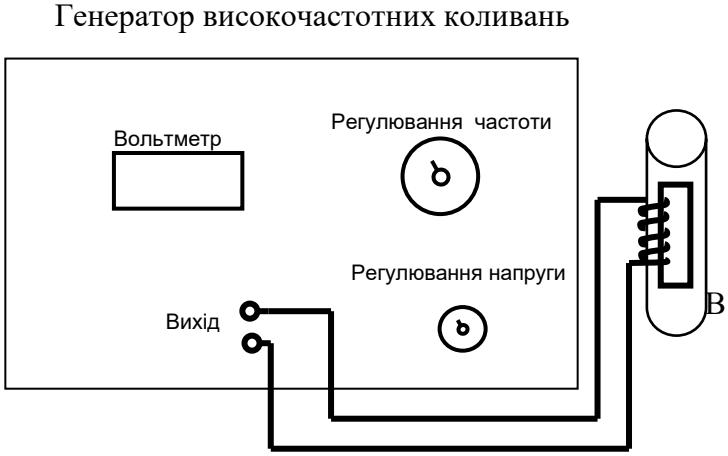


Рисунок 15.2 – Схема вимірювання резонансної частоти магнітострикційного перетворювача

Діапазон частот генератора ГЗ-33 – 0–250 кГц, напруга змінюється в межах 0–100 В.

Довжина пакета магнітострикційного перетворювача ПМС І-І l = 10 см.

7 Контрольні запитання

7.1 Пояснити принцип дії магнітострикційного перетворювача.

7.2 Що таке резонансна частота перетворювача і від чого вона залежить?

7.3 Чому в перетворювача низький ККД?

7.4 Як експериментально визначається резонансна частота?

7.5 Що таке магнітострикційний ефект?

7.6 Навіщо перетворювачеві роблять підмагнічування?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Бацуровська, І. В. (2021). Електротехнології. МНАУ, 258 с.

2. Шебанін, В. С., Бацуровська, І. В., Гавриш, В. І., & Грубань, В. А. (2022). Електротехнології в АПК. МНАУ, 326 с.

3. Кушлик, Р. В., Назаренко, І. П., & Кушлик, Р. Р. (2021). Практикум з навчальної дисципліни «Електротехнології і теплові процеси». ФОП Ландар С. М., 113 с.

4. Мельничук, В. В., Муляр, О. Д., Тимків, В. В., & Войцицький, А. П. (2024). Електротехнологія. ПП «Рута», 152 с.

5. Бржезицький, В. О., Козюра, В. В., & Козюра, В. М. (2016). Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та сільськогосподарському виробництві. Ч. 2: Технології, засновані на силовій дії електричних і магнітних полів. ФЕА НТУУ «КПІ», 119 с.

6. Матвійчук, В. А., Рубаненко, О. Є., & Стаднійчук, І. П. (2020). Електротехнології в АПК. ТОВ «ТВОРИ», 272 с.

7. Електротехнологічні установки та системи. (2020). КПІ ім. Ігоря Сікорського, 136 с.

8. Мельничук, В. В., Муляр, О. Д., Тимків, В. В., & Войцицький, А. П. (2024). Електротехнологія. ПП «Рута».

ДОДАТКИ

Додаток А

(обов'язковий)

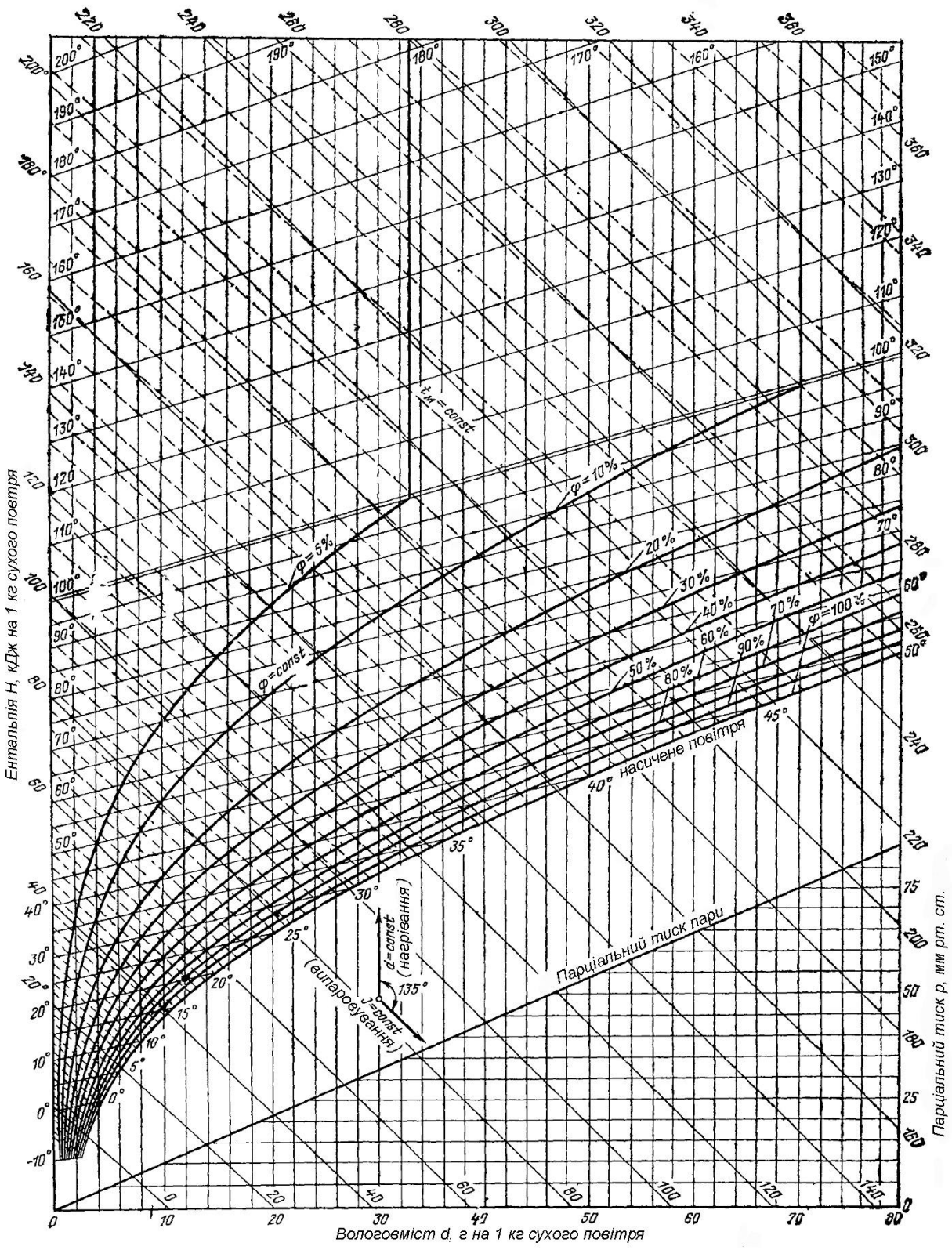


Рисунок А.1 – H,d-діаграма для вологого повітря при $p = 745$ *мм рт. ст.*

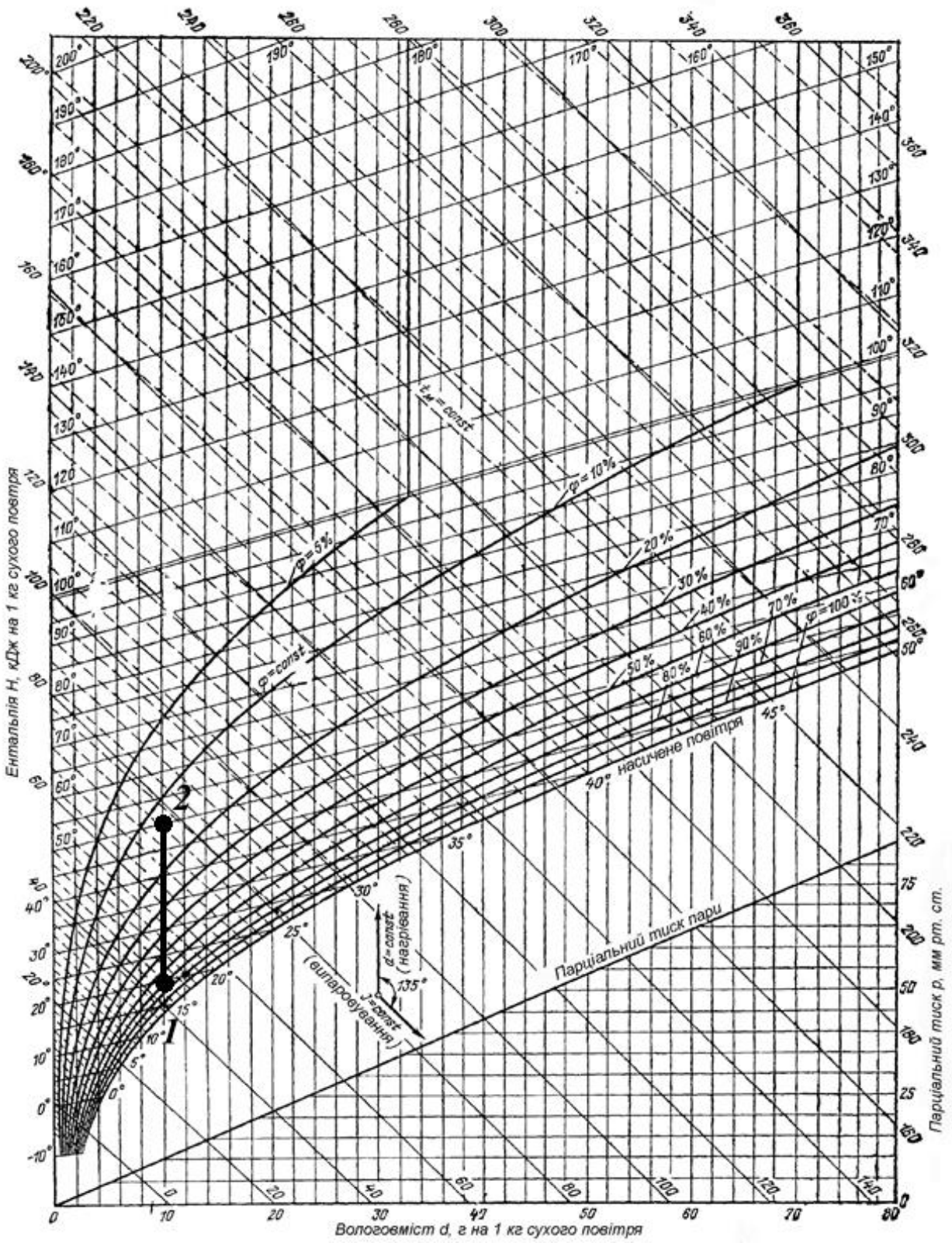


Рисунок А.2 – H,d-діаграма для вологого повітря з процесом 1–2 нагрівання повітря у електрокалориферній установці від точки *1* (t_1=20 °С; φ_1=70 %) до точки *2* (t_1=50 °С; φ_2=13 %)

Додаток Б

(обов'язковий)

Інструкція з будови та використання електроогорожі на пасовищах для великої рогатої худоби

ПРИЗНАЧЕННЯ ТА БУДОВА СТАЦІОНАРНОЇ ЕЛЕКТРООГОРОЖІ

Пропонована огорожа призначена для огородження чергових загінок і порцій у них на пасовищах для великої рогатої худоби та її молодняку, а також вигульних майданчиків на фермах, прифермських ділянок та тваринницьких комплексів. Вона складається із стаціонарної і переставної частин. Типова схема такої огорожі наведена на рис. Б.1.

У стаціонарну частину огорожі входять генератор високовольтних імпульсів І та скотопрогін ІІІ.

Типова схема стаціонарної пасовищної електроогорожі

Скотопрогін призначений для спрямування гуртів худоби від ферми ІІ до чергової умовної загінки IV–VII і у зворотному напрямку. Він обмежує одну, а іноді дві сторони загінки. Скотопрогін має ворітні проходи відповідно до кількості умовних загінок. Кожний ворітний прохід, в свою чергу, обладнується перемичкою, яка служить для спрямування худоби в конкретну загінку.

Для того, щоб потік худоби спрямовувався у загінку плавно, перемичка повинна перекривати скотопрогін під тупим кутом. Щоб цього досягти, ворітний прохід роблять в 1,1 рази ширшим від ширини скотопрогону.

Для стаціонарної огорожі слід застосовувати дерев'яні стовпчики довжиною 1,6–1,8 м, або стандартні залізобетонні опори. Натяжні, ворітні і кутові опори забивають на глибину 0,8 м, підтримуючі – на глибину 0,6 м. Застосування дерев'яних опор більш доцільне, так як при цьому менше засмічуватиметься пасовище. Для збільшення строку служби їх обкорують, а кінці, які входять в ґрунт, засмолюють.

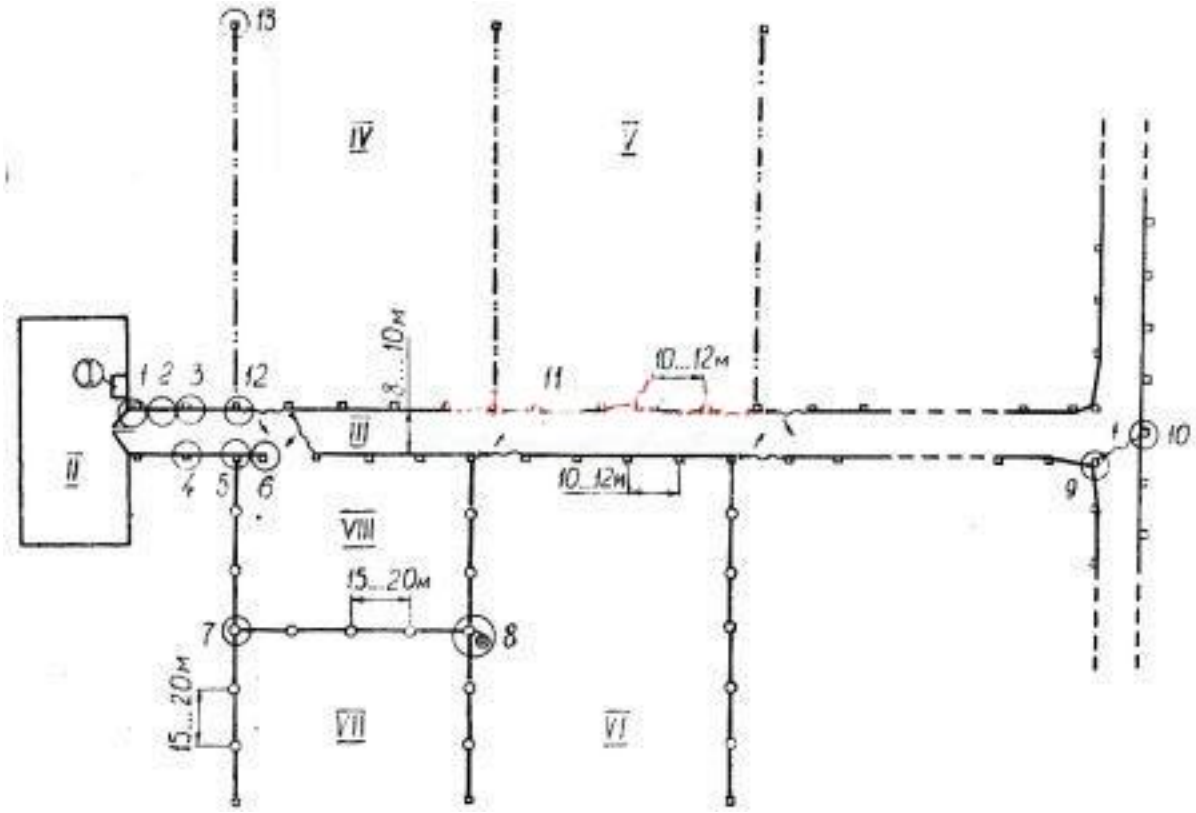


Рисунок Б.1 – Схема стаціонарної пасовищної електроогорожі:
I – генератор високовольтних імпульсів; II – ферма, або літній табір;
III – скотопрогін; IV–VII – умовні загінки; VIII – порція.
1 – натяжна опора; 2 – підключення генератора до огорожі;
3, 4 – підтримуючі опори; 6, 10, 11, 12 – ворітні опори; 5, 9 – кутові опори;
13 – натяжна опора «маяк»

Струмопроводом у скотопрогоні служить стальний оцинкований дріт діаметром 2–2,5 мм, закріплений за допомогою спеціальних поліетиленових ізоляторів (ІСП) на висоті 85–90 см. Якщо в огорожі застосовуються залізобетонні стовпці, то ізолятори монтують на дерев'яних брусках розміром 4х5х20 см, які, у свою чергу, прикріплюються до опори в'язальним дротом. Якщо опори дерев'яні, то ізолятор прикріплюють безпосередньо до опори на попередньо зачищене місце. Провисання струмопровідного дроту в прольотах не повинно перевищувати 15 см.

Скотопрогін прокладають, починаючи безпосередньо від воріт вигульної площадки ферми чи літнього табору, вздовж усього пасовища. Ширина скотопрогону залежить від величини стада, яке випасається, стану покриття і становить 8–12 м.

Відстань між стовпцями скотопрогону залежить від товщини дроту і повинна бути в межах 8–15 м. Скотопрогін слід влаштовувати так, щоб зручно було розбивати всю площу на умовні ділянки. Якщо ширина пасовища не більша 500 м, то скотопрогін доцільно прокладати по одному краю вздовж пасовища. Якщо ширина пасовища становить понад 500 м, то скотопрогін прокладають посередині пасовища, а умовні ділянки намічають з обох боків прогону. Коли ширина пасовища перевищує 1000 м, то влаштовують два скотопрогони. По можливості їх слід прив'язувати до доріг, але так, щоб не перешкоджати рухові транспорту, а також вздовж меліоративних каналів, річок на відстані 2–3 м від їх краю, де ґрунт швидше висихає і менше пошкоджується худобою.

При виборі траси проходження електроогорож необхідно враховувати особливості пасовища, а саме: його рельєф, рослинність, дані про підземні споруди і технічні засоби в зоні передбачуваного будівництва, пролягання високовольтних ЛЕП, розташування пасовища відносно ферми. При виборі траси намічаються місця влаштування воріт. Якщо ділянки випасання розміщені з обох боків скотопрогону, то, щоб зменшити вибивання поверхні прогону в зоні воріт, протилежні ворітні проходи слід змістити один відносно другого на величину, не меншу від ширини одного проходу. При розбивці пасовища на умовні ділянки враховують цикли його використання.

Цикл випасання залежить від біокліматичних умов відростання трав і в різні періоди сезону може коливатись від 20 днів весною до 40 днів восени. Худобу в одній загінці випасають не довше 4 днів. Щоб зберегти високу продуктивність пасовища на тривалий час, необхідно застосовувати пасовищну сівозміну. Кількість умовних загінок, на яку необхідно поділити загальну площу пасовища, можна визначити за формулою:

$$n = \frac{i \cdot p}{g},$$

де n – кількість умовних загінок;

i – тривалість циклу, днів;

g – середня тривалість випасання однієї загінки, днів;

p – кількість гуртів худоби.

Таблиця Б.1 – Орієнтовна потреба матеріалів для влаштування електроогорожі для одного гурту ВРХ (200 гол.)

Матеріал	Одиниці вимірювання	Кількість
Дріт оцинкований діаметром: 2,5 мм	кг	240
якщо 2,0 мм, тоді	кг	150
Стовпці залізобетонні або дерев'яні	шт	300
Труба пластмасова водопровідна з внутрішнім діаметром 25–30 мм	м	5
Ізолятори поліетиленові типу ІСП	шт	500
Ізолятори керамічні такелажні (барс)	шт	50
Ізолятори гакові опорні керамічні	шт	50
Пружини дверні	шт	10
Кабель високовольтний одножильний	м	25
Стержні з ізоляторами	шт	110
Бруски дерев'яні розміром 200х30х40мм (при застосуванні залізобетонних стовпців)	шт	300
Дріт стальний оцинкований Ø 1,2 мм на котушках з розрахунку на гурт худоби	м	2000
Дріт в’язальний (при застосуванні залізобетонних стовпців)	кг	10
* вага 1000 м дроту Ø 2,5 мм	кг	40
якщо Ø 2,0 мм	кг	30

При розбивці загінок слід враховувати те, що ширина загінки повинна забезпечити оптимальний фронт годівлі гурту, тобто 0,5 м в середньому на одну голову.

Переставна огорожа обмежує умовну загінку з трьох боків. Дві вітки з’єднують скотопрогін з ізоляторами стовпців "маяків", а третя, поперечна,

служить для виділення чергової порції випасання. Підтримуючі опори виготовляють із металу або склопластику. При цьому склопластикові опори набагато легші від металевих.

Струмопроводом переставної частини електроогорожі служить стальний оцинкований дріт діаметром 1,2 мм у котушках довжиною 500–600м.

КОНСТРУКЦІЯ ОПОР ЕЛЕКТРООГОРОЖІ

Струмопровідний дріт стаціонарної частини електроогорожі закріплюється за допомогою ізоляторів до спеціальних опор. За функціональним призначенням опори можна поділити (див. рис. Б.1) на: натяжні 1; підтримуючі 3, 4; ворітні 6, 10, 11, 12 і кутові 5, 9. До натяжних слід віднести також опори-«маяки» 13, які встановлюються стаціонарно в протилежних від скотопрогону кутах умовних загінок.

На рис. Б.2 показано конструктивні особливості типових опор електроогорожі. Для більшої наочності нумерація опор на цьому і подальших рисунках збережена відповідно до типової схеми (див. рис. Б.1).

На рис. Б.2 подано два варіанти натяжних опор. Крайні натяжні опори 1 встановлюють на кінцях скотопрогону, або відгалуджень стаціонарної частини огорожі. Для забезпечення належної стійкості їх доповнюють механічними відтяжками або анкерними підпорами. Для ізоляції струмопровідного дроту від такої опори та створення відповідного його натягу застосовують ізолятори типу «барс», який витримує значні навантаження.

Натяжні опори-«маяки» 13 служать орієнтирами для відділення сторін чергових умовних загінок. Вони не сприймають суттєвих бокових навантажень, тому укріпляти їх боковими відтяжками чи підпорами немає потреби. Кожен «маяк» обладнують опорним гаковим ізолятором і стержнем для встановлення на ньому котушки.

Конструкція натяжних опор

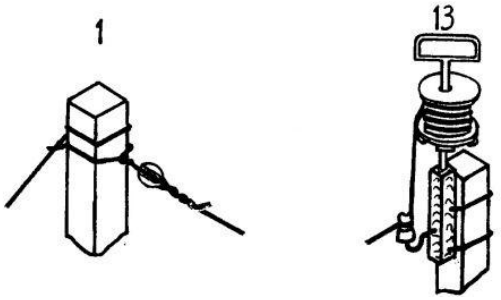


Рисунок Б.2 – Конструкція натяжних опор:
1 – крайня натяжна опора з відтяжкою; 13 – натяжна опора-«маяк» з встановленою на ній котушкою

На рис. Б.3 зображено варіанти підтримуючих опор. Ізолятори і дріт, як видно з рисунка, закріплюються з боку скотопрогону. На таких опорах використовують спеціальні поліетиленові ізолятори (ІСП).

Конструкція підтримуючих опор і елементи підключення огорожі до генератора

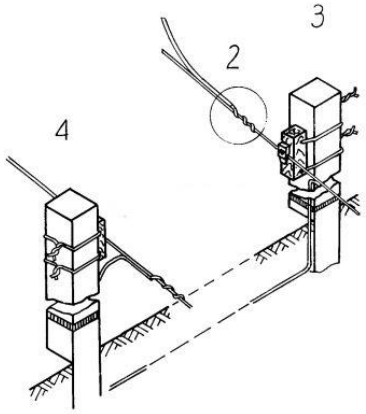


Рисунок Б.3 – Конструкція підтримуючих опор: 2 – підключення генератора до дроту огорожі; 3, 4 – підтримуючі опори з перемичкою між ними

На рис. Б.3 також показана перемичка для передачі напруги між рядами скотопрогону. Якщо скотопрогін використовується інтенсивно, але не має твердого покриття в даному місці, то кабель перемички доцільно захистити пластмасовою чи металевою трубою. Місця підключення генератора і перемички

захищають ізоляційною стрічкою. Перемичку влаштовують у 2–3 місцях скотопрогону.

На рис. Б.4 показано чотири варіанти ворітних опор. Ворітна опора 6 забезпечена ізолятором "барс" для натягу струмопровідного дроту по скотопрогону

Конструкція ворітних опор

Петля на гаковому ізоляторі виконана тим же дротом (без обриву). Щоб уникнути випадкового замикання на опору огорожі, петлю монтують так, щоб відстань від неї до опори була в межах 10–15 см. Цього правила слід дотримуватись в усіх подібних випадках. Ворітна опора 10 виконує одночасно функції підтримуючої і ворітної опори. Ворітну перемичку монтують на гакових опорних ізоляторах. На рисунку показано техніку кріплення такої перемички.

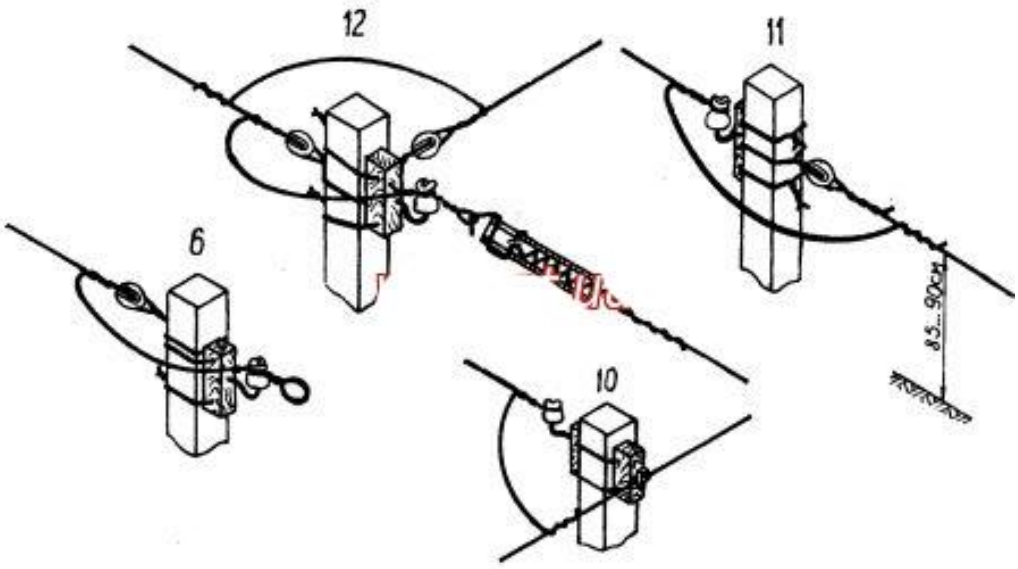


Рисунок Б.4 – Конструкція ворітних опор

Ворітна опора 11 відрізняється від опори 6 лише тим, що в неї гаковий ізолятор є віссю обертання ворітної перемички.

Ворітна опора 12 на відміну від опори 6 обладнана додатковим ізолятором «барс», який служить для періодичного підключення переставної огорожі до скотопрогону. На рисунку показано конструкцію ворітної рукоятки. Вона

складається з 40 – сантиметрового відрізку пластмасової водопровідної труби з гачком, до якого прикріплена пружина. Пружина забезпечує необхідний натяг ворітної перемички. Внутрішній діаметр труби має бути в межах 25–30 см, а зовнішній діаметр пружини дещо менший. Пружина не повинна заклинювати в трубі.

На рис. Б.5 показана ворітня розв’язка електроогорожі із застосуванням прямих стержнів кріплення гакових ізоляторів.

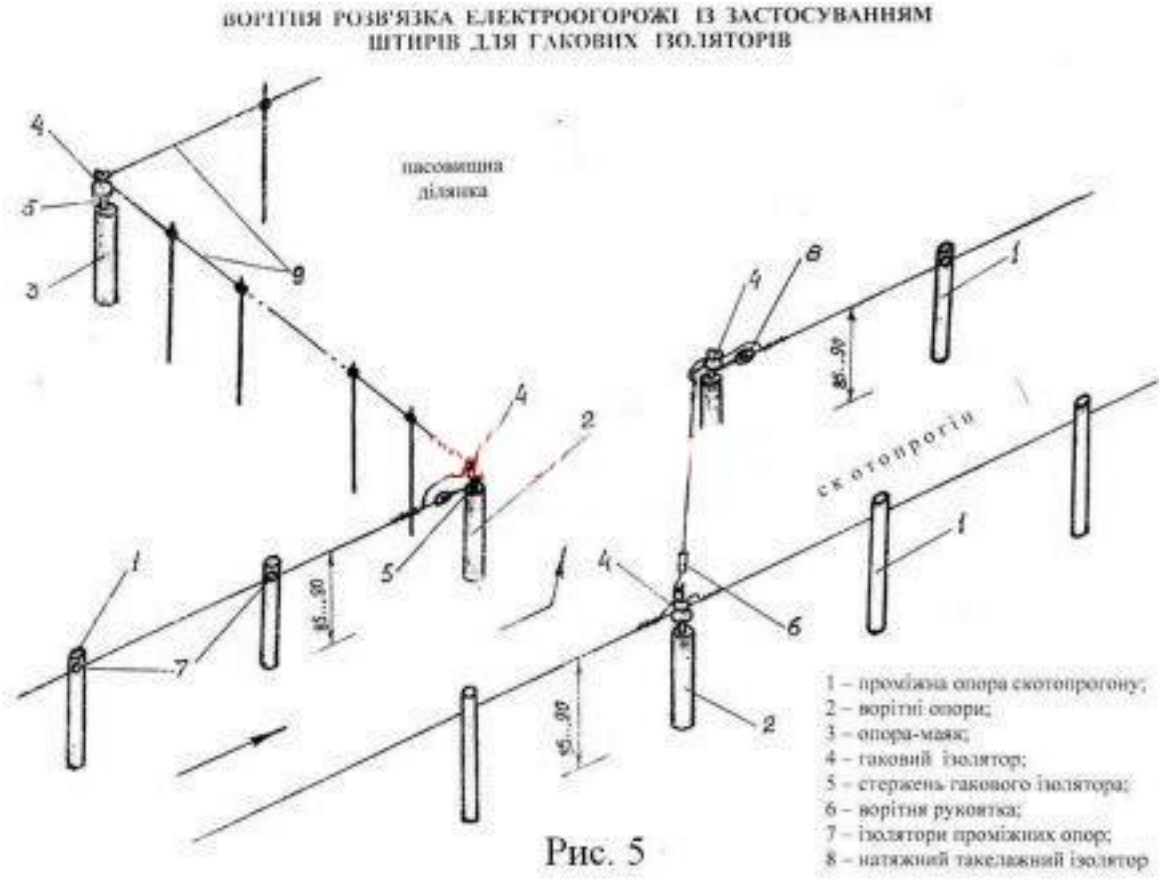


Рис. 5

Рисунок Б.5

Ворітні опори, як правило, виконують одночасно функцію натяжних 6, 11, 12. Тому їх слід забезпечувати анкерними підпорами. Відтяжки в даному випадку не можуть використовуватись, тому що вони перешкоджали б рухові гурту худоби через ворітний прохід. На рис. Б.6 показано варіанти кутових опор.

Конструкція кутових опор

Кутова опора 9 в даному випадку виконує функцію ворітної, а опора 5 – функцію підтримуючої. Типовою відмінністю кутової опори є те, що результуюча зусиль, які діють на неї, збігається з напрямом бісектриси кута між сторонами огорожі. Виходячи з цього, площина, в якій встановлюється анкерна підпора чи відтяжка (де це можливо), повинна співпадати з бісектрисою цього кута.

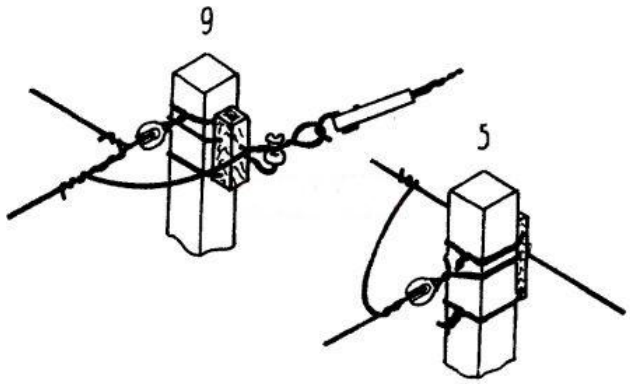


Рисунок Б.6 – Конструкція кутових опор

Для переставної частини електроогорожі використовують стальний оцинкований дріт діаметром 1,2 мм на котушках. Його прокладають за допомогою опор, розміщених з інтервалом 20 м. Про техніку підключення поздовжніх сторін електроогорожі, якими відбивається умовна загінка, дають уявлення рисунки 2 (13) і 4 (12), про техніку підключення поперечної перемички переставної огорожі, якою відбивають чергові порції випасання, – рис. Б.7.

Техніка підключення поперечної перемички

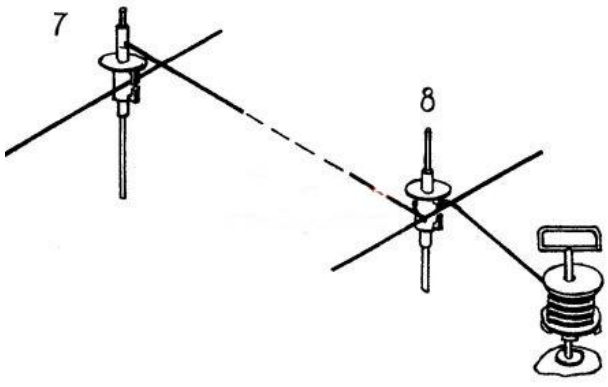


Рисунок Б.7 – Техніка підключення поперечної перемички

ГЕНЕРАТОР ВИСОКОВОЛЬТНИХ ІМПУЛЬСІВ

Призначення та принципова схема. Генератор високовольтних імпульсів (ГВІ) призначений для перетворення енергії змінного струму промислової частоти в енергію високовольтних гостроконечних імпульсів для живлення пасовищної електроогорожі (ЕО).

Електрична схема ГВІ (рис. Б.8) включає три функціональні блоки: блок живлення, генератор накачки і високовольтний накопичувач електричної енергії.

Блок живлення складається із резистора *R3* і конденсатора *C1*, які обмежують струм у схемі в момент короткого замикання, випрямляча, виконаного за мостовою схемою напівпровідникових діодах *Д1…Д4*, і накопичувального конденсатора *C2,* який виконує функцію згладжуючого фільтра.

До складу генератора накачки входять: керуючий релаксаційний генератор, зібраний на резисторах *R4–R*5, конденсаторі *C3* і динисторі *Д5;*тиристор КУ 202Н з колом керування *R6, Д7;* резистор *R7*, який обмежує напругу імпульсу керування, і високовольтний імпульсний трансформатор ТР.

Високовольтний блок складається з однонапівперіодичного випрямляча, зібраного на високовольтному діоді *Д9,* накопичувального високовольтного конденсатора *C4*, розрядного опору *R8*, розрядника *P*, опору *R9*, який шунтує навантаження ЕО.

ГВІ працює таким чином. При вмиканні тумблера ВІ на дверцях ГВІ засвічується неонова лампочка $Л_1$. Змінний струм, проходячи через резистор *R3* і конденсатор *C1*, випрямляється двопівперіодною мостовою схемою *Д1–Д4,* заряджає конденсатор *C2* до напруги 300 В (осцилограма 1). У цей момент через резистори *R4, R5* конденсатор *C3* заряджається до порогової напруги спрацьовування динистора *Д3* (осцилограма 2). Потім відкривається динистор *Д5* і через коло *R6* і *Д7,* керуючий електрод тиристора *Д8* і первинну обмотку імпульсного трансформатора ТР розряджається конденсатор *C3* (осцилограма 3).

При відкритті тиристора конденсатор *C2* розряджається через первинну обмотку імпульсного трансформатора ТР (осцилограма 4) і індукує у його

вторинній обмотці імпульс високої напруги. Через діод *Д9* заряджається одно полярним імпульсом високовольтний конденсатор *С4*. Потім цикл повторюється доти, поки напруга на конденсаторі *С1* підніметься до рівня пробивної напруги (4 кВ) повітряного зазору розрядника P_4 (осцилограма 5). У цей момент конденсатор *С4* повністю розряджається на резистор *Д9*, або тварину, яка торкнулася провідника ЕО. Потім накачка конденсатора *С4* високовольтними імпульсами повторюється.

Резистор *R8* призначений для прискореного звільнення конденсатора *С4* від заряду. ГВІ може працювати цілодобово. Зазор в розряднику зумовлює величину імпульсу напруги в системі і повинен знаходитись в межах 1–1,5 мм. При тривалій роботі ГВІ електроди зношуються, на їх робочих поверхнях утворюються раковини, які щомісяця під час пасовищного сезону необхідно зачищати натфільним напилком, або дрібнозернистим наждачним папером.

Принципова схема генератора високовольтних імпульсів із осцилограмами в характерних точках

Після чистки електродів треба відрегулювати зазор. Крім того, на ізоляційній пластині, на якій кріпляться електроди, під час роботи ГВІ осідає металічний пил, який з часом може спричинити коротке замикання між електродами. Це може призвести до раптового збільшення частоти високовольтних імпульсів (10 Гц і більше) в ЕО і до нещасних випадків при дотику до провідника ЕО. Тому при ремонті не слід забувати і про чистку поверхні ізоляційної пластини під електродами. В процесі експлуатації ЕО необхідно стежити, щоб не було короткого замикання ЕО на землю; в такому разі система працює низькоефективно, а електроди зношуються швидше. При наявності короткого замикання в ЕО розряд між електродами розрядника прослуховується сильніше.

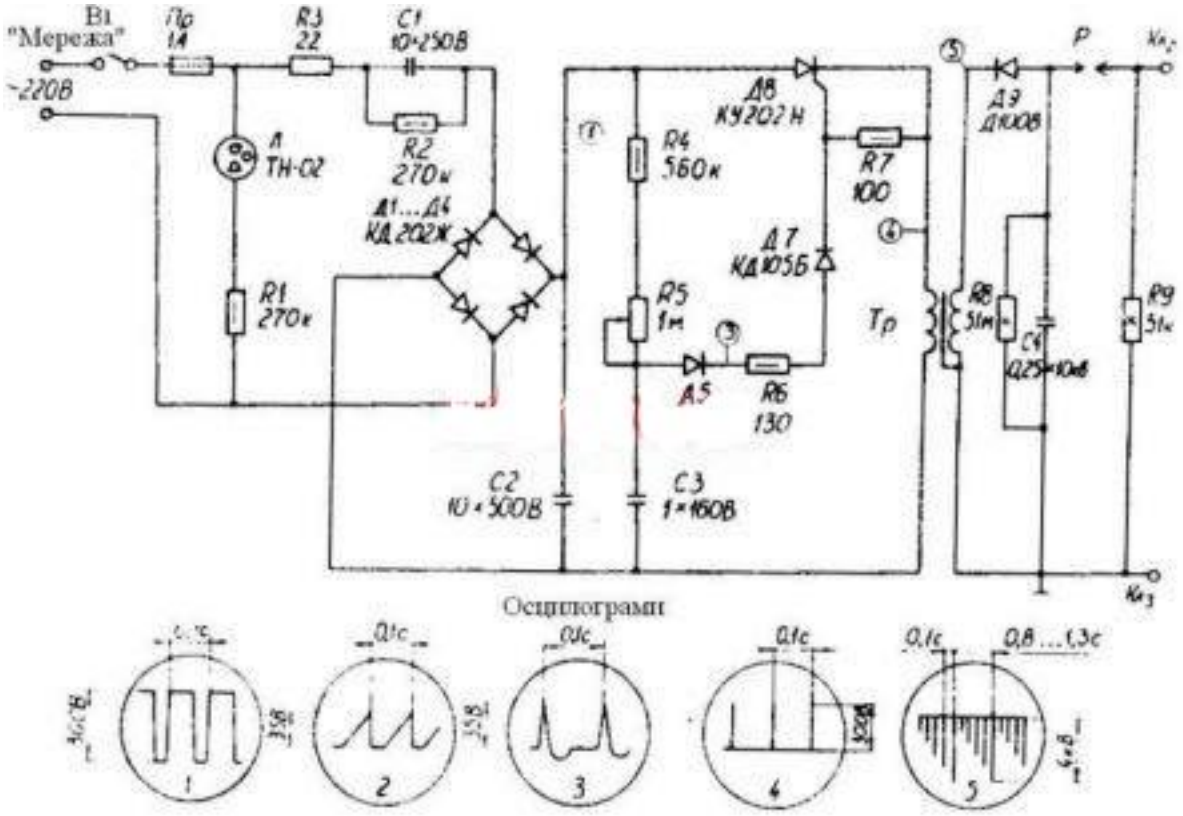


Рисунок Б.8 – Принципова схема генератора високовольтних імпульсів із осцилограмами в характерних точках

Технічна характеристика ГВІ

Довжина електричної лінії (електроогорожі), км	до 25,0
Частота імпульсів, Гц	1,0
Амплітуда напруги імпульсів, кВ	4,0
Сила струму імпульсів, А, при навантаженні 1000 Ом	4,0
Тривалість дії імпульсу, мс	0,6
Потужність споживання, Вт	до 30,0
Напруга живлення, В	230±20
Габаритні розміри, мм	400 х 400 х 250
Маса, кг	до 15,0

Монтаж генератора

Генератор високовольтних імпульсів монтують, як правило, в одному із сухих незапилених приміщень ферми, при умові зручного доступу до нього. Можна монтувати і безпосередньо на пасовищі, але для цього генератор слід

захистити від атмосферних опадів і прямих сонячних променів, помістивши його в спеціальний ящик. В обох випадках до генератора не повинні мати доступ сторонні особи. На рис. Б.9 наведено схему монтажу генератора.

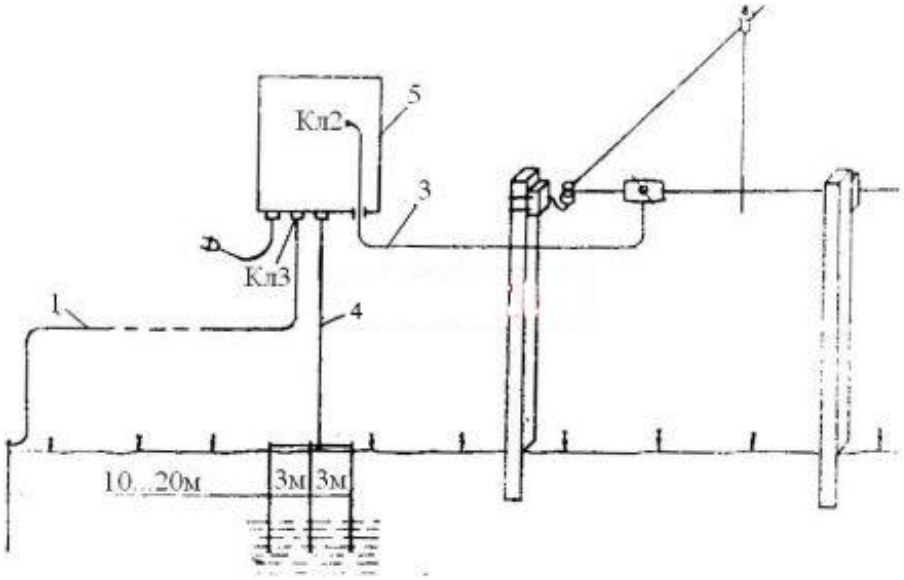


Рисунок Б.9 – Схема монтажу генератора:
1 – заземлення клеми Кл.3 генератора (див. рис. Б.8); 2 – заземлення корпусу генератора; 3 –підключення високовольтного кабелю до ЕО

При монтажі генератора заземлення клеми Кл.3 має забезпечувати опір розтіканню струму не більше 25 Ом. З метою зниження цього опору допускається зволоження ґрунту водним розчином каустичної соди на місці контуру заземлення. Не слід допускати утворення конденсату на внутрішній поверхні генератора, оскільки це сприяє струмовитоку на поверхні вузлів і деталей.

Усім з’єднанням, як генератора з огорожею, так і між окремими її ділянками, слід забезпечити надійний електричний контакт. Це необхідно для нормального протікання імпульсів, а також для уникнення можливих радіоперешкод.

Характерні несправності ГВІ і способи їх усунення

Таблиця Б.2 – Характерні несправності ГВІ і способи їх усунення

Ознаки несправності	Причини несправності	Спосіб усунення
Генератор не працює, не горить індикатор живлення	Перегорів запобіжник. Несправності в мережі живлення	Замінити запобіжник. Відремонтувати мережу живлення
За допомогою регулятора не встановлюється частота імпульсів	Напруга живлення не відповідає допустимій. Порушена величина повітряного зазору іскрового розрядника	Відрегулювати напругу живлення. Відрегулювати зазор розрядника до 1–1,5 мм
Періодично зривається генерація	Несправна електромережа живлення (великий опір у контактах з'єднання провідників лінії), що зумовлює значний спад напруги в лінії, несправний тиристор	Усунути несправності на лінії живлення генератора. Ввімкнути стабілізатор напруги СН 350 між електромережею живлення і генератором. Замінити тиристор.
Підгоряють електроди іскрового розрядника. Цей процес характеризується збільшенням сили розряду між електродами розрядника	Тривале коротке замикання на лінії електроогорожі	Виявити та усунути коротке замикання на лінії електроогорожі

ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Заходи з техніки безпеки при використанні ЕО на культурних пасовищах здійснюються у відповідності з чинними в Україні нормативними документами: Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), Правил влаштування електроустановок (ПВЕ) та Правил технічної експлуатації (ПТЕ) електроустановок споживачів.

1. Перед початком роботи слід переконатись щодо комплектності ЕО, цілісності ізоляції та заземлення.

2. Монтаж генератора високовольтних імпульсів (ГВІ) слід проводити згідно рис. 9 (коли його корпус металевий).

3. Не дозволяється встановлювати генератор поблизу будівель з легкозаймистих матеріалів, так як хвиля атмосферних напруг (гроза) може викликати пожежу.

4. Заземлювач корпусу генератора імпульсів повинен мати опір не більше 4 Ом.

5. Заземлювачі технологічного заземлення слід розміщати не ближче 20 м від заземлювачів корпусу генератора. Опір повинен становити не більше 25 Ом.

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ підключати технологічне заземлення до контурів заземлення електроустановок, до заземлення будинків або водопровідних труб.

6. ГВІ не можна підключати до колючого дроту.

7. Проектування загінок для випасання ВРХ та монтаж опор і проводів слід проводити згідно інструкції з влаштування ЕО.

8. До провідника ЕО дозволяється підключати тільки генератор імпульсів, який входить в склад даного комплекту. Підключення до ЕО інших джерел електричного струму, наприклад, акумуляторів, анодних батарей, електричної мережі КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ, тому що в таких випадках ЕО буде або неефективною, або СМЕРТЕЛЬНО НЕБЕЗПЕЧНОЮ для людей і тварин.

9. При з'єднані ГВІ з ЕО слід використовувати високовольтний кабель, який входить у склад комплекту ЕО.

10. Електричний удар від дотику до діючої ЕО безпечний для життя і здоров'я людини, але дуже неприємний, тому треба уникати безпосереднього дотику до провідника чи котушки та інших струмоведучих елементів ЕО.

11. ЕО та провідники їх живлення не дозволяється кріпити до щогл високовольтних мереж або мереж зв’язку.

12. Провідники ЕО повинні бути ізольовані від опор огорожі та інших предметів, які не входять до складу огорожі.

13. ЕО повинні монтуватись на відстані не менше 1 м від проїжджої частини дороги.

14. Якщо неможливо уникнути влаштування ЕО поблизу ліній електропередачі або під ними, треба вияснити їх номінальну напругу, звернувшись у відповідні електропостачальні організації, наприклад, районне управління електромереж, і при монтажі дотримуватись наведених нижче вимог.

15. Якщо ЕО проходить поблизу повітряної лінії з номінальною напругою менше 1000 В, або під нею, то в межах захисної смуги 1,5 м з обох боків від кожного крайнього проводу монтажна висота провідника ЕО повинна бути не більше 2 м.

16. Якщо ЕО проходить поблизу повітряної лінії з номінальною напругою 1–110 кВ, або під нею, то в межах захисної смуги шириною 10 м з обох боків від кожного крайнього проводу провідник ЕО треба монтувати не вище 1 м. Якщо за межами захисної смуги монтажна висота ЕО становить понад 6 м, то з відповідного боку захисну смугу необхідно розширити на величину, рівну надлишку висоти.

17. Розміщення ЕО під повітряними лініями з номінальною напругою 110–330 кВ, або поблизу них, треба уникати.

18. При необхідності розміщення ЕО поблизу повітряних ліній з номінальною напругою 110–330 кВ, або під ними, треба виконати такі вимоги:

– в межах захисної смуги шириною 12 м з обох боків від кожного крайнього проводу повітряної лінії монтажна висота провідника ЕО не повинна бути більше 1 м. Якщо за межами захисної смуги вона перевищує 2 м, то з відповідного боку ця смуга повинна бути розширена на величину перевищення;

– провідники ЕО треба монтувати, як правило, під кутом 90^0 до осі повітряної лінії електропередачі (ЛЕП). Перетинаючий провідник ЕО в межах захисної смуги не повинен бути довшим за 50 м;

– ЕО, розміщені паралельно повітряній лінії, не повинні бути в межах захисної смуги довшими за 20 м.

19. Розміщення ЕО під повітряними лініями з номінальною напругою 500–750 кВ в межах небезпечної зони ЗАБОРОНЕНО. Небезпечна зона включає ширину лінії електропередачі плюс 150 м з кожного боку.

20. Під час роботи треба здійснювати нагляд за роботою генератора, цілісністю електроогорожі, наявністю попереджувальних табличок, зміною погодних умов.

21. Не допускати наближення до ЕО сторонніх осіб.

22. В екстремальних ситуаціях необхідно:

– вимкнути подачу електроенергії;

– звільнити потерпілих від дії струму;

– сповістити керівника про непередбачені обставини.

23. На лінії ЕО в добре видимих місцях треба укріпити постійні попереджувальні таблички, які попереджували б про наявність високої напруги.

24. Категорично забороняється знімати захисний щиток (з органічного скла) високовольтного блока генератора АСП 667.00.00.000 і довільно змінювати величину зазору іскрового розрядника, оскільки це призводить (при збільшенні зазору понад 1,5 мм) до зростання амплітуди напруги імпульсу, а при зменшенні зазору – до збільшення частоти імпульсів. В обох випадках це може викликати у тварин і людей шоковий стан, що є небезпечним для життя. Цю операцію може виконувати тільки кваліфікований спеціаліст.

25. Перед тим, як відкрити дверцята генератора, треба вийняти із штепсельної розетки 220 В вилку його живлення.

26. При наближенні грози треба виключити живлення генератора від мережі 220 В і терміново перегнати худобу з пасовища до стійлових приміщень.

27. Ремонт генератора треба виконувати тільки в спеціалізованих майстернях.

28. До обслуговування ЕО допускається персонал, який вивчив правила її експлуатації і ознайомлений з вищенаведеними вимогами техніки безпеки.

УВАГА !!! Недотримання правил техніки безпеки може призвести до нещасних випадків – ураженням електричним струмом.

ДОПОМОГА ТВАРИНАМ У ВИПАДКУ ЇХ УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

При порушенні дихання терміново роблять штучне дихання, розтирають і зігрівають тіло. Дають нюхати нашатирний спирт. Одночасно під шкіру вводять 20 %-ний розчин кофеїну: 2–3 мл невеликим і 15–20 мл крупним тваринам.

Якщо стан тварини не поліпшується, у вену ін'єктують 1 %-ний розчин глюкози (20 мл невеликим і 200 мл крупним тваринам). При набряку легень роблять кровопускання (крупним тваринам 1–2 л), у вену вводять 10 %-ний розчин хлористого кальцію (20 мл невеликим і 150-200 мл крупним тваринам). Тваринам забезпечують повний спокій і спостерігають за ними 2–3 дні.

Не треба закопувати уражених тварин в землю чи засипати землею. Це утруднює їх дихання та кровообіг і не приносить жодної користі.

Козін Віктор Миколайович,
Савойський Олександр Юрійович,
Сіренко Юлія Володимирівна,
Тимошенко Григорій Андрійович,
Мороз Костянтин Вікторович

Електротехнології в АПВ

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт для здобувачів спеціальності G3 Електрична інженерія денної і заочної форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: березень 2026 р. Формат А4: Гарнітура Times New Roman
Тираж: 60 примірників. Замовлення_____ Ум. друк. арк. 7,5