МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший(бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему: *«Прилад для визначення міжвиткового замикання в електродвигуні»*

Виконав: студент (ка) *4* курсу, групи *6.1763-с2*
спеціальності *153 (176) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)
освітньої програми *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва освітньої програми)
Старченко І.І.
(ініціали та прізвище)

Керівник *професор кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н. Ніконова З.А.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент *інженер-конструктор Конструкторського бюро Колосова Григор'єва І.К.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 153 (176) Мікро- та наносистемна техніка
(назва)
Освітня програма Мікро- та наносистемна техніка
(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Т. В.Критська
«03» червня 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Старченко Ігору Ігоревичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Прилад для визначення міжвиткового замикання в електродвигуні*
керівник кваліфікаційної роботи бакалавра *Ніконова З.А., к.т.н.,доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «*23» 12. 2025 р. № 1830-с*
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра *03.06.2026р.*
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра*: прилад для визначення короткого замикання обмотки двигуна: висока чутливість, світловий індикатор; незначні габаритні розміри; можливість регулювання; безтрансформаторне виконання.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *1 Загальні відомості та класифікація електродвигунів 2 Прилад для визначення міжвиткового замикання електродвигуна. 3 Охорона праці та техногенна безпека*
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Л1 Структурна схема приладу для визначення дефектів обмотки Л2 Схема електрична принципова Л3 Результати моделювання в EasyEda Л4 Топологія друкованої плати та 3D модель*

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Ніконова З.А.*	*26.02.2026*
II	*Ніконова З.А.*	*13.05.2026*
III	*Ніконова З.А.*	*30.05.2026*

7. Дата видачі завдання *20.10.2025р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	*Аналіз літератури за темою кваліфікаційної роботи*	*03.11.25 - 30.12.25*	
2	*Написання та оформлення першого розділу*	*05.01. -26.02.*	
3	*Розробка структурної схеми приладу*	*28.02. -06.04.*	
5	*Розробка схеми електричної принципової , виконання розрахунків*	*07.04. -01.05.*	
6	*Розробка топології друкованої плати та 3D моделі*	*02.05. -13.05.*	
7	*Розділ охорони праці та техногенної безпеки*	*13.05. -20.05.*	
8	*Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень*	*21.05. -30.05.*	

студент _____ *Старченко І.І.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Ніконова З.А.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Л. Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить: 62 сторінки, 23 рисунка, 3 таблиці, 21 джерело літератури.

Об’єкт дослідження – електричні двигуни змінного струму.

Мета роботи –розробка приладу для визначення міжвиткового замикання в асинхронному електродвигуні.

Задачі роботи: розробити структурну схему приладу; зробити вибір та розрахунок елементної бази; розробити схему електричну принципову, топологію друкованої плати та 3D модель приладу.

Методика досліджень –розрахунки в MATLAB, моделювання в EasyEda, розробка топології печатної плати за допомогою Sprint Layout.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено схему приладу для виявлення міжвиткового замикання в електродвигуні, що має наступні переваги: простота в роботі та доступність елементної бази, можливість адаптації до різних двигунів, автономність, висока чутливість і наочність результату.

Прогнозні пропозиції – запропонований прилад може використовуватися для виявлення пошкоджень асинхронних електричних двигунів змінного струму.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН, ОБМОТКА, ЗАМИКАННЯ, ОПІР, СТРУМ, СХЕМА, ТОПОЛОГІЯ

Кваліфікаційна робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення в період з 03.11.2025 по 29.05.2026 р.

Зміст

ВСТУП 5

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ 6

1.1 Основні функції та класифікація електродвигунів 6

1.2 Електродвигуни змінного струму 9

1.2.1 Синхронний двигун 10

1.2.2 Асинхронний двигун 11

1.2.3 Режими роботи двигунів 15

2 ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІЖВИТКОВОГО ЗАМИКАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА 19

2.1 Методи визначення міжвиткових замикань 19

2.2 Аналіз схемних рішень 23

2.3 Розробка структурної схеми приладу та вибір елементної бази 28

2.4 Розробка схеми електричної принципової 33

2.5 Моделювання роботи схеми 35

2.6 Топологія друкованої плати 36

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 46

3.1 Шкідливі і небезпечні чинники при виготовленні макету приладу 46

3.2 Заходи для зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів 49

3.3 Виробнича санітарія 52

3.4 Електробезпека 53

3.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека 55

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 58

ЛІТЕРАТУРА 59

ВСТУП

У сучасному світі електрична енергія є основою функціонування практично всіх галузей промисловості, транспорту, енергетики та побуту. Одним із ключових елементів, що забезпечують перетворення електричної енергії в механічну, є електродвигуни. Вони широко застосовуються в різноманітних технологічних процесах — від простих побутових приладів до складних автоматизованих виробничих систем. Надійність і ефективність роботи електродвигунів безпосередньо впливають на продуктивність обладнання, економічні показники підприємств та безпеку експлуатації.

Серед великої кількості типів електродвигунів особливе місце займають асинхронні двигуни, які відзначаються простотою конструкції, відносно низькою вартістю, високою надійністю та довговічністю. Саме тому вони отримали найширше розповсюдження в промисловості України та світу. Однак навіть ці двигуни з часом піддаються зносу та можуть виходити з ладу внаслідок різноманітних факторів, таких як перевантаження, порушення режимів роботи, вплив навколишнього середовища або старіння ізоляційних матеріалів.

Однією з найпоширеніших і водночас найнебезпечніших несправностей електродвигунів є міжвиткове замикання обмоток. Цей дефект виникає внаслідок пошкодження ізоляції між окремими витками провідника, що призводить до їх електричного контакту. У разі несвоєчасного виявлення це може призвести до повного виходу двигуна з ладу, аварійних ситуацій і значних матеріальних збитків [1].

Своєчасна діагностика дефектів, зокрема міжвиткових замикань, дозволяє попередити серйозні пошкодження та продовжити термін служби обладнання. Тож актуальним є питання розробки приладу для виявлення пошкодження ізоляції обмоток в електродвигуні.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

1.1 Основні функції та класифікація електродвигунів

Електродвигуни є ключовими елементами сучасних електромеханічних систем, забезпечуючи перетворення електричної енергії у механічну. Вони широко застосовуються у промисловості, транспорті, побутовій техніці, енергетиці та автоматизованих системах керування. Розвиток електродвигунів нерозривно пов’язаний із зростанням енергоефективності, автоматизації виробництва та впровадженням відновлюваних джерел енергії.

Згідно з оцінками міжнародних енергетичних організацій, понад 45 % всієї виробленої електроенергії споживається електродвигунами різних типів. Це зумовлює необхідність їх ефективної класифікації, дослідження функціональних характеристик та оптимізації режимів роботи.

Електродвигун — це електромеханічний пристрій, який перетворює електричну енергію на механічну. Проте його роль не обмежується лише простим обертанням валу — сучасні електродвигуни виконують цілий комплекс важливих функцій, що забезпечують ефективну роботу різноманітного обладнання. Всі електродвигуни постійного, або змінного струму. Електродвигуни змінного струму призначені для приведення в рух різних механізмів, верстатів, запірної арматури та ін. обладнання в промисловості або різної техніки в побуті.

Електродвигуни постійного струму поширені набагато менше і частіше застосовуються як тягові агрегати на електротранспорті, поїздах,

автонавантажувачах та ін. Основним фізичним законом, що описує створення сили у провіднику зі струмом у магнітному полі, є закон Ампера.

Сила, що діє на провідник [1].:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin(\alpha)$$

де

B – магнітна індукція, Тл

I – сила струму, А

l – довжина провідника, м

α – кут між напрямком струму і магнітним полем

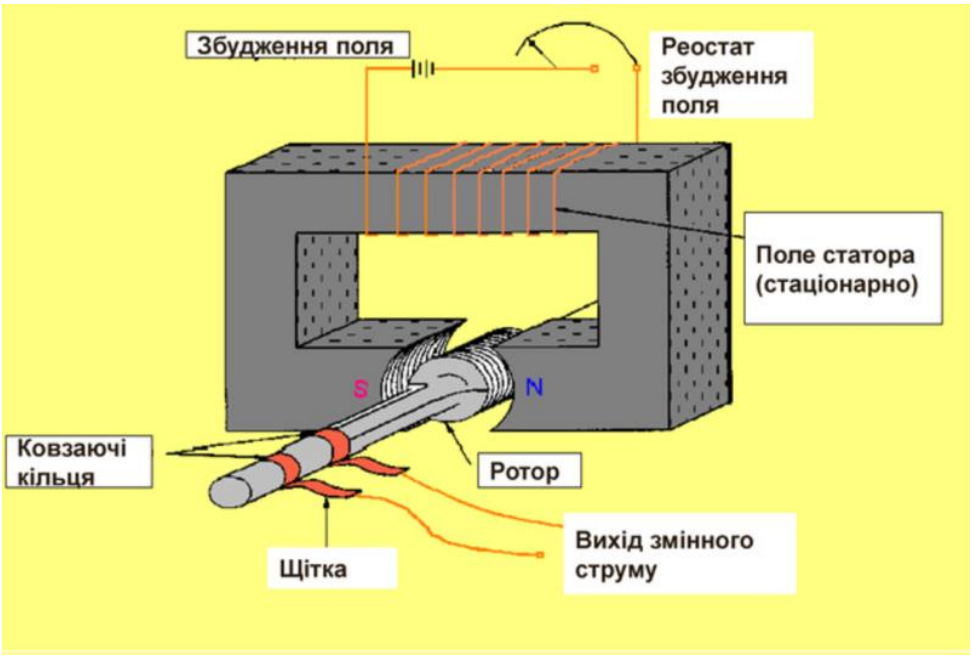


Рисунок 1.1- Будова електродвигуна

Головною функцією електродвигуна є перетворення електричної енергії в механічну. Це відбувається за рахунок взаємодії магнітних полів у статорі та роторі. В результаті виникає електромагнітний момент, який приводить у рух вал двигуна (рис.1.1).

Загальна формула потужності:

$$P = U \cdot I \cdot \eta$$

де

P – механічна потужність, Вт

U – напруга, B

I – струм, А

η – коефіцієнт корисної дії

Механічна потужність на валу двигуна:

$$P = M \cdot \omega$$

де

M – крутний момент, Н·м

ω – кутова швидкість, рад/с

Ця функція є основою роботи багатьох насосів, вентиляторів, компресорів, верстатів та транспортних механізмів.

Електродвигуни забезпечують рух різних механічних систем. Вони можуть передавати обертальний рух:

Крутний момент при цьому визначається за формулою:

$$M = F \cdot r$$

де

r – радіус обертання, м

Сучасні електродвигуни можуть працювати в різних режимах, забезпечуючи: плавний пуск, зміну швидкості обертання, стабілізацію швидкості під навантаженням.

Це особливо важливо для автоматизованих виробничих ліній, робототехніки, систем керування.

Класифікація електродвигунів базується на типі струму, принципі роботи та особливостях конструкції.

Таблиця1.1 - Класифікації електродвигунів [3]

Критерій	Тип двигуна	Підтипи та особливості
Рід струму	Змінного струму (AC)	Поділяються на синхронні та асинхронні.
	Постійного струму (DC)	Бувають з постійними магнітами або з електромагнітним збудженням.
Синхронність	Асинхронні	Найпоширеніші (серія AIP). Швидкість ротора менша за швидкість поля статора («ковзання»).
	Синхронні	Швидкість ротора збігається зі швидкістю магнітного поля статора.
Спеціальні типи	Крокові	Перетворюють імпульси струму в дискретні кутові переміщення (кроки).
	Серводвигуни	Мають зворотний зв'язок для точного керування положенням і швидкістю.
	Лінійні	Забезпечують безпосередній поступальний рух без механічних передач.

1.2 Електродвигуни змінного струму

Електродвигуни змінного струму є одними з найпоширеніших електромеханічних пристроїв у промисловості, транспорті, побутовій техніці та енергетиці. Їх широке застосування зумовлене високою надійністю,

відносною простотою конструкції, довговічністю та економічністю в експлуатації. Серед усіх типів двигунів змінного струму особливе місце займає асинхронний двигун, який вважається найбільш масовим електродвигуном у світі.

1.2.1 Синхронний двигун

Синхронний двигун працює з частотою обертання ротора, яка точно відповідає частоті обертання магнітного поля статора. Ротор таких двигунів комплектується постійними магнітами чи обмотками збудження. Обмотки можуть бути як явнополюсними, так і розподіленими (покладеними в пази ротора). Крім того, ротор синхронної машини може мати короткозамкнуті обмотки. Після розгону ротора до швидкості близької до частоти обертання магнітного поля статора, на котушки полюсів через щітково-контактний вузол подається постійна напруга, яка збуджує постійне магнітне поле. Протилежні полюси магнітних полів притягуються один до одного і частота обертання ротора стає синхронною із частотою магнітного поля статора (рис.1.2) [4].Такі двигуни характеризуються сталою швидкістю обертання, високим ККД і можливістю регулювання коефіцієнта потужності. Водночас їх конструкція складніша, а запуск часто потребує додаткових пристроїв (рис.1.3).

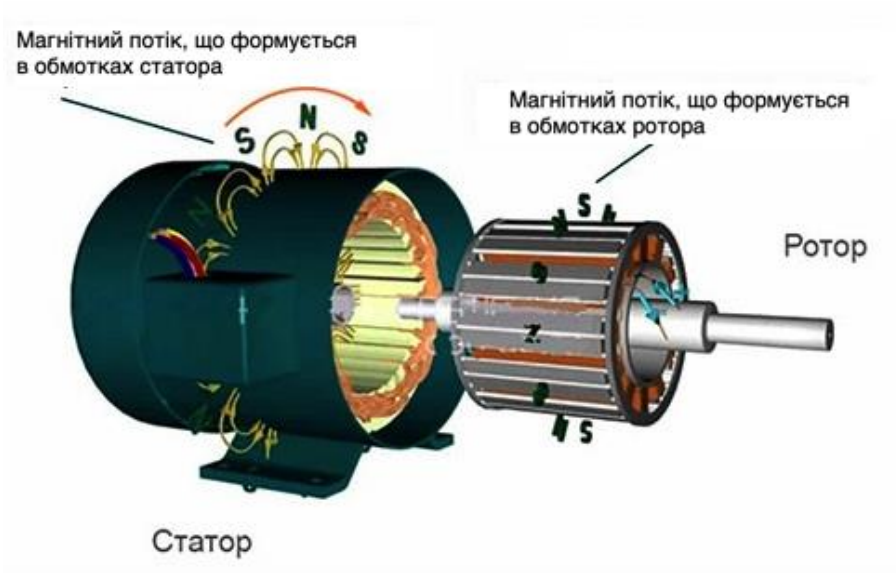
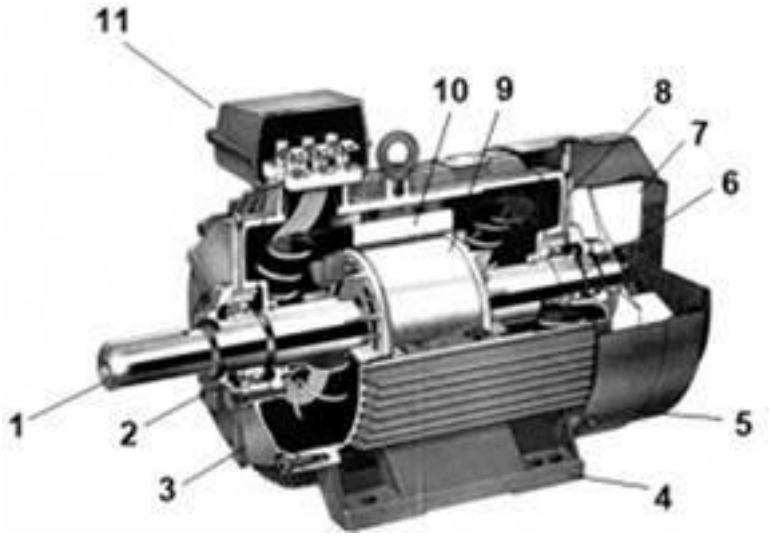
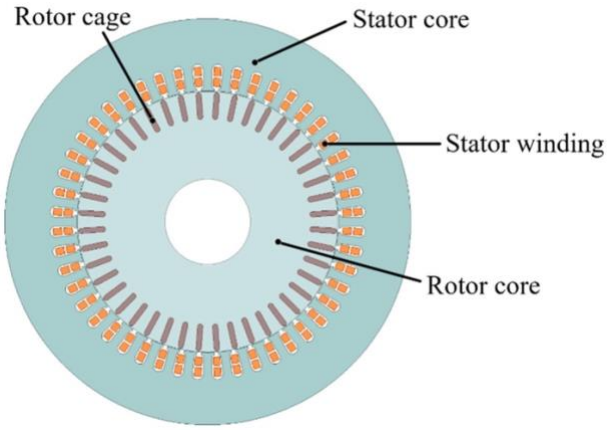


Рисунок 1.2- Конструкція синхронного двигуна

1.2.2 Асинхронний двигун

Асинхронний двигун відрізняється тим, що швидкість обертання його ротора не дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора, а є дещо меншою. Саме ця різниця швидкостей забезпечує появу електромагнітного моменту. Асинхронні двигуни мають просту конструкцію, не потребують складного обслуговування, відзначаються високою механічною міцністю та надійністю.





1 — вал;

2, 6 підшипники;

3, 8 — підшипникові щити;

4 — лапи;

5 — кожух вентилятора;

7 — крильчатка вентилятора;

9 — короткозамкнутий ротор;

10 — статор;

11 — коробка виводів.

Рисунок 1.3- Конструкція асинхронного двигуна [5]

Основні переваги таких двигунів:

- простота конструкції;
- невисока вартість виготовлення;
- відсутність колектора та щіткового вузла у більшості виконань;
- висока надійність;
- простота підключення до мережі змінного струму;
- тривалий строк служби.

До недоліків можна віднести: значні пускові струми, складність плавного регулювання швидкості без спеціальних пристроїв, залежність характеристик від навантаження.

Такий двигун має дві основні частини:

- статор;
- ротор.

Між ними є повітряний проміжок, який має важливе значення для формування магнітного поля.

Статор є нерухомою частиною двигуна. Він складається з:

- корпусу;
- осердя;
- обмотки статора.

Корпус виконує функцію механічної основи та захищає внутрішні елементи. Осердя статора набирається з тонких листів електротехнічної сталі, ізольованих один від одного. Таке виконання дає змогу зменшити вихрові струми та втрати енергії. У пазах осердя розміщується обмотка статора, яка живиться змінним струмом. Найчастіше у промисловості застосовуються трифазні обмотки, розташовані так, щоб створювати обертове магнітне поле.

Статор визначає умови створення магнітного потоку і значною мірою впливає на електромеханічні характеристики двигуна.

Ротор є рухомою частиною двигуна, що обертається на валу. Осердя ротора також виготовляють із листів електротехнічної сталі.

Залежно від конструкції розрізняють два основні типи ротора:

- короткозамкнений ротор;
- фазний ротор.

Короткозамкнений ротор є найпоширенішим. У його пазах розташовані металеві стрижні, з’єднані на торцях кільцями. Така конструкція нагадує «білячу клітку», тому в літературі її часто називають клітковим ротором. Основними перевагами є простота, міцність і надійність.

Фазний ротор має трифазну обмотку, подібну до обмотки статора, яка з’єднується зазвичай у зірку. Кінці обмотки виводяться на контактні кільця, через які можна підключати зовнішні резистори. Таке рішення полегшує пуск і дає змогу змінювати пускові характеристики. Однак конструкція є складнішою і потребує більшого обслуговування.

Крім статора і ротора, конструкція двигуна містить:

- вал, на який передається крутний момент;
- підшипники, що забезпечують плавне обертання;
- підшипникові щити;
- вентилятор або інші елементи системи охолодження;
- клемну коробку для підключення живлення.

Важливим є також охолодження, оскільки перегрів знижує ресурс ізоляції обмоток і може спричинити вихід двигуна з ладу.

Принцип роботи асинхронного двигуна базується на явищі електромагнітної індукції.

Коли до трифазної обмотки статора підводиться змінна напруга, у ній виникають три змінні струми, зсунуті за фазою один відносно одного на 120°. Ці струми створюють обертове магнітне поле.

Швидкість обертання цього поля називається синхронною швидкістю і визначається за формулою:

$$n_1 = 60 \cdot f / p$$

де:

n_1 — синхронна частота обертання магнітного поля, об/хв;

f — частота живильної мережі, Гц;

p — число пар полюсів.

Із формули видно, що швидкість магнітного поля залежить від частоти струму і кількості полюсів двигуна.

Обертове магнітне поле статора перетинає провідники ротора. Унаслідок цього в них наводиться електрорушійна сила, а якщо коло ротора замкнене, виникає струм. Цей струм створює власне магнітне поле ротора, яке взаємодіє з полем статора.

У результаті взаємодії магнітного поля статора зі струмами ротора виникає електромагнітний момент, який змушує ротор обертатися в напрямку обертання магнітного поля статора.

Якби ротор обертався з тією самою швидкістю, що й магнітне поле, провідники ротора не перетинали б магнітні силові лінії, ЕРС не наводилась би, струм у роторі зник би, а разом із ним — і момент. Саме тому ротор завжди обертається трохи повільніше за магнітне поле.

Різниця між синхронною швидкістю поля статора і реальною швидкістю ротора характеризується величиною, яку називають ковзанням:

$$s=(n_1-n)/n_1$$

де:

s — ковзання;

n_1 — синхронна швидкість;

n — швидкість ротора.

Ковзання є однією з основних характеристик асинхронного двигуна. У режимі холостого ходу воно дуже мале, а зі збільшенням навантаження зростає. У момент пуску, коли ротор ще нерухомий, n=0, s=1.

1.2.3 Режими роботи двигунів

До робочих режимів асинхронного двигуна відносять (рис.1.4):

Пусковий режим

Під час пуску ротор нерухомий, тому ковзання максимальне. У цей момент у статорі виникає великий пусковий струм. Це одна з характерних

особливостей асинхронного двигуна. Для зменшення пускового струму застосовують різні способи пуску: перемикання «зірка–трикутник», автотрансформаторний пуск, використання частотних перетворювачів, а для фазних роторів — введення додаткових опорів у коло ротора.

Номінальний режим

Це основний режим експлуатації, за якого двигун працює при розрахунковому навантаженні, номінальній напрузі, струмі й частоті обертання. Саме в цьому режимі забезпечується найкраще співвідношення ККД, нагрівання і довговічності.

Режим перевантаження

За надмірного навантаження ковзання збільшується, струм зростає, а обмотки нагріваються. Тривала робота в такому стані може призвести до пошкодження ізоляції.

Сучасні дослідження приділяють значну увагу питанням енергоефективності та автоматизації. Асинхронний двигун у поєднанні з частотним перетворювачем перетворився на універсальний регульований електропривод. Це дало змогу використовувати його в системах точного керування швидкістю, у вентиляційних установках, насосних станціях, транспортних системах і виробничих лініях.

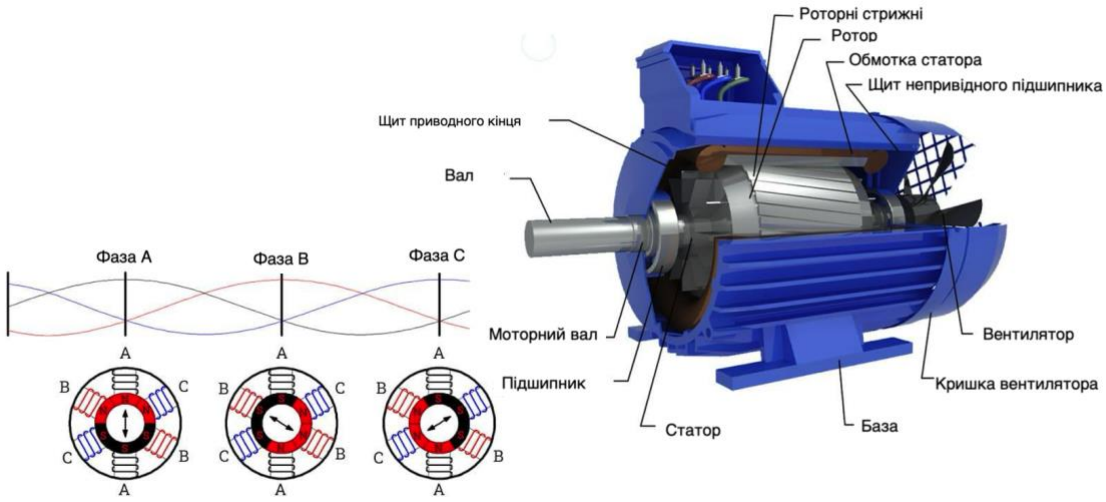


Рисунок 1.4 -Принцип роботи трифазного асинхронного двигуна [6]

Таким чином, хоча базовий принцип роботи асинхронного двигуна відомий давно, ця машина залишається актуальною і сьогодні завдяки високій надійності та можливості інтеграції в сучасні системи керування.

Однією з найбільш поширених електричних несправностей двигунів є міжвиткове замикання обмотки. За даними досліджень, пошкодження ізоляції обмоток є однією з найчастіших причин відмов електродвигунів після дефектів підшипників. Обмотка статора є найуразливішим елементом щодо пошкодження ізоляції (рис.1.5).

Цей дефект призводить до локального перегріву, втрати ефективності роботи двигуна, підвищення споживання струму, зниження ресурсу ізоляції та, у кінцевому результаті, до повного виходу двигуна з ладу (рис.1.6).

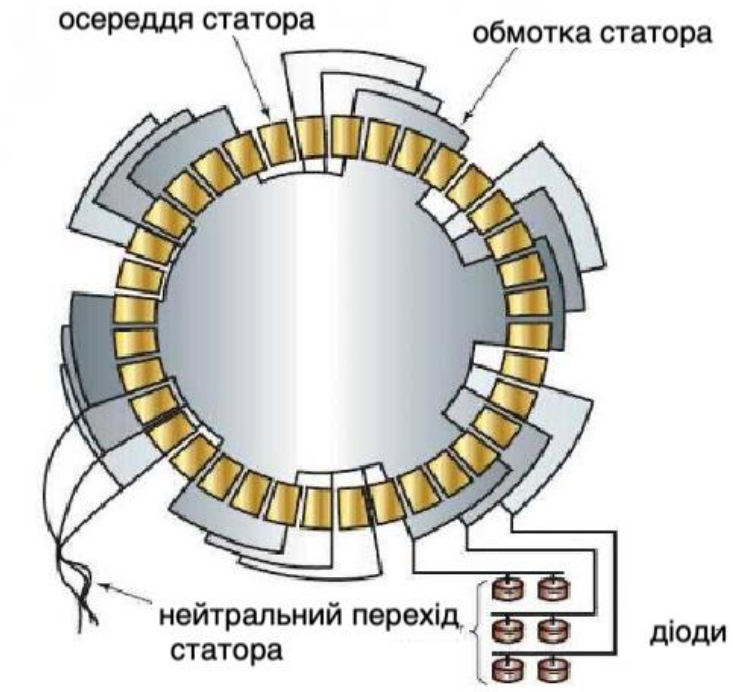


Рисунок 1.5-Будова статора [7]

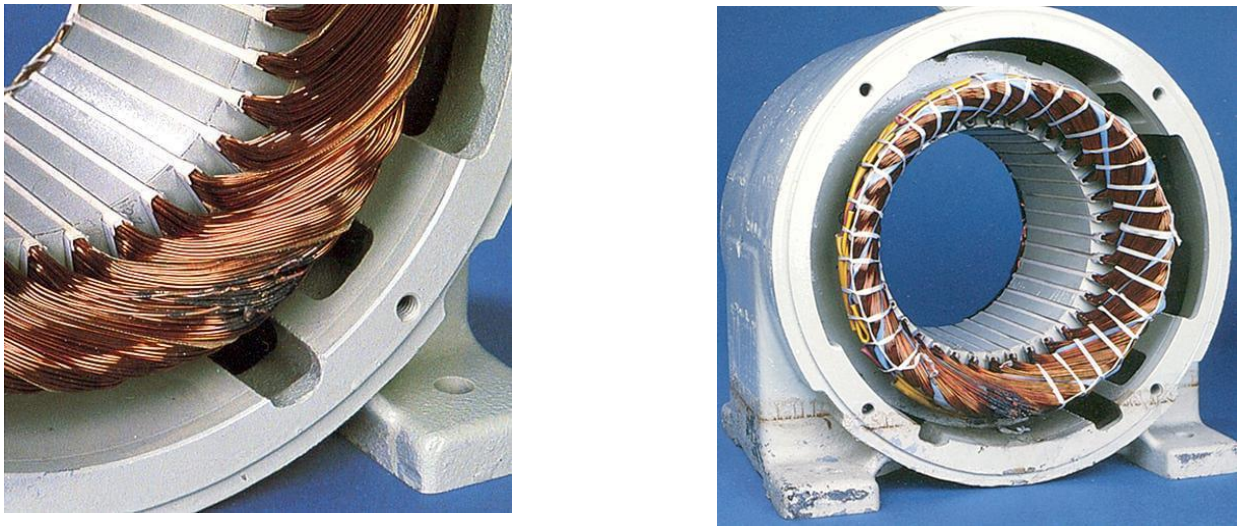


Рисунок 1.6 — Види пошкоджень обмотки статора [8]

Тож метою роботи є розробка приладу для визначення міжвиткового замикання в асинхронному електродвигуні.

Задачі роботи:

- розробка структурної схеми приладу;
- вибір та розрахунок елементної бази;
- розробка схеми електричної принципової;
- розробка топології друкованої плати та 3D моделі приладу.

2 ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІЖВИТКОВОГО ЗАМИКАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Міжвиткове замикання — це пошкодження ізоляції між витками однієї фази обмотки, внаслідок чого виникає електричний контакт між провідниками.

Це призводить до утворення короткозамкнутого контуру всередині обмотки. В результаті чого виникає циркуляційний струм, збільшується локальне тепловиділення, змінюється симетрія магнітного полязнижується ККД двигуна.

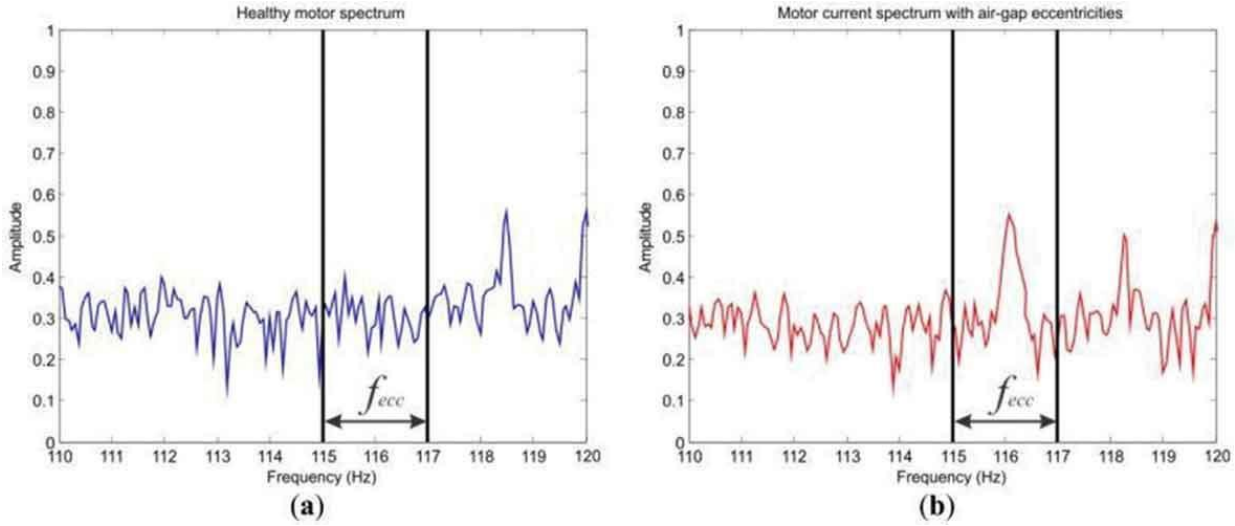
При пошкодженні ізоляції між витками виникає контур з дуже малим опором. Струм у пошкодженій ділянці значно зростає: зростає температура провідника, руйнується ізоляція сусідніх витків, пошкодження прогресує лавиноподібно, що в кінцевому результаті викликає вібрації, шум, нерівномірність обертання та перевантаження інших фаз. Цей дефект ранніх стадіях важко виявити, але він швидко прогресує та може призвести до серйозних пошкоджень.

2.1 Методи визначення міжвиткових замикань

Сучасні методи діагностики дозволяють виявити міжвиткові замикання на ранній стадії. До основних методів належать:

Електричні методи. Одним із методів є аналіз струму статора [9]. Метод базується на зміні спектра струму і для його реалізації застосовують

спектральний аналіз (рис.2.1), аналіз гармонік (рис.2.2) та FFT аналіз (рис.2.3). Такий метод дозволяє дозволяє визначити дефект із точністю понад 96%.



а- еталонний спектр; б- спектр двигуна з можливими пошкодженнями

Рисунок 2.1- Дослідження частотного спектру сигналу струму електродвигуна

Метод аналізу спектру струму дозволяє визначити наявність дефекту за появою додаткових гармонік у сигналі [10].

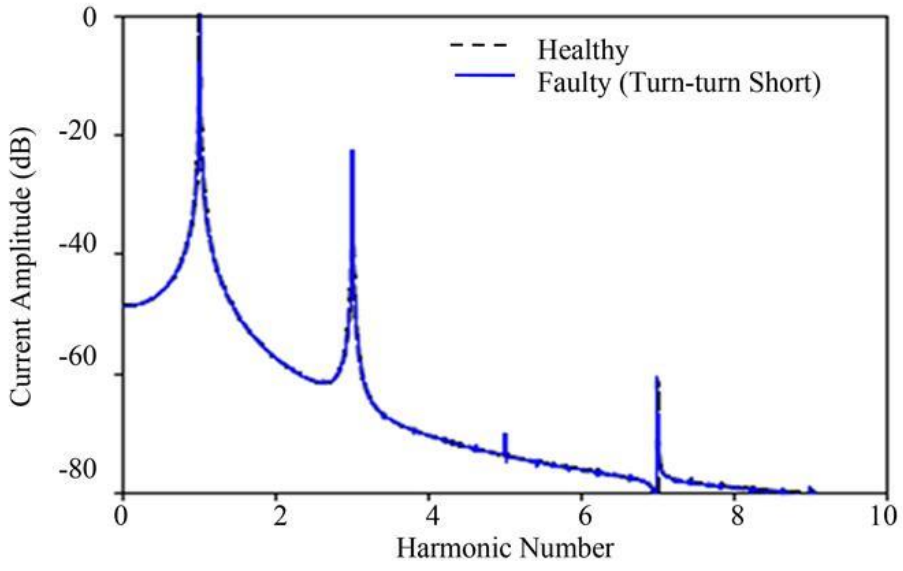


Рисунок 2.2- Метод аналізу струму електродвигуна

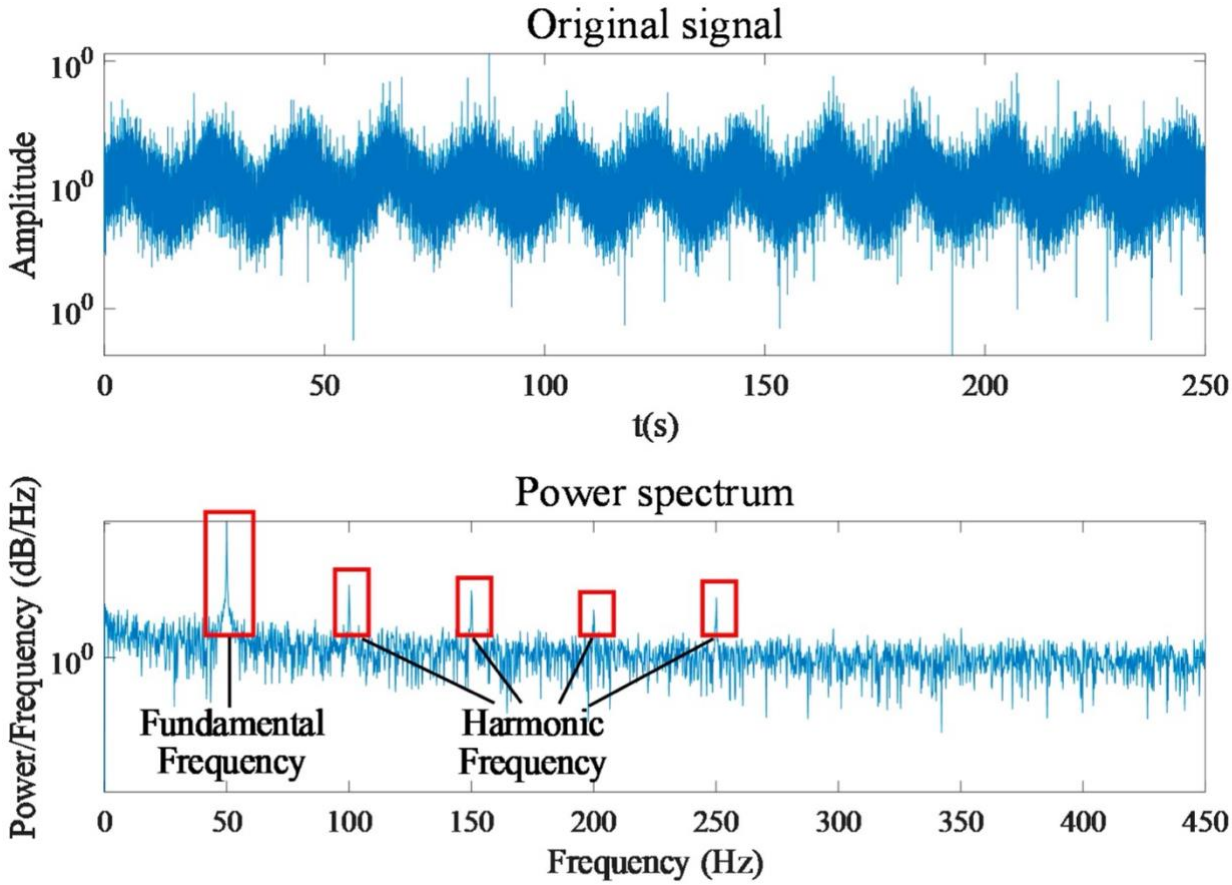


Рисунок 2.3- Метод FFT (швидкого перетворення Фур'є) для пошуку дефектів міжвиткового з'єднання

До електричних методів відноситься також метод напруга-струм, коли проводиться аналіз траєкторії напруги і струму. Метод дозволяє визначити пошкоджену фазу.

Теплові методи базуються на застосуванні тепловізорів, температурних датчиків та термографії.

Вібраційні методи основані на спектральному аналізі сигналів, моніторингу шуму та вібрацій.

Методи випробувань ізоляції. До таких методів можна віднести наступні:

- Метод мегомметра. Мегомметр вимірює опір ізоляції шляхом подачі постійної високої напруги (500–5000 В) і визначення струму витоку та базується на законі Ома:

$$R = {}^{U}/_{I}$$

Чим вищий опір — тим кращий стан ізоляції.

  - 100 МОм — відмінний стан;
  - 10–100 МОм — задовільний;
  - <10 МОм — критичний стан.
- Surge test (імпульсне випробування) — це подача високовольтних імпульсів на обмотки для виявлення міжвиткових дефектів.

Метод базується на:

- коливальному процесі LC-контуру;
- аналізі форми затухаючої хвилі.

Часткові розряди — це локальні електричні пробої в дефектах ізоляції, які не призводять до повного пробою. Метод вимірювання амплітуди розрядів, частоти імпульсів та фази сигналу покладено в основу методу часткових розрядів [11].

Таблиця 2.1 -Порівняльна характеристика методів визначення міжвиткових замикань

Метод	Виявляє	Точність	Безпечність	Складність
Мегомметр	Загальний стан	Низька	Висока	Низька
Surge test	Міжвиткові дефекти	Висока	Середня	Середня

Метод	Виявляє	Точність	Безпечність	Складність
Часткові розряди	Ранні дефекти	Дуже висока	Висока	Висока

Жоден метод не є універсальним. Комплексна діагностика, що поєднує декілька методів дозволить виявляти дефекти обмотки на початковому рівні з високою точністю.

Тож запропонована розробка реалізована на основі імпульсно-резонансного методу діагностики міжвиткових замикань, заснованого на зміні параметрів перехідного процесу в колі з досліджуваною обмоткою.

2.2 Аналіз схемних рішень

Проведено аналіз схемних рішень приладів для виявлення дефектів обмотки двигуна, наявних в загальному доступі (рис.2.4,2.5,2.6,2.7).

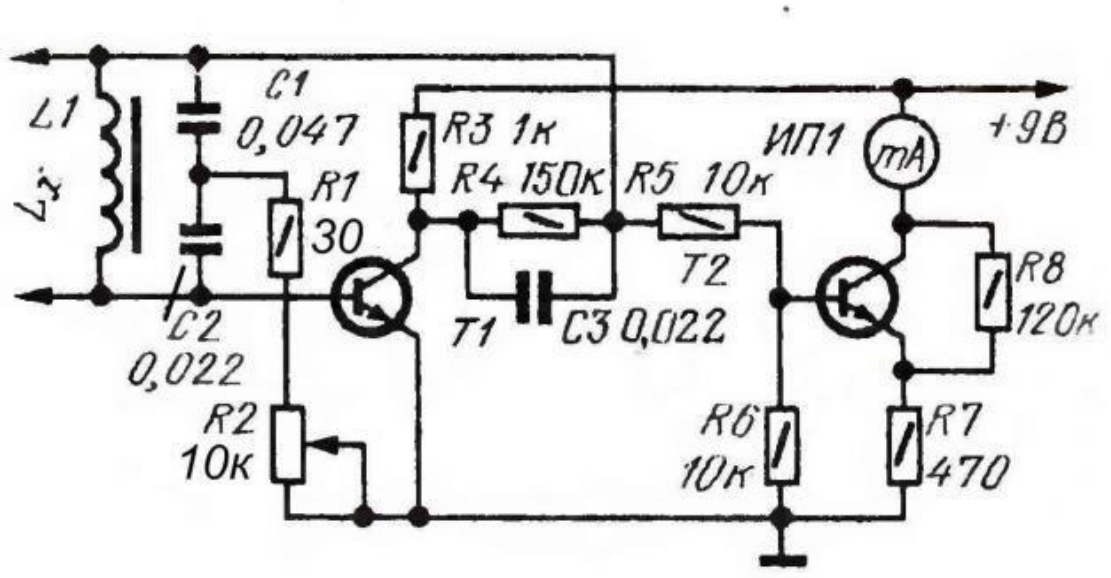


Рисунок 2.4 – Схема 1 [12]

Принцип роботи схеми 1. Транзистор Т1 сумісно з котушкою L1 та конденсаторами С1, С2 утворює генератор з ємнісним зворотнім зв’язком. На транзисторі Т2 виконано вольтметр, що вимірює амплітуду сигналу, що генерується. Резистор R7 обмежує величину колекторного струму транзистора Т2. При підключенні на вхід вимірювача справної котушки, покази приладу практично не змінюються. Якщо в котушці наявні короткозамкнені витки, зменшується добротність коливального контуру і покази приладу зменшуються.

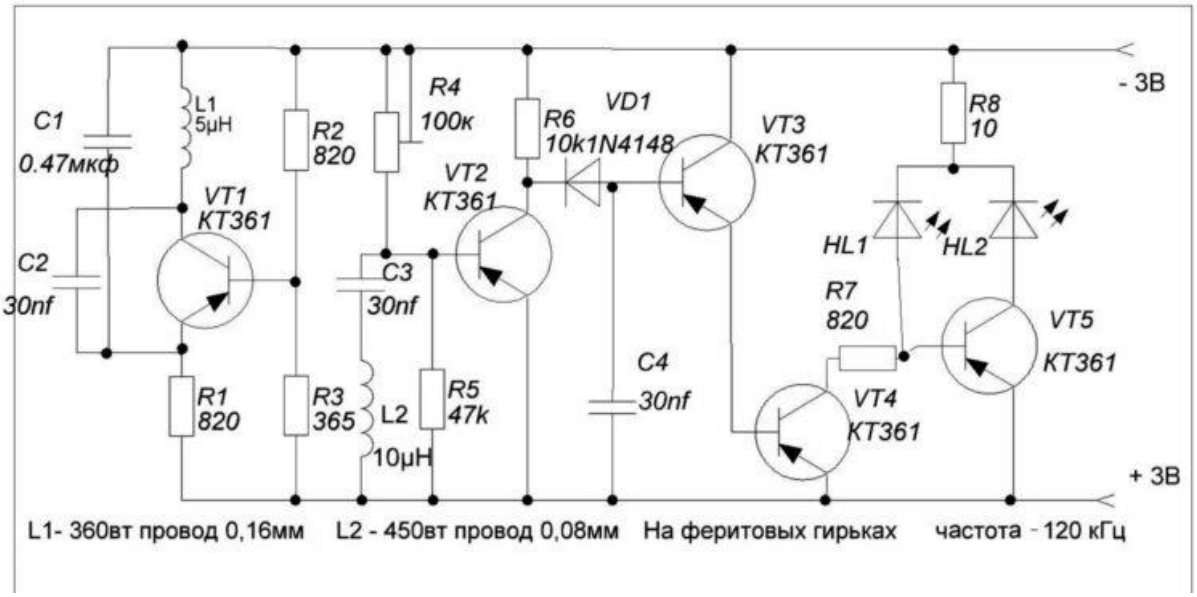


Рисунок 2.5- Схема 2 [13]

Принцип роботи схеми 2. Схема є високочастотним генератором (~120 кГц) з індикатором зміни параметрів коливального контуру. Вона дозволяє визначити наявність міжвиткового замикання в перевірюваній котушці за зміною амплітуди коливань. Транзистор VT1 разом з елементами L1, C1, C2 утворює генератор ВЧ коливань. Генератор створює стабільний сигнал частотою близько 120 кГц**.** Якщо поруч розмістити перевірювану котушку (на феритовому сердечнику), її параметри впливають на добротність контуру. Другий каскад на VT2 працює як підсилювач та формувач сигналу.

При наявності міжвиткового замикання**:**

- індуктивність зменшується
- добротність падає
- амплітуда сигналу змінюється

Ця зміна передається на наступний каскад. Діод VD1 випрямляє високочастотний сигнал. Конденсатор С4 згладжує його до постійної напруги. Транзистор VT3 працює як підсилювач постійної складової сигналу. Каскад VT4–VT5 керує світлодіодами HL1, HL2**.** Як що світиться один світлодіод – котушка справна; змінюється яскравість або вмикається інший – є міжвиткове замикання; повне згасання – сильний дефект або обрив.

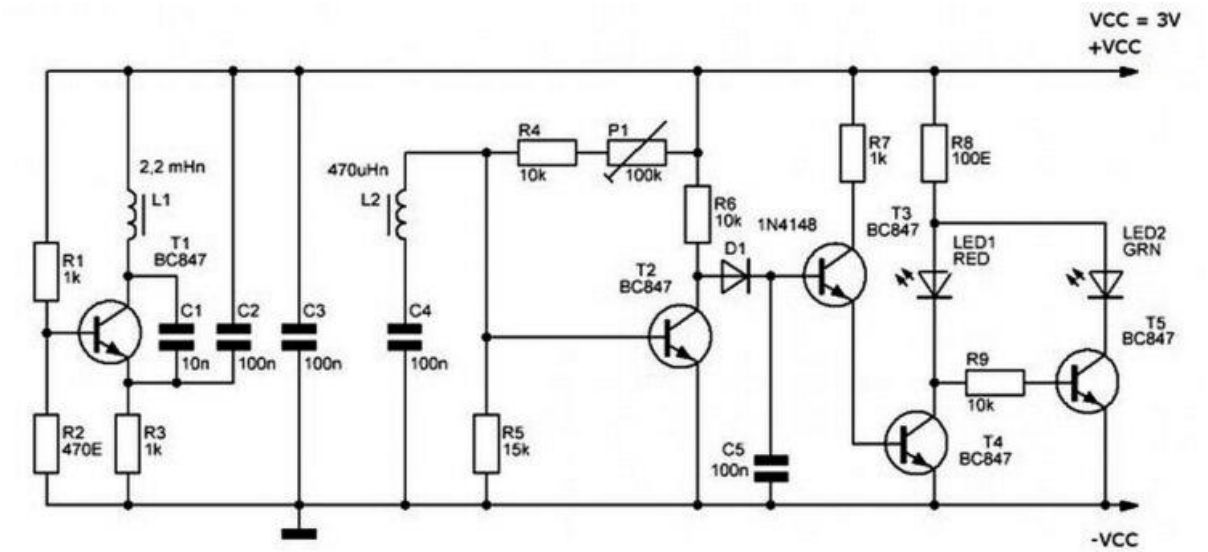


Рисунок 2.5- Схема 3 [13]

Принцип роботи схеми 3. Пристрій аналізує добротність та затухання коливального контуру**,** що змінюються при наявності короткозамкнених витків. Схема формує короткі імпульси**,** які збуджують коливальний контур із досліджуваною обмоткою. Якщо обмотка справна — коливання затухають повільно. Якщо є міжвиткове замикання, втрати збільшуються і коливання

затухають швидше. Це фіксується індикатором на світлодіодах. Генератор імпульсів (T1, L1, C1–C3) подає імпульс, у контурі виникають затухаючі коливання.

Якщо в обмотці є короткозамкнений виток:

- зростають втрати енергії;
- амплітуда коливань швидко падає;
- добротність зменшується.

Індикатор стану (T3–T5, LED1, LED2) порівнює рівень сигналу та вмикає відповідний світлодіод. Якщо велика амплітуда коливань, то світиться зелений LED**;** швидке затухання -світиться червоний LED.

Міжвиткове замикання створює короткозамкнений контур всередині котушки. Це викликає:

- появу вихрових струмів;
- втрати енергії;
- зменшення добротності;
- швидке затухання коливань.

Таким чином схема фактично вимірює швидкість згасання резонансних коливань.

Принцип роботи схеми 4. Прилад формує короткі імпульси збудження коливального контуру, до якого підключається досліджувана обмотка. Якщо в обмотці є міжвиткове замикання, у ній виникають великі втрати енергії, через що коливання швидко затухають. Схема аналізує амплітуду цих коливань і вмикає відповідний світлодіод. При наявності міжвиткового замикання в котушці утворюється замкнений контур, виникає струм -ця енергія перетворюється у тепло і коливання швидко затухають.

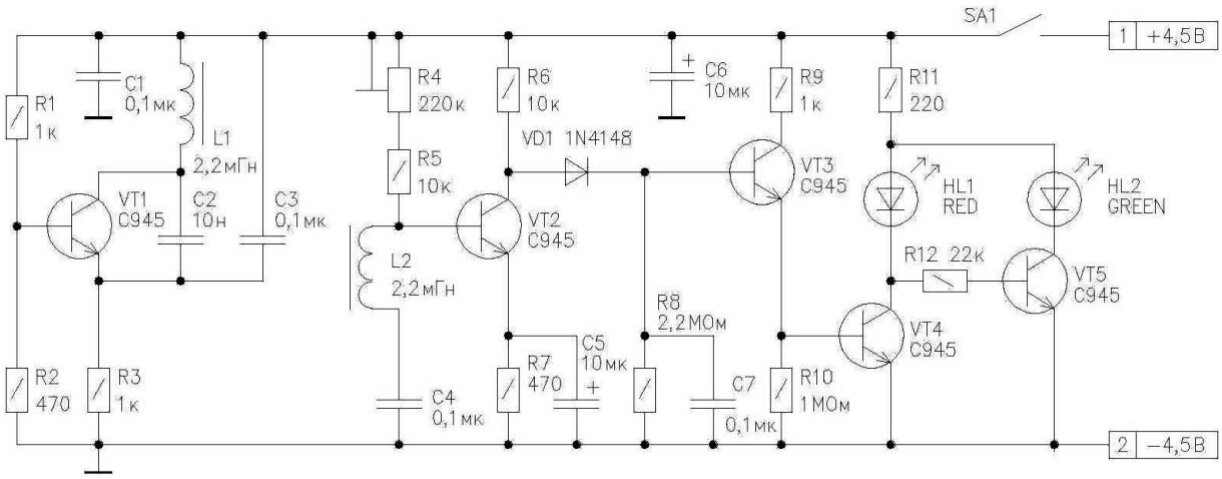


Рисунок 2.7- Схема 4 [14]

Ці процеси зменшують:

- добротність контуру
- амплітуду сигналу
- тривалість коливань

Саме ці зміни і вимірює схема.

Генератор високочастотних імпульсів (VT1, L1, C1, C2, C3) створює імпульсне збудження для перевірки котушки. Вимірювальний коливальний контур (L2, C4, R4, R5) визначає стан досліджуваної обмотки.

Підсилювач і детектор (VT2, VD1, C6) перетворюють ВЧ сигнал у постійну напругу.

Пороговий компаратор (VT3, VT4)визначає бездефектність обмотки. Індикатори (VT5, HL1, HL2) показують результат тесту. Особливістю цієї схеми є те, що вона працює від двополярного живлення ±4.5, має більш стабільний поріг спрацювання, краще підходить для перевірки малих трансформаторів також передбачена додаткова фільтрація для зменшення помилкових спрацювань.

2.3 Розробка структурної схеми приладу та вибір елементної бази



Рисунок 2.8- Структурна схема приладу для виявлення дефекту обмотки

Запропонована схема складається з таких основних блоків (рис.2.8)

1. Вхідний вимірювальний вузол.

Цей блок підключається до обмотки двигуна, яку перевіряють. Його задача — сформувати та прийняти сигнал, параметри якого залежать від стану обмотки.

2. Підсилювач / перетворювач сигналу.

Цей каскад підсилює сигнал, отриманий з першого блока, та перетворює його у форму, придатну для подальшого аналізу.

3. Пороговий каскад

Це вузол порівняння. Він визначає, чи достатньо рівень сигналу відрізняється від нормального значення. Тобто чи справна обмотка.

4. Формувач керуючого сигналу

Цей блок формує стійкий сигнал керування для вихідного транзистора.

5. Вихідний ключ та індикація

Якщо попередні каскади фіксують ознаки короткозамкнених витків, вмикається лампа.

Таким чином, принцип роботи приладу базується на зміні добротності коливального контуру, утвореного пошуковою котушкою та конденсатором C1. За відсутності дефекту генератор на транзисторах VT1, VT2 працює в номінальному режимі. При наявності короткозамкнених витків енергія контуру різко поглинається, амплітуда коливань зменшується, що фіксується детектором на VT3. Далі сигнал підсилюється та перетворюється пороговим каскадом VT4, VT5, після чого транзистор VT6 вмикає індикатор HL1. Номінали елементів вибрані з урахуванням живлення 3 В, малих робочих струмів, стабільності генерації та пригнічення хибних спрацювань.

Транзистори VT1, VT2 (КТ315Б) утворюють двотранзисторний автогенератор [15]. Його частота визначається:

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_d C_1}}$$

і залежить від:

$$C_1 = 0{,}022 \text{ мкФ} = 22 \text{ нФ}$$

Якщо датчик має індуктивність:

$L_д$ = 100 мкГн, тоді

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{100 \cdot 10^{-6} \cdot 22 \cdot 10^{-9}}} \approx 107 \text{ кГц}$$

Lд = 1 мГн, тоді:

$$f_0 \approx 34 \text{ кГц}$$

Lд = 10 мГн, тоді

$$f_0 \approx 10{,}7 \text{ кГц}$$

R2 = 20 кОм обраний так, щоб не перевантажувати попередній каскад, забезпечити достатню глибину зворотного зв’язку, не погіршувати чутливість.

R3 = 150 Ом.

Якщо падіння напруги на ньому порядку 0,1…0,2 В, то струм:

$$I \approx \frac{0.1...0.2}{150} = 0.67...1.33 \text{ мА}$$

Генератор працює в режимі малого струму, що відповідає живленню 3 В.

Детектор на VT3, R4, R5, C2, R6.

VT3 (КТ315Б)- працює як підсилювач/детектор рівня сигналу.

R4 = 470 Ом.

Максимальний струм через резистор:

$$I_{R4,\,max} \approx \frac{3 - 0.2}{470} \approx 6 \text{ мА}$$

Номінал 470 Ом дозволяє: отримати помітну зміну напруги, забезпечити достатню чутливість детектора, не перевантажувати транзистор.

C2 = 1 мкФ

Конденсатор згладжування після детектора. Разом з R6 формує постійну часу.

R6 = 75 кОм. Постійна часу:

$$\tau_2 = R_6 \cdot C_2 = 75\,000 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0.075 \text{ с}$$

$$\tau_2 = 75 \text{ мс}$$

Короткі випадкові зміни сигналу не викликають спрацювання.

Пороговий вузол VT4–VT5

R7 = 5,1 кОм

Граничний струм:

$$I_{R7,\,max} \approx \frac{3 - 0.2}{5.1\text{ к}} \approx 0.55 \text{ мА}$$

Отже, VT4 працює в режимі малих струмів, що підходить для порогового підсилювача.

R8 = 220 Ом.

При падінні напруги 0,1…0,2 В:

$$I_{R8} \approx \frac{0.1...0.2}{220} = 0.45...0.9 \text{ мА}$$

Що добре узгоджується з R7.

R9 = 2 кОм

Максимальний можливий базовий струм для вихідного транзистора:

$$I_{B6,\,max} \approx \frac{3 - 0.7}{2000} \approx 1.15 \text{ мА}$$

Що достатньо для керування вихідним транзистором і лампою малопотужного типу.

R10 = 390 Ом

Для падіння напруги 0,2…0,5 В:

$$I_{R10} \approx \frac{0.2...0.5}{390} = 0.5...1.3 \text{ мА}$$

Каскад працює в малопотужному режимі.

Вихідний каскад VT6 і лампа HL1

Оцінка струму навантаження

Базовий струм VT6:

$$I_{B6} \approx 1 \text{ мА}$$

для насичення транзистора коефіцієнт підсилення:

$$\beta_{forced} \approx 10...20$$

Допустимий струм лампи:

$$I_{HL1} \approx 10...20 \text{ мА}$$

2.4 Розробка схеми електричної принципової

Короткозамкнений виток в обмотці — це замкнений провідний контур з дуже малим опором. Якщо в контрольованій котушці є змінне магнітне поле, у такому витку наводиться ЕРС, і виникає значний струм:

Оскільки опір такого контуру малий, струм виходить великим. Цей струм створює зустрічне магнітне поле, яке змінює параметри всієї обмотки.

Через це змінюється сигнал у вимірювальному каскаді, і схема фіксує дефект (рис.2.9).

Щупи XP1 і XP2 приєднують до контрольованої обмотки статора або ротора електродвигуна. Обмотка стає частиною вхідного електронного кола. Її електромагнітні параметри впливають на режим роботи транзисторного каскаду. Перший каскад на VT1–VT2 разом із резисторами R1–R3, R5 і конденсатором C1 формує режим, за якого чутливо відслідковується обмотка, що перевіряється. Якщо обмотка справна, її індуктивність і втрати лежать у нормальних межах, сигнал на виході першого каскаду матиме певний рівень.

Якщо у ній є короткозамкнені витки, у витках виникають додаткові струми, які:

- різко збільшують втрати;
- зменшують добротність;
- змінюють амплітуду та/або форму сигналу;
- демпфують коливальний процес.

На ці зміни реагує запропонована схема. Далі сигнал надходить на VT3, де підсилюється. Каскад на VT4 оцінює, чи перевищує отриманий сигнал встановлений поріг. Резистори R6, R7, R8 задають робочу точку та чутливість приладу. VT5 разом із C3 формує вже достатньо стабільний керуючий сигнал, щоб лампа не мала хибного спрацювання.

Коли вихідний сигнал достатній, відкривається VT6 і через HL1 проходить струм.

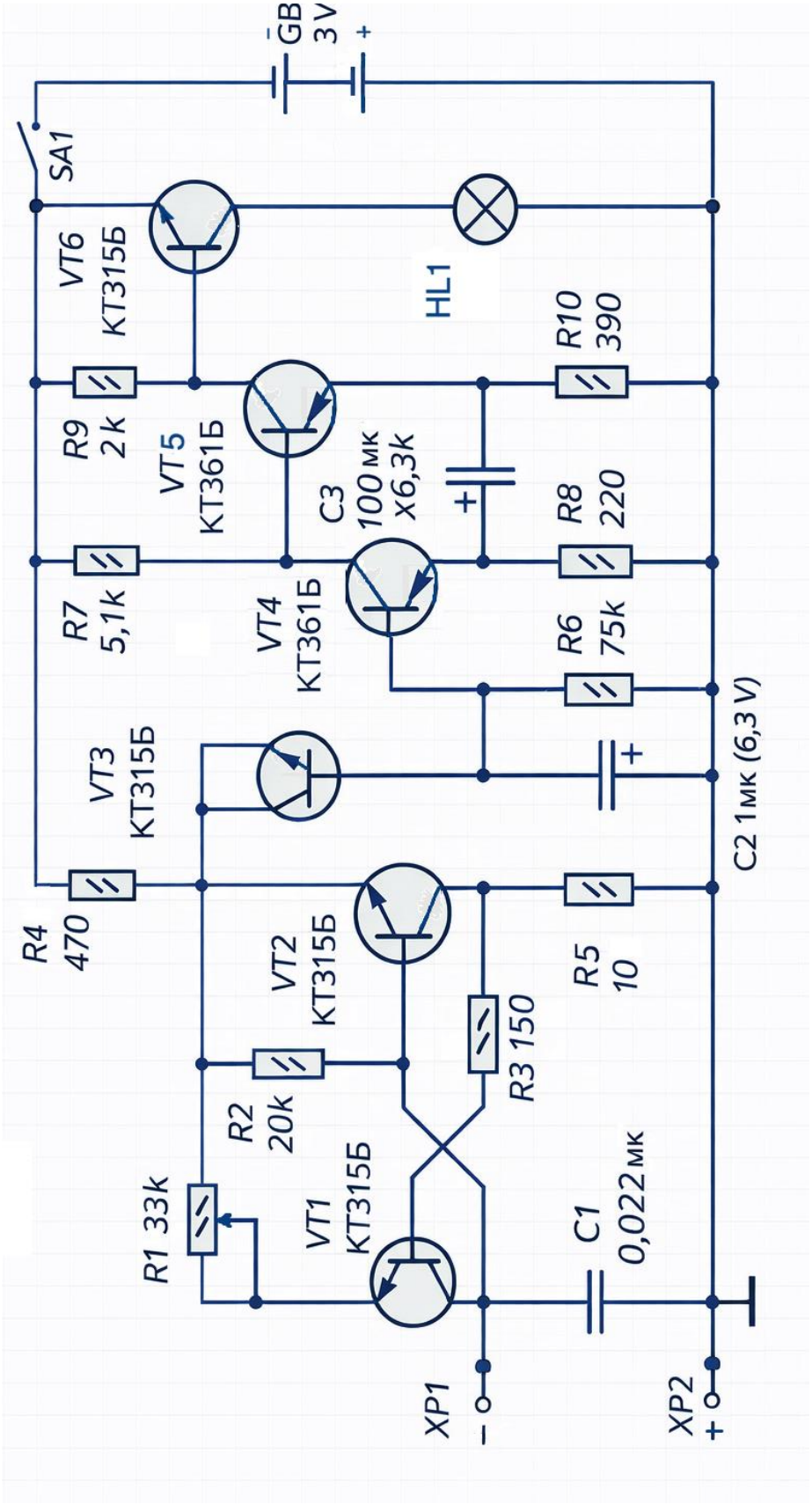


Рисунок 2.9 -Схема електрична принципова

Цей прилад можливо застосовувати також для перевірки p-n переходів. Якщо підключити до приладу діод або транзистор (анод до XP1, катод до XP2), контрольна лампочка повинна блимати. Замість лампочки можна застосувати світлодіод але потрібно додати опір 30-60 Ом. При пробої світлодіод буде горіти, а у разі обриву- не світиться.

2.5 Моделювання роботи схеми

Моделювання роботи двокаскадного підсилювача напруги на біполярних транзисторах з RC-зв'язком проводилось в програмному середовищі EasyEda

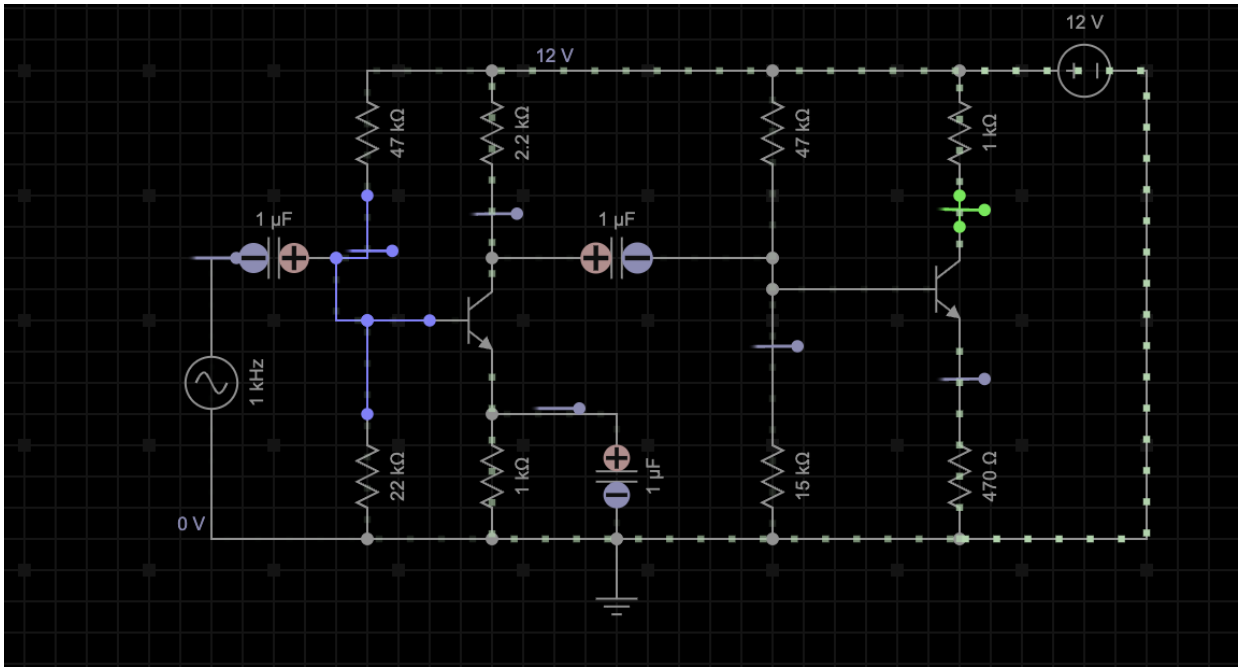


Рисунок 2.10- Моделювання в EasyEda

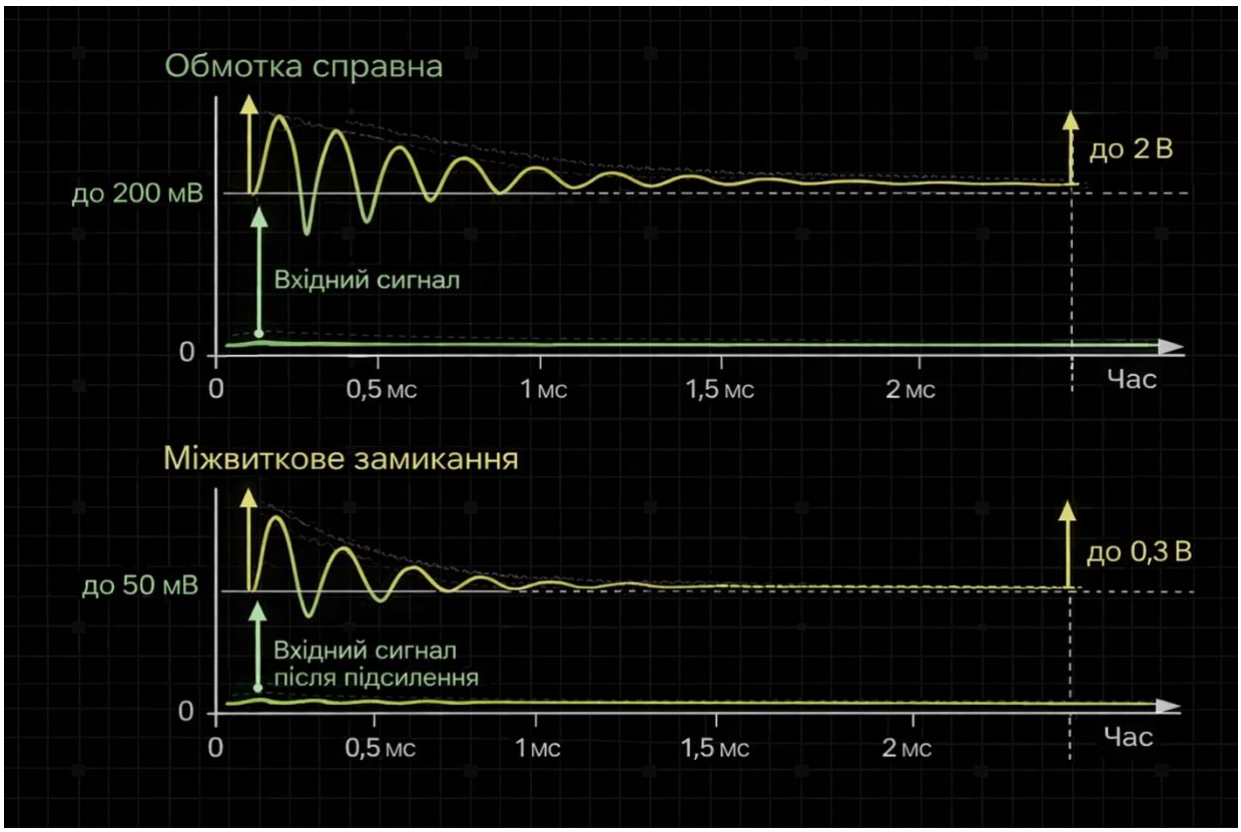


Рисунок 2.11- Форма та параметри сигналу в разі відсутності та наявності міжвиткового замикання

2.6 Топологія друкованої плати

У сучасній радіоелектронній апаратурі найбільш поширеним методом створення електричних ланцюгів є печатна плата.

Печатні плати – елементи конструкції, які складаються з плоских провідників у вигляді ділянок металізованого покриття, розміщених на діелектричній основі і таких, що забезпечують з'єднання елементів електричного ланцюга.

Перевагами печатних плат є:

- збільшення щільності монтажу і можливість мікроміниатюризації виробів;

- уніфікація і стандартизація конструктивних і технологічних рішень;
- стабільність і повторюваність електричних характеристик (провідність, паразитні ємності, індуктивність);
- збільшення надійності і підвищення якості;
- поліпшення механічних і міцністних характеристик;
- можливість застосування сучасних методів автоматизації і механізації монтажних, складальних, контрольних і регулювальних робіт;
- зниження трудомісткості, собівартості і матеріаломісткості.

Недоліки печатних плат:

- обмеження по ремонту;
- утруднення можливості зміни конструкції. [16]

До вимог до печатних плат відносять наступні:

1. Діелектричні підстави мають бути однорідними за кольором, монолітними по структурі, не мати пухирів, раковин, сколов, тріщин і розшарувань.

2. Малюнок, що проводять, має бути чітким, з рівними краями, без здуття, розривів, відшаровувань, слідів інструменту і залишків технологічних матеріалів.

3. Для підвищення корозійної стійкості наноситься електролітичне покриття, яке має бути без розривів і відшаровувань.

4. Монтажні і фіксувальні отвори повинні відповідати вимогам креслення.

5. Для підвищення надійності паяних з'єднань внутрішню поверхню монтажних отворів повинен покривати шар міді не менше 20,25 мкм. Шар має бути суцільним, без включень, дрібнокристалічної структури, а також повинен мати хороше зчеплення з поверхнею.

6. Повинен витримуватися струм 250 А/м^2 впродовж 3 секунд, навантаження на контакти до 1,5 Н і витримувати 4 перепаювання (для

багатошарових друкованих плат – 3 перепаювання) без зміни зовнішнього вигляду і відшаровувань.

При неприпустимому ушкодженні металізовані отвори допускається відновлювати за допомогою порожнистих заклепок не більше 2% загальної кількості отворів і не більше 10 штук на друковану плату.

7. При циклічній дії температури допускається зміна опору не більше ніж на 10%.

8. Контактні майданчики не повинні мати розривів при.

9. Опір ізоляції не має бути менше 30 000 МОм при Т=25 °С, вологості 46..84%, тиску 96..100 кПа, при відстані 0.2..0.4 мм між провідниками.

10. Електрична міцність 700 вольт в нормальних умовах і 500 вольт після дії впродовж 2 діб Т=40 °С і вологості 90..96%.

11. Деформація печатних плат при товщині 1,5..3 мм на 100 мм:

- для багатошарових печатних плат (БПП) – 0,4..0,5 мм;

- для двосторонніх печатних плат (ДПП) - 0,5.0,9 мм.

12. При дії на печатну плату Т=260..290 °С впродовж 10 секунд не повинно бути розривів провідників і відшаровувань. [16]

Класифікація печатних плат і способів їх виготовлення:

1. Одностороння печатна плата – рисунок, що проводять, розміщений на одній стороні.

2. Рельєфна печатна плата – виконується з рисунком на одній стороні і монтажем електрорадіоелементів на іншій стороні.

3. Двостороння печатна плата – рисунок, що проводять, розміщений на обох сторонах. Основа діелектрик, рідше метал.

4. Багатошарова печатна плата – електричний зв'язок між шарами здійснюється об'ємними деталями і хіміко-гальванічною металізацією. Плати застосовуються в обчислювальній техніці.

5. Гнучка печатна плата – виготовляється на еластичній основі завтовшки 0,1..0,2 мм. Різновид – гнучкий печатний кабель (шлейф).

Застосовується, якщо плати піддаються вібрації, багатократним вигинам або їй необхідно надати зігнутої форми.

6. Дротяна печатна плата – застосовується на етапі моделювання, дрібносерійного виробництва. Монтаж здійснюється дротами. [16]

Найбільш поширеними матеріалами печатних плат є:

1. Гетинакс – дешевий, добре обробляється, відрізняється задовільними електроізоляційними якостями. Використовується в побутовій апаратурі.

2. Текстоліт – використовується для потужних ланцюгів живлення і високої напруги, зменшення небезпеки займання. Для цього до складу вводять особливі речовини – антипірени.

3. Склотекстоліт – використовується для складних кліматичних умов -60..+150 °С . Матеріал характеризується низьким вологопоглинанням, слабо коробиться та має високе значення поверхневого і об'ємного опору.[16]

Підготовка топології печатної плати.

Перш ніж приступити до розробки рисунка печатної схеми, необхідно запам'ятати, що розташування компонентів може визначатися як заданими параметрами, так і критичністю розміщення деяких елементів(це дозволить запобігти побічним ефектам, наприклад, перешкоди). Найчастіше рисунок провідників є такою інтерпретацією принципової схеми, яка з урахуванням електричних характеристик має хороші механічні властивості і достатня проста. Маркування компонентів і вихідних контактів на рисунку плати повинна відповідати маркуванню електричної схеми, це значно спрощує складання і подальшу перевірку пристрою.

Проектувати печатної плати найзручніше в масштабі 2:1 на міліметрівці або іншому папері, на якому нанесена сітка з кроком 5 мм. При проектуванні в масштабі 1:1 рисунок виходить дрібним, погано читаним, і тому при подальшій роботі над друкованою платою неминучі помилки. Масштаб 4:1 – інша крайність: з великим кресленням незручно працювати. Спочатку намалюйте контури плати. Краще, якщо її габарити

відповідатимуть розмірам якого-небудь готового корпусу. Усі отвори під виведення деталей в печатній платі доцільно розміщувати у вузлах сітки, що відповідає кроку 2,5 мм на реальній платі. З таким кроком розташовані виведення у більшості мікросхем в пластмасовому корпусі, у багатьох транзисторів і інших електрорадіокомпонентів. Менша відстань між отворами слід вибирати лише в тих випадках, коли це украй необхідно. У отвори з кроком 2,5 мм, що знаходяться на сторонах квадрата 7,5х7,5 мм, зручно монтувати мікросхему в круглому металоскляному корпусі. Для установки мікросхеми в пластмасовому корпусі з двома рядами жорстких виведень (корпус типу DIP) в платі необхідно просвердлити два ряди отворів. Крок отворів – 2,5 мм, відстань між рядами кратна 2,5 мм. Слід зауважити, що мікросхеми з жорсткими виведеннями вимагають більшої точності розмітки і свердління отворів.

Мікросхеми в корпусі типу FLAT мають гнучкі висновки і припаюються безпосередньо до провідників друкованої плати. Слід врахувати, що відстань між виведеннями у них в два рази менше і складає 1,27 мм. Якщо розміри печатної плати задані, необхідно накреслити її контур і кріпильні отвори. Навколо отворів виділяють заборонену для провідників зону з радіусом, що дещо перевищує половину діаметру металевих кріпильних елементів. Далі слід приблизно розставити найбільш великі деталі – реле, перемикачі (якщо їх упаюють в печатну плату), роз'єми, великі деталі і так далі. Їх розміщення зазвичай залежить від загальної конструкції пристрою, визначуваної розмірами наявного корпусу або вільного місця в нім. Часто, особливо при розробці портативних приладів, розміри корпусу визначають за результатами розводки печатної плати.

Цифрові мікросхеми заздалегідь розставляють на платі рядами з міжрядними проміжками 7,5 мм. Якщо мікросхем не більше п'яти, усі друкарські провідники зазвичай вдається розмістити на одній стороні плати і обійтися невеликим числом дротяних перемичок, що упаюються з боку деталей. Не треба розташовувати на односторонній друкованій платі більшу

кількість цифрових мікросхем, це значно утруднить розводку і буде потребувати використання надмірно великого числа перемичок. У цих випадках розумніше перейти до двосторонньої друкованої плати.

Особливий випадок представляють плати, у яких і провідники, і деталі розміщені на одній стороні, причому деталі припаяні до провідників без отворів. Необхідно знати, що внести зміни в печатний монтаж, коли сторона провідників і сторона деталей єдині, дуже складно. Плати такої конструкції застосовують рідко.

Мікросхеми розміщують так, щоб усі з'єднання на платі були по можливості коротші, а число перемичок – мінімальним. В процесі розводки провідників розташування мікросхем один відносно одного доведеться міняти не один раз. Рисунок печатних провідників аналогових облаштувань будь-якої складності зазвичай вдається розвести на одній стороні плати. Далі можна починати власне розводку. Корисно заздалегідь виміряти і записати розміри місць, займаних використовуваними елементами. Не слід розміщувати пліч-о-пліч дві товсті (більше 2,5 мм) деталі, їх необхідно чергувати з тонкими. Якщо потрібно, відстань між контактними майданчиками тієї або іншої деталі збільшують. Лінії з'єднання елементів виконуються відповідно до електричної схеми по найкоротшому шляху при мінімальній довжині сполучних провідників. Вхідні і вихідні ланцюги схеми мають бути рознесені один від одного по можливості далі, що виключить наведення і самозбудження схем підсилювачів. Вдало розмістити елементи з першої спроби, як правило, не виходить, і доводиться змінювати рисунок (іноді кілька разів) для підбору оптимального компонування деталей. Після розміщення усіх елементів необхідно ще раз перевірити відповідність топології плати електричній схемі і усунути усі виявлені помилки. Чим ретельніше виконується цей етап роботи, тим менше буде проблем при налаштуванні вже зібраного пристрою. Якщо резистори, діоди і інші деталі з осьовими виведеннями розташовувати вертикально, можна істотно зменшити її площу, проте рисунок друкарських провідників ускладниться. При

виготовленні рисунка завжди треба пам'ятати про достатні проміжки між провідниками і враховувати властивості поверхні плати. Дуже важливо залишати між провідниками максимально можливу відстань, особливо якщо вони знаходяться під високою напругою або схема повинна мати великий внутрішній опір. Отже, в деяких випадках треба приділяти особливу увагу взаємному розташуванню провідників. Так, ланцюгу з великим внутрішнім опором треба розміщувати якнайдалі від ланцюгів живлення або від інших сигнальних ланцюгів. Інакше можуть погіршати співвідношення сигнал/шум, з'явитися індуктивні наведення або виникнути небажані зворотні зв'язки. [16]

За розробленою схемою (рис. 2. 8) побудували топологію друкованої плати (рис. 2.12) та 3d модель (рис.2.13). Плата одностороння, розраховані габаритні розміри складають 60 ×40 мм.

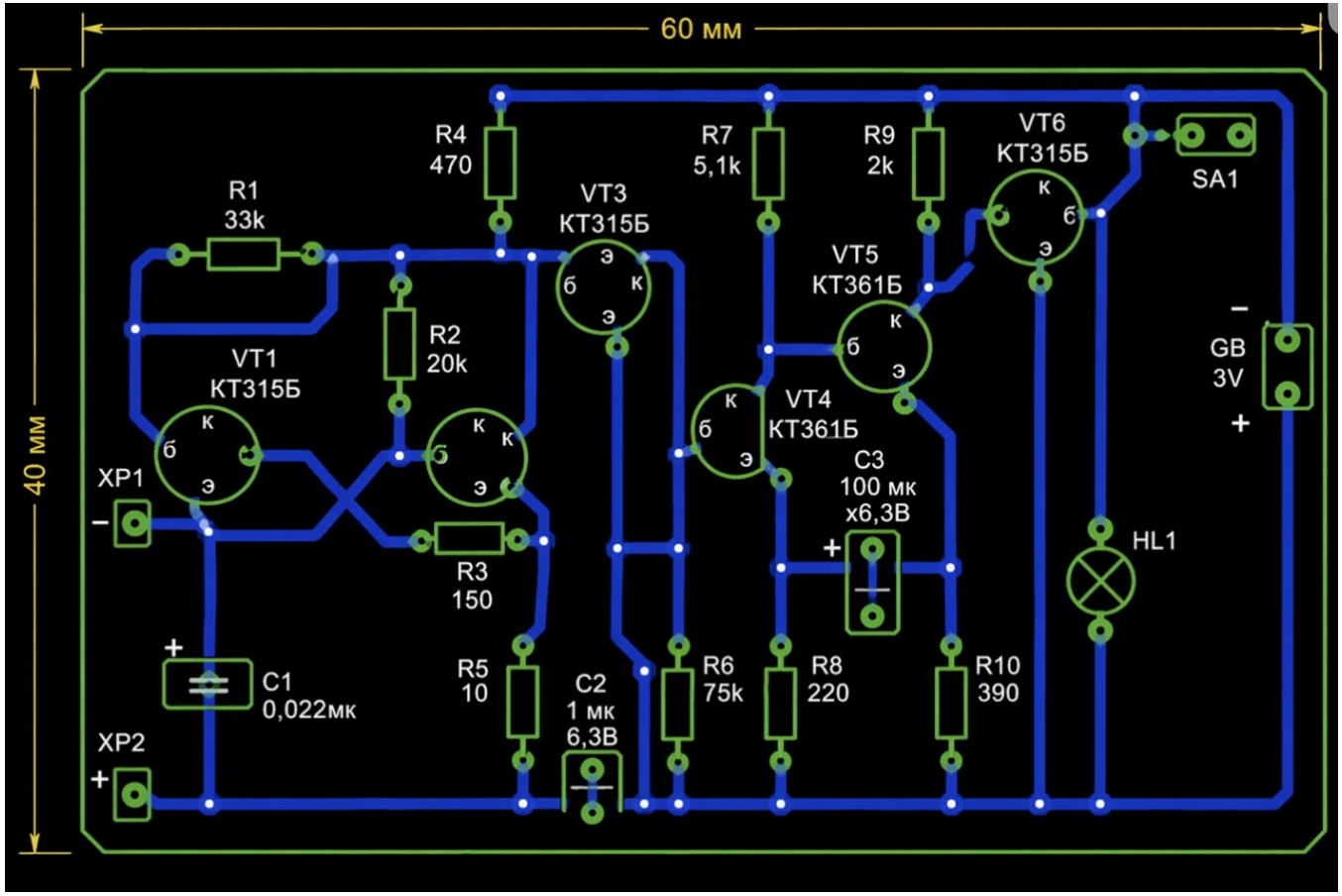


Рисунок 2.12 – Топологія друкованої плати приладу для виявлення дефектів обмотки генератора

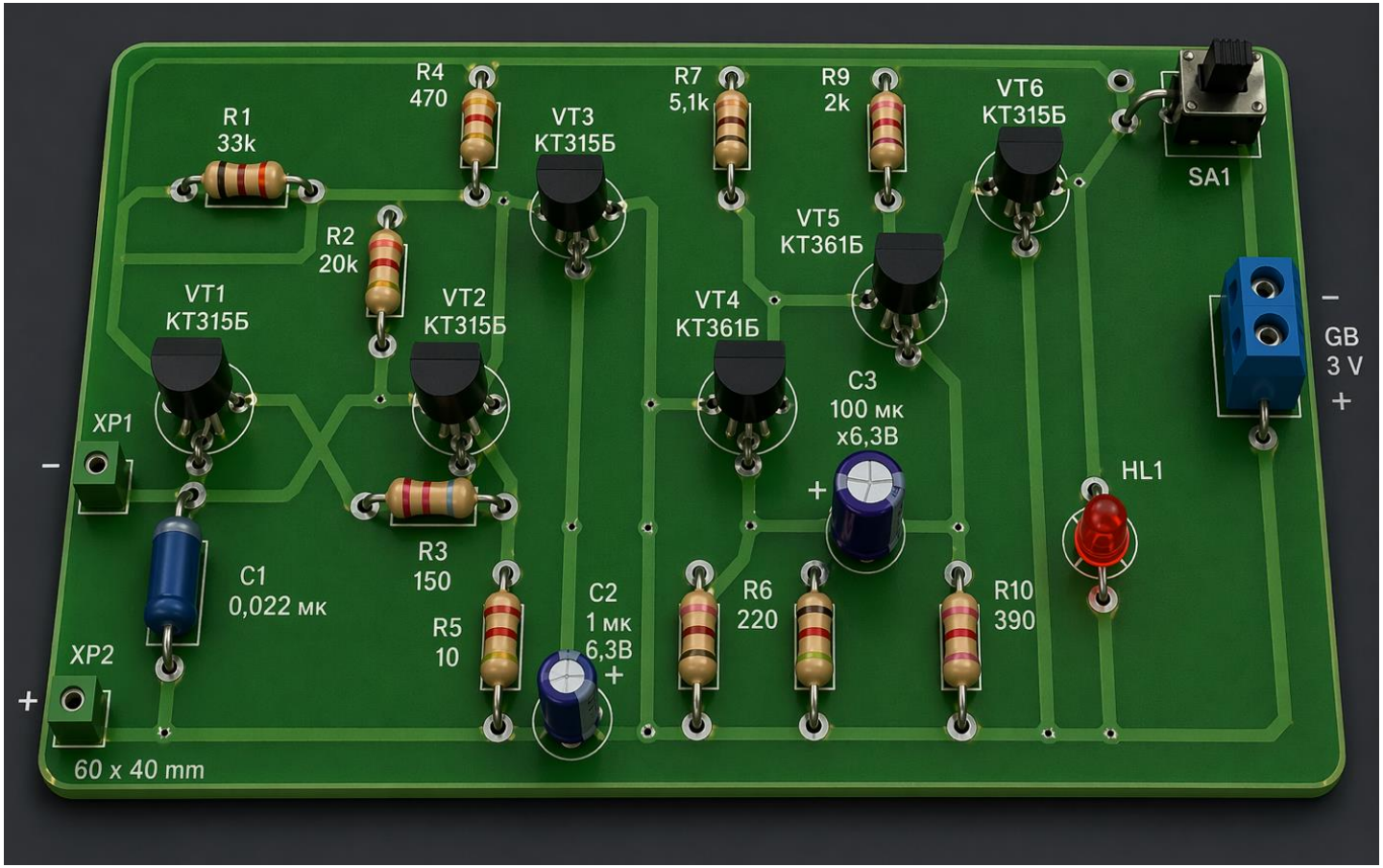


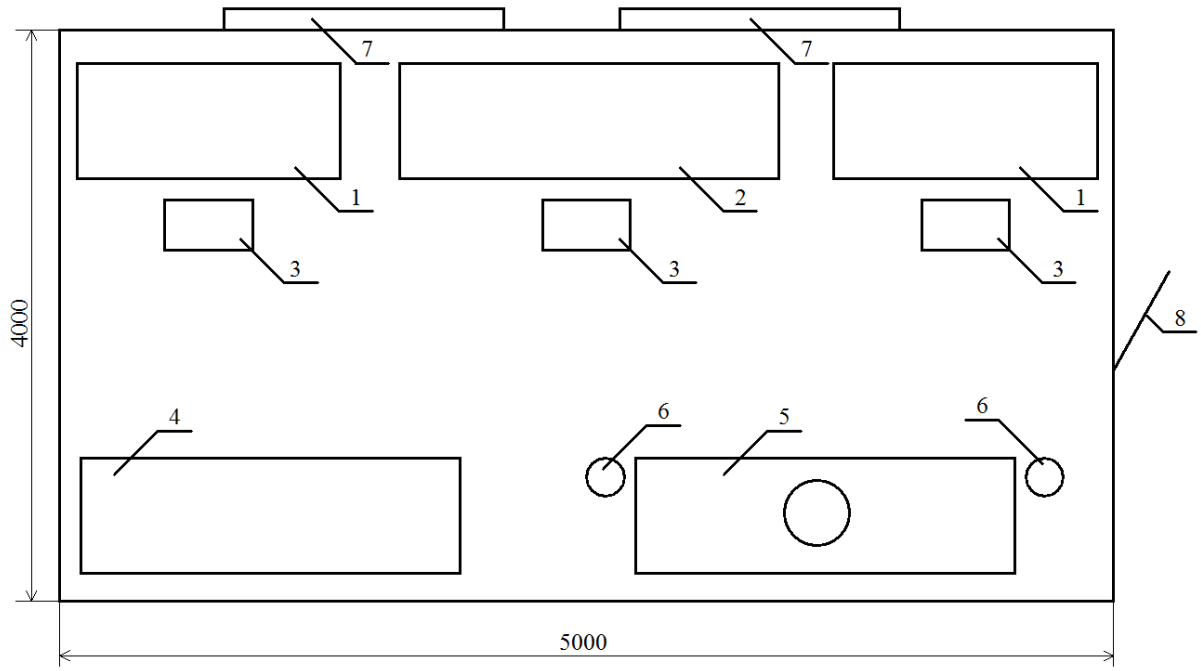
Рисунок 2.13 – 3D модель плати

Таким чином: запропонована схема приладу для виявлення міжвиткового замикання в електродвигуні, що має наступні переваги: простота в роботі та доступність елементної бази, є можливість адаптувати до різних двигунів, автономність, висока чутливість і наочність результату, що робить її зручною для швидкої діагностики електродвигунів навіть без складного обладнання.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Шкідливі і небезпечні чинники при виготовленні макету приладу

Робота співробітників у приміщенні лабораторії (рисунок 3.1) при виготовленні макету приладу пов'язана з додатковою шкідливою дією цілої групи чинників, що істотно знижує продуктивність їх праці.



1 - Стіл комп’ютерний, 2 – Стіл радіо-монтажний, 3 – Стілець, 4 – Шафа металева, 5 – Шафа витяжна, 6 – Вогнегасник ОУ-5, 7 – Вікно, 8 – Двері.

Рисунок 3.1 – План лабораторії

До таких чинників можна віднести:

- вплив електромагнітних випромінювань;
- можливість впливу електричного струму;
- дія хімічних реактивів;
- недостатня освітленість;
- підвищений рівень шуму;
- не комфортні метеорологічні умови; та інші.

Кожен працівник повинен прагнути підвищувати санітарну культуру і сприяти оздоровленню умов праці [17]. Для цього потрібно мати уявлення про професійні небезпеки, їх дії на організм людини, а також про основні заходи щодо попередження їх шкідливої дії на організм.

Аналіз умов при виготовленні макету (дослідного зразка) розробленого приладу показує, що найбільш небезпечними, з погляду охорони праці і техніки безпеки, є такі операції як: паяння, виготовлення друкарських схем, збірка макету.

Для виготовлення друкарської плати застосовуються два різновиди технологічних процесів отримання рисунка плати з використанням в якості основи друкарської плати фольгованого склотекстоліту. Друкарська плата може бути однобічною, двобічною і багатошаровою. При виготовленні однобічної друкарської плати для отримання провідного рисунка застосовують метод шовкографії нітрофарбою з подальшим травленням міді на незахищених фарбою ділянках плати. При виготовленні однобічної друкарської плати для отримання провідного рисунку застосовують метод з використанням сухого плівкового фоторезиста СПФ-2ВЩ з подальшим травленням міді на незахищених фоторезистом ділянках плати. Для створення міжшарових з'єднань за допомогою контактних і перехідних отворів використовують хімічне осадження міді. Крім шкідливих чинників, характерних для процесів травлення і хімічного осадження металів, на

працюючих надають дію розчинники, використовувані для видалення фарб, оптичне випромінювання використовуване для засвічення фоторезисту.

При нанесенні рисунка струмопровідними фарбами з подальшим гальванічним нарощуванням металу велику шкідливість для організму працюючих представляють різні зв’язуючи речовини, розчинники, відновники, наповнювачі, що входять до складу струмопровідних фарб.

Найшкідливішу дію з цих речовин надають хлорорганічні розчинники (дихлоретан, хлороформ і ін.), ароматичні з'єднання (бензол, толуол, ксилол і ін.), фенолоальдегідні і інші смоли, формальдегід і інші речовини [18].

При побудові технологічного процесу нанесення схем струмопровідними фарбами слід виключити можливість безпосереднього контакту з ними працюючих; велику роль при цьому виконує механізація і автоматизація технологічного процесу. На робочому місці повинна бути встановлена вентиляція, а працюючий персонал зобов'язаний дотримувати заходи виробничої та особистої гігієни.

При паянні друкарських схем методом занурення в розплавлений припій ПОС-61 пари свинцю можуть забруднювати повітря. Крім того, можливі і опіки працюючих краплями розплавленого припою (при ручному способі занурення плати). Тому ванни з розплавленим припоєм повинні мати кришки і пристрої для відсмоктування повітря з ванн, а процес занурення плати при паянні повинен бути механізований.

При паянні способом хвилі випаровування припою йде ще інтенсивніше, оскільки припій перемішується.

При виготовленні макету планується використання припою ПОС-61 (ГОСТ 21930-76) і каніфоль світла (ГОСТ 797-64). При паянні і лудінні олов'яно-свинцевими припоями утворюються пари свинцю. Свинець надає несприятливу дію на організм, шкідливо відображається на стані нервової і серцево-судинної системи, викликає ряд хворобливих явищ шлунково-кишкового тракту, що приводить до професійного отруєння. Тому при систематичній роботі з припоями, що містять свинець, необхідна припливно-

витяжна вентиляція, а на робочому місці повинне бути встановлений відсмоктувач. Паяння і лудіння рекомендується виробляти в спеціальних витяжних шафах.

Склад припою марки ПОС-61 і допустимих домішок, а також ГДК цих матеріалів вказані в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Склад і ГДК компонентів припою ПОС-61

Компонент	Вміст	ГДК
Олово	60…62 %	0,05 мг/м^3
Вісмут	0,1 %	0,5 мг/м^3
Миш'як	0,05 %	0,3 мг/м^3
Залізо	до 0,02 %	0,004 мг/м^3
Нікель	до 0,02 %	0,001мг/м^3
Сіра	до 0,02 %	6 мг/м^3
Цинк	до 0,002%	0,25 мг/м^3
Алюміній	до 0,002%	2 мг/м^3
Мідь	до 0,05 %	0,002 мг/м^3
Свинець	решта	0,0003 мг/м^3

В даному приміщенні в повітрі робочої зони концентрація шкідливих речовин не перевищує нормативних значень.

3.2 Заходи для зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При роботі з олов'яно-свинцевими припоями потрібно строго виконувати передбачені правила виробничої і особистої гігієни:

– категорично забороняється приймати їжу і палити в приміщеннях, де виконується паяння.

– перед обідньою перервою і після роботи необхідно обмивати руки 1% розчином соди і ретельно мити їх теплою водою.

– після закінчення роботи слід приймати душ.

– очищення місць паяння від залишків флюсу проводити спирто-бензиновою сумішшю. Співвідношення етилового спирту (ГОСТ 5962-67) і бензину в суміші 1:1.

– спецодяг слід регулярно стирати і зберігати на виробництві.

– медичний огляд осіб тих, що працюють з припоями повинен проводитися не рідше за один раз на рік.

Враховуючи шкідливість роботи, робоче місце, на якому виробляється паяльна операція, повинне бути обладнане місцевою механічною витяжною вентиляцією. Оскільки кількість робочих місць, на яких виробляється паяння при розробці, макетуванні і наладці приладу як правило не перевищує двох. Рекомендується такі робочі місця обладнати спеціальними настільними димопоглиначами типа СТ-628. Даний димопоглинач розрахований для обслуговування одного робочого місця, де виробляються паяльні роботи по збірці і наладці друкарської плати і приладів. Він забезпечений спеціальними фільтрами для поглинання парів олов'янно-свинцевих припоїв, парів спірто-каніфольних флюсів і інших продуктів виникаючих при виконанні паяння. Зовнішній вигляд димопоглинача типа СТ-628 представлений на рисунку 3.2, а використання димопоглинача сумісно з паяльною станцією на рисунку 3.3.

Лудіння кінців дротів також супроводжується забрудненням повітря парами свинцю і флюсів. Тому лудіння кінців дротів дозволяється проводити тільки у витяжній шафі при працюючій місцевій вентиляції.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд димопоглинача типа СТ-628



Рисунок 3.3 – Димопоглинач сумісно з паяльною станцією

Ізоляцію монтажних дротів у ряді випадків закладають різними клеями, приготованими на бакелітовій (фенолформальдегідній) основі [19]. Постійне забруднення поверхні шкіри клеями може викликати появу шкірних захворювань. Для попередження цих захворювань рекомендується користуватися спеціальними захисними пастами та гумовими рукавичками.

Таким чином, на ділянці збірки і монтажу на працюючий персонал можуть впливати: пари свинцю і флюсів (при паянні), пари і найдрібніший

пил металів, що сполучаються, газоподібні речовини, а також дим і пари, що утворюються при приготуванні ізоляції дротів.

Звідси витікає, що складальні і монтажні місця повинні бути обладнані ефективною, раціонально влаштованою припливно-витяжною механічною вентиляцією [19].

3.3 Виробнича санітарія

Особливу увагу необхідно звертати на освітленість складально-монтажних робочих місць, оскільки роботи, виконувані на цих місцях, зв'язані із значною напругою зору і уваги працюючих. Повинне бути передбачене як загальне, так і місцеве освітлення робочих місць [20]. Загальне освітлення може бути природним або штучним. Загальне освітлення у світлу частину доби здійснюється за рахунок зовнішнього природного освітлення. Для забезпечення рівномірного світлового потоку на вікнах приміщення необхідно встановити жалюзі з білого напівпрозорого матеріалу. Також для отримання рівномірного освітлення приміщення його стіни повинні бути пофарбовані в спокійні світлі тони (наприклад пастельні). Для забезпечення необхідного освітлення робочої зони де здійснюється збірка макету, та на робочих місцях які обладнані комп’ютерною технікою встановлені світильники локального освітлення з енергозберігаючими газорозрядними лампами. Таким чином на робочих місцях забезпечується освітленість на рівні не менш 400лк.

Оскільки виготовлення макету не зв’язано з великими енерговитратами (маса макету не перевищує одного кілограма) то роботи можна віднести, відповідно до класифікації категорії робіт за енерговитратами організму ГОСТ 12.1.005-88 робота в лабораторії відноситься до легкої - 1а

(енерговитрати до 120 ккал / год), так як робота виконується сидячи або стоячи, і не вимагає систематичного фізичної напруги або підняття і перенесення ваги.

Мікроклімат робочого приміщення згідно з ДСН 3.3.6.042-99 визначають наступні параметри: температура повітря в приміщенні; відносна вологість повітря, швидкість руху повітря; інтенсивність радіації.

Ці параметри слід приймати на теплий, холодний і перехідний періоди року. Отже, оптимальна температура, відносна вологість і швидкість руху повітря в лабораторії при холодному (теплом) періоді року мають такі значення: оптимальна температура - 22-24 (23-25) ° С; оптимальна відносна вологість 40-60 (40-60)%; оптимальна швидкість руху повітря не більше 0,1 (0,1) м/с. Фактичні значення параметрів мікроклімату у даному приміщені в холодний період року складає 18-19ºС. Оскільки вищеназвані роботи виконуються в основному в холодний і перехідний періоди року тому в приміщені встановлені радіатори централізованого опалення які забезпечують підтримку оптимальних параметрів мікрокліматy [20].

3.4 Електробезпека

Приміщення в якому виконуються роботи по складанню та випробуванню макету розробляє мого приладу відноситься до категорії приміщень з підвищеною небезпекою ураження струмом, тому що в приміщенні для живлення лабораторного устаткування використовується промислова мережа живлення з напругою 380В, підлога приміщення виконана з бетону та вкрита лінолеумом, а також є можливість одночасного торкання предметів які знаходяться під дією електричного струму та які з’єднані з заземлюючим дротом [20].

При виконанні складальних, монтажних і регулювальних операцій повинні строго дотримуватися правил електробезпеки:

– всі доступні для дотику токоведущі частини електроустаткуванні повинні бути захищені;

– рубильники і автоматичні вимикачі повинні бути миттєвої дії;

– щитки і рубильники повинні бути встановлені в глухих металевих кожухах, що закриваються на замок, і мати написи про робочу напругу;

– ручки, рукоятки, маховики повинні бути зроблені з ізолюючих матеріалів; металеві деталі з ізолюючими покриттями повинні бути ізольовані від струмопровідних частин і заземлені;

– все електроустаткування, а також устаткування і механізми, які можуть виявитися під напругою повинні бути заземлені;

– металеві частини переносних електричних печей, і електрифікований інструмент при використанні в ньому напрузі понад 36В повинні бути заземлені, електропроводка, арматура освітлювальної мережі повинні бути надійно ізольовані і захищені від впливу високої температури, механічних пошкоджень і хімічних дій;

– роботи по ремонту устаткування і механізмів повинні вироблятися тільки після повного відключення від мережі електроживлення; на місці робіт обов'язково вивішуються попереджувальні плакати;

– контактні дроти, що підлягають ремонту, повинні бути заздалегідь відключені і заземлені;

– ручний інструмент, вживаний для електромонтажних робіт (викрутки, плоскогубці, кусачки і ін.), повинен бути забезпечений ізольованими рукоятками;

– робочі, працюючі ручним переносним електроінструментом і приладами, повинні бути забезпечені справними, випробуваними засобами захисту (гумовими рукавичками, калошами і гумовими килимками);

– у місцях роботи поблизу відкритих струмопровідних частин повинні бути встановлені захисні огорожі (ізоляційні щити і грати).

3.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Категорія приміщення по пожежній вибухонебезпечності згідно СНиП 2.01.02 - 85 має I ступінь вогнестійкості, а по пожежовибухонебезпеки відноситься до категорії В, тобто в приміщенні зберігаються тверді горючі речовини. Клас приміщення лабораторії з пожежної небезпеки відповідно до ПУЕ-85-П-110 (використовуються горючі матеріали, магнітні носії інформації) [20].

У лабораторії можливі наступні причини виникнення пожежі: несправність електропроводки, порушення протипожежних правил і правил експлуатації приладів.

Тому, відповідно до ГОСТ 12.4.009-83 в приміщенні слід встановити первинні засоби пожежогасіння. Виходячи із загальної площі приміщення і категорії приміщення з вибухопожежної та пожежної небезпеки, потрібно поставити два вогнегасника з вуглекислотою типу ОУ-5 [30]. Вогнегасники повинні розміщуватися на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника. Їх розміщують таким чином, щоб інструктивні написи на корпусі були видні.

Також пропонується застосування сигналізації про виникнення пожежі шляхом установки датчиків КН-1, налаштованих на температуру спрацювання 70 ° С.

Оскільки один датчик типу КН-1 здатен контролювати площу 3 кв.м. розрахуємо кількість датчиків (Кд) необхідних для приміщення лабораторії

$$К_д = \frac{S}{3} = \frac{20}{3} \approx 7шт \qquad (3.1)$$

Для більш надійного контролю приміщення лабораторії приймаємо кількість датчиків типу КН-1 яка дорівнює 8.

Різні рідини використовувані при монтажно-складальних роботах (спирт, розчинники, скипидар і ін.), повинні зберігатися в закритому небиткому посуді. Посуд повинен мати написи про її вміст [30].

Організаційно-технічними заходами [20] щодо забезпечення пожежної безпеки є: організація навчання персоналу правилам пожежної безпеки; розробка заходів щодо дій робітників на випадок виникнення пожежі. Важливою мірою щодо забезпечення пожежної безпеки є організація пожежної охорони приміщення, яка передбачає профілактичний і оперативне обслуговування.

Розроблений заздалегідь план евакуації знаходиться біля вхідних дверей. В лабораторії працює 4 людини, тому в разі виникнення пожежі при евакуації робочого персоналу при евакуації використовується вхідні двері [21]. Час евакуації робочого персоналу в безпечну зону не повинен перевищувати двох хвилин. План евакуації представлений на рисунку 3.4.

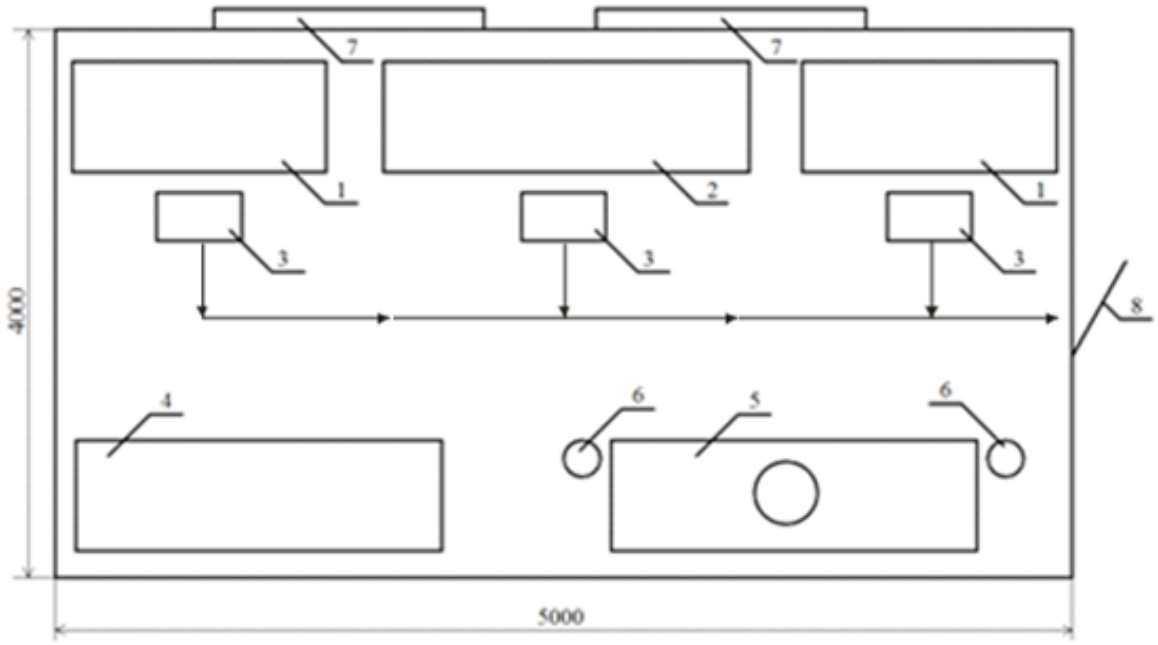


Рисунок 3.4 – План евакуації

У розділі "Охорона праці та техногенна безпека" були розглянуті питання умов праці, техніка безпеки, виробничої санітарії, пожежної профілактики та викладені пропозиції, що до поліпшення умов праці при виготовлені та випробуванні макету приладу.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведений літературний аналіз показав, що тільки комплексна діагностика, що поєднує декілька методів дозволить виявляти дефекти обмотки на початковому рівні з високою точністю.

Запропонована розробка реалізована на основі імпульсно-резонансного методу діагностики міжвиткових замикань, заснованого на зміні параметрів перехідного процесу в колі з досліджуваною обмоткою. Розроблений прилад відрізняється простотою в роботі та доступністю елементної бази, можливістю адаптації до різних двигунів, автономністю, високою чутливістю та наочністю результату.Розраховані габаритні розміри складають 60 × 40 мм.

Запропонований прилад може використовуватися для виявлення пошкоджень асинхронних електричних двигунів змінного струму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Загірняк М. В., Невзлін Б. І., Шкрабець Ф. П. Електричні машини : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ : Знання, 2018. 488 с.
2. Василів К. М. Електричні машини : підручник. Львів : Магнолія 2006, 2020. 416 с.
3. Кузнецов В. Г., Тугай Ю. І., Подольський В. В. Загальна електротехніка : підручник. Київ : КНТ, 2023. 524 с.
4. Панченко В. В. Електричні машини і трансформатори : підручник. Київ: Каравела, 2021. 320 с.
5. Електричні машини : методичні вказівки до лабораторних робіт / уклад.: О. В. Глушаков, С. В. Ткаченко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 98 с.
6. Мільтих О. В. Електричні машини та електропривод : навч. посібник. Полтава : ПДАУ, 2024. 215 с.
7. Плахтієнко М. А., Федоров В. Ф. Електричні машини та мікромашини**:** підручник. Київ : Либідь, 1990. 432 с. Мазуренко Л. І., Герасименко П. Ю. Асинхронні генератори та двигуни у автономних системах : монографія. Київ : Наукова думка, 2021. 240 с.
8. Жуйков В. Я., Терещенко Т. О., Ямненко Ю. С. Електротехніка та основи електроніки : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 580 с.
9. ДСТУ EN 60034-30-1:2019 (EN 60034-30-1:2014, IDT). Машини електричні обертові. Частина 30-1. Класи енергоефективності асинхронних двигунів змінного струму, що живляться від мережі (код IE) : нац. стандарт України. [Чинний від 2021-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 24 с.

10. Chen L., Shen J., Xu G. Induction motor stator winding inter-turn short circuit fault detection based on start-up current envelope energy. *Sensors.* 2023.
11. Dongare U. Stator inter-turn short-circuit fault diagnosis in induction motor. *Measurement.* 2023.
12. Бондаренко І. М., Бородін О. В., Галат О. Б., Карнаушенко В. П. Твердотільна електроніка, навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2020. 236 с.
13. Кравченко В.О., Лисенко В.В. Електроніка та мікросхемотехніка: методичні вказівки до самостійної роботи. Суми, 2024. 84 с.
14. Електронні пристрої та технології для промисловості, енергозбереження та екологічних напрямів: монографія/ під заг. ред. д.т.н., проф. Критської Т.В. Одеса: Олді +. 2023. 154 с.
15. Дружинін А.О. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: навч. посібник / А.О. Дружинін. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2019. 332 с.
16. Виготовлення друкованих плат для електроніки. URL: https://renome.biz/uk/index.php?route=news/article&news_id=61 (дата звернення квітень 2026 р.).
17. Виробнича санітарія та гігієна. URL: https://pidru4niki.com/15060913/bzhd/virobnicha_sanitariya_gigiyena (дата звернення: квітень 2026 р.).
18. Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15/ed20230407#Text (дата звернення: травень 2026 р.).
19. ДБН В 1.1-7:2016 Пожежна безпека. Загальні вимоги [Чинний від 01.06.2017] Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017, 38 с.

20. Основи охорони праці: навч. посіб. / Р.М. Івах та ін. 4-те вид. Київ: Кондор, 2010. 464 с.
21. Правила улаштування електроустановок: затв. Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 20 червня 2014 р. №469. 793 с.