

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного
електродвигуна»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕПА-21мз
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Білик Ризванюк Б.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. КЕМСК

Мозес Розводюк М.П.
(прізвище та ініціали)

«05» 06 2023 р.

Опонент: к.т.н., проф., Руб
проф. каф. ЕСС Рубакенко О.Є.
(прізвище та ініціали)

«09» 06 2023 р.

Допущено до захисту

В.о. завідувача кафедри КЕМСК

Мошноріз к.т.н., доц. Мошноріз М.М.
«07» 06 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 Електрична інженерія
Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

«20» 03 2023 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ризванюку Богдану Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна

керівник роботи Розводюк М.П., к.т.н., доцент кафедри КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» 03 2023 року № 68

2. Строк подання студентом роботи «07» 06 2023 року

3. Вихідні дані до роботи

Інформація з Інтернет-джерел, патентів, науково-технічних журналів, монографій, підручників про зношення ізоляції асинхронного електродвигуна.

4. Зміст текстової частини:

1. Аналіз причин пошкодження та зношення ізоляції асинхронних електродвигунів.

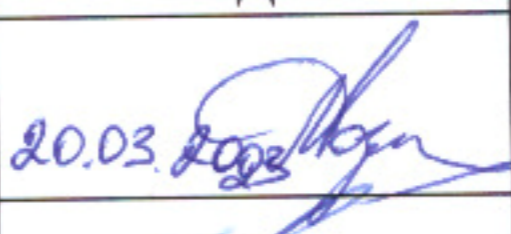
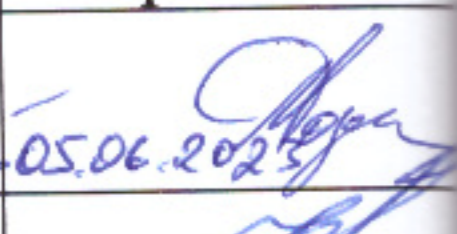
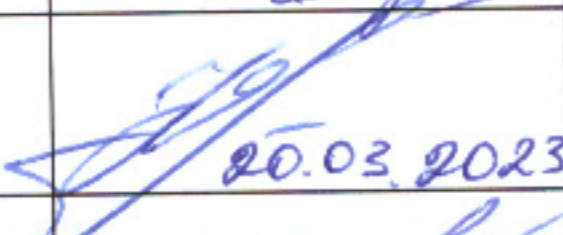
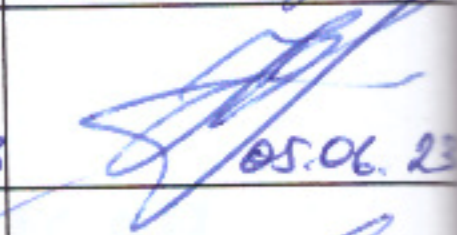
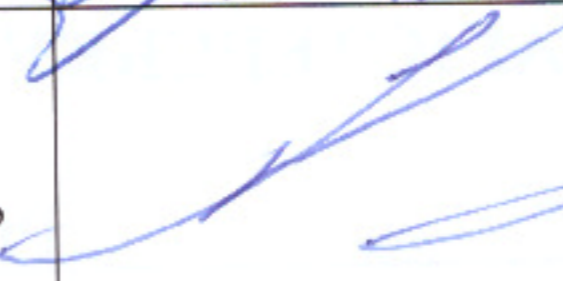

2. Математичка модель впливу зниженої напруги живлення на ізоляцію обмотки статора асинхронного електродвигуна. 3. Дослідження впливу зниженої напруги живлення на асинхронний електродвигун. 4. Розробка пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна частина.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Мета і задачі дослідження; 2. Об'єкт та предмет дослідження; 3. Причини пошкоджень ізоляції асинхронних двигунів; 4. Класифікація дефектів ізоляції асинхронних двигунів та методів контролю її стану; 5. Класифікація методів лабораторних випробувань для ідентифікації дефектів ізоляції асинхронних двигунів; 6. Причини пошкоджень асинхронних двигунів через якість електроенергії;

7. Параметри, за якими визначається технічний стан асинхронних двигунів при несиметрії напруги живлення; 8. Пошкодження асинхронних двигунів при зниженні напруги; 9. Математична модель впливу зниженої напруги живлення на ізоляцію обмотки статора асинхронного електродвигуна; 10. Дослідження впливу зниженої напруги живлення на асинхронний електродвигун; 11. Структурна схема пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного двигуна; 12. Алгоритм роботи пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна; 13. Новизна та практичне значення одержаних результатів. Апробація результатів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Розводюк М.П., к.т.н., доцент	 20.03.2023	 05.06.2023
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доцент	 20.03.2023	 05.06.23
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.пед.н., завідувач кафедри, професор	 20.03.2023	 05.06.2023

7. Дата видачі завдання «20» 03 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	20.03.2023	в.к.
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	16.05.2023	в.к.
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	05.06.2023	в.к.
4	Виконання розділу «Економічна частина»	05.06.2023	в.к.
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	05.06.2023	в.к.
6	Попередній захист МКР	07.06.2023	в.к.
7	Нормоконтроль МКР	05.06.2023	в.к.
8	Рецензування МКР	09.06.2023	в.к.
9	Захист МКР		

Студент

Богдан РИЗВАНЮК

Керівник роботи

Михайло РОЗВОДЮК

АНОТАЦІЯ

УДК 621.313.333

Ризванюк Б.П. Визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Вінниця: ВНТУ, 2023. 94 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 39 назв; рис.: 32; табл.: 14.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна, який дозволяє непрямым шляхом контролювати теплове зношення ізоляції обмотки статора при пуску асинхронного електродвигуна в умовах зниження напруги та полегшувати умови його запуску при перевищенні допустимого значення додаткового теплового зношення ізоляції. Розроблено і алгоритм роботи даного пристрою. У загальній частині роботи проведено аналіз причин пошкодження та зношення ізоляції асинхронних електродвигунів, в тому числі й за рахунок затяжних пусків, обумовлених зниженням напруги мережі живлення. У розрахунковій частині математично описано вплив зниженої напруги мережі живлення на ізоляцію обмотки статора асинхронного електродвигуна та здійснені дослідження в математичному пакеті Mathcad. У технологічній частині розроблений пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна та алгоритм його роботи.

Графічна частина складається з 13 плакатів із результатами моделювання.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці (обґрунтування вибору нормованих значень шкідливих та небезпечних виробничих факторів, оцінка факторів виробничого і трудового процесів, гігієнічна оцінка умов праці, оцінка

технічного і організаційного рівня, атестація робочого місця); рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

В економічному розділі проведено розрахунок капітальних вкладень створення пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна. Розрахована основна заробітна плата, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати.

Ключові слова: асинхронний двигун, математична модель, зниження напруги, додаткове теплове зношення ізоляції.

ABSTRACT

Ryzvaniuk B.P. Determination of additional thermal wear of the insulation of an asynchronous electric motor. Master's qualification work on specialty 141 – Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, educational program – Electromechanical automation systems and electric drive. Vinnytsia: VNTU, 2023. 94 p.

In Ukrainian speech. Bibliography: 39 titles; fig.: 32; tab.: 14.

In the master's qualification work, a device was developed for determining the additional thermal wear of the insulation of an asynchronous electric motor, which allows to indirectly control the thermal wear of the insulation of the stator winding during the start of the asynchronous electric motor in conditions of reduced voltage and to facilitate its starting conditions when the permissible value of the additional thermal wear of the insulation is exceeded. An algorithm for the operation of this device has also been developed. In the general part of the work, an analysis of the causes of damage and wear of the insulation of asynchronous electric motors was carried out, including due to protracted starts caused by a decrease in the voltage of the power supply network. In the calculation part, the influence of the reduced voltage of the power supply network on the insulation of the stator winding of the asynchronous electric motor is mathematically described, and researches are carried out in the mathematical package Mathcad. In the technological part, a device for determining additional thermal wear of the insulation of an asynchronous electric motor and an algorithm for its operation have been developed.

The graphic part consists of 13 posters with simulation results.

In the occupational health and safety section, issues such as the causes of occurrence, effects on the human body, and regulation of harmful and dangerous production factors in the production premises are elaborated; map of working conditions (justification of the choice of standardized values of harmful and dangerous production factors, assessment of factors of production and labor processes, hygienic assessment of

working conditions, assessment of technical and organizational level, certification of the workplace); recommendations for improving working conditions, as well as fire safety regulations were considered.

In the economic section, the calculation of capital investments for the creation of a device for determining the additional thermal wear of the insulation of an asynchronous electric motor is carried out. Calculated basic salary, electricity costs, planned repairs and other costs.

Key words: asynchronous motor, mathematical model, voltage reduction, additional thermal wear of insulation.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕННЯ ТА ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ	8
1.1 Причини пошкоджень ізоляції асинхронних двигунів	8
1.2 Причини пошкоджень асинхронних двигунів через якість електроенергії. 11	
1.3 Способи захисту двигуна	18
1.4 Постановка задачі дослідження.....	22
2 МАТЕМАТИЧКА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ЗНИЖЕНОЇ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ НА ІЗОЛЯЦІЮ ОБМОТКИ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА	23
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗНИЖЕНОЇ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ НА АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН	29
4 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДОДАТКОВОГО ТЕПЛОВОГО ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА	38
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	43
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання	44
5.1.1 Вимоги до організації робочого місця оператора системи дистанційного визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна	44
5.1.2 Електробезпека	45
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	47
5.2.1 Мікроклімат	47
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	48
5.2.3 Виробниче освітлення	49
5.2.4 Виробничий шум.....	50
5.2.5 Виробничі вібрації	51
5.2.6 Психофізіологічні фактори	52

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи засобів діагностування електричних двигунів в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	54
5.3.1 Дослідження стійкості роботи пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна	55
5.3.2 Дослідження стійкості роботи пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна в умовах дії електромагнітного імпульсу	57
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	61
6.1 Розрахунок експлуатаційних витрат	63
6.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань	63
6.3 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу	63
6.4 Розрахунок витрат на силову електроенергію	65
6.5 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	66
6.6 Інші витрати.....	68
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	76
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	80
Додаток В (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	94

ВСТУП

Актуальність теми. Найбільш частіше асинхронні електродвигуни виходять з ладу через пошкодження ізоляції обмотки статора. Причинами цього можуть бути перевантаження двигуна, міжвиткові короткі замикання обмотки статора. Серед інших причин варто виділити якість напруги, від якої заживлений асинхронний двигун, зокрема її зниження відносної номінальної. Особливо це стосується процесу пуску, в результаті чого спостерігається затяжний пуск, який може супроводжуватися надлишковим виділенням температури в обмотці статора та додатковим її тепловим зношенням. Тому дослідження впливу зниженої напруги на технічний стан ізоляції асинхронного електродвигуна, є задачею актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно науково-дослідної роботи кафедри Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів «29К4 – Діагностування силового електрообладнання та розподільних електричних мереж» у межах робочого часу у 2021-2022 рр.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є підвищення надійності роботи асинхронного електродвигуна шляхом розробки пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції його обмотки статора, обумовленого зниженою напругою живлення при пуску двигуна.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) здійснити аналіз причин пошкодження та зношення ізоляції асинхронних електродвигунів, приділяючи особливу увагу їх пуску при зниженій напрузі;
- 2) математично описати вплив зниженої напруги мережі живлення на ізоляцію обмотки статора асинхронного електродвигуна;
- 3) дослідити шляхом комп'ютерного моделювання вплив зниженої напруги живлення на асинхронний електродвигун;

4) розробити пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна.

Розв'язанню поставлених задач присвячена дана робота.

Об'єктом дослідження в роботі є процеси зміни технічного стану ізоляції обмотки статора асинхронного електродвигуна, обумовленого зниженням напруги живлення мережі під часу пуску двигуна.

Предметом дослідження є математичні моделі та структура пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна.

Новизна одержаних результатів. У роботі отримано такий новий результат:

– запропоновано пристрій, який дозволяє контролювати надлишкове виділення температури в обмотці статора асинхронного двигуна та додаткове теплове зношення її ізоляції при затяжних або нездійснених пусках двигуна в умовах зниження напруги та полегшувати умови його запуску, який, на відміну від існуючих, дозволяє вимірювати напругу мережі живлення електродвигуна, температуру навколишнього середовища, що підвищує точність регулювання напруги.

Практичне значення одержаних результатів. Використання запропонованого пристрою забезпечить захист асинхронних електродвигуна від додаткового теплового зношення ізоляції в післяпусковий період при зниженій напрузі за рахунок полегшення умов запуску електродвигуна.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні положення та результати, виконаних у магістерській кваліфікаційній роботі досліджень, доповідались та обговорювались на ЛІІ Науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (2023), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 21-23 червня 2023 р.

Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Основний зміст роботи опубліковано в 1 тезі [27]. Подано заявку на отримання

патенту України на корисну модель: «Пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна» / Розводюк М.П., Розводюк К.М., Ризванюк Б. П., Кушнір С.В. Номер заявки № u202301728 від 17.04.2023 р.

1 АНАЛІЗ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕННЯ ТА ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Асинхронні двигуни виходять з ладу в першу чергу через пошкодження ізоляції обмотки статора. Причинами цьому можуть бути різні процеси, зокрема, ті, що протікають в середині електродвигуна, а також ті, що діють на електродвигун під дією зовнішніх чинників [1 – 4].

Основну увагу звернемо на дослідження причин пошкоджень ізоляції обмотки статора асинхронних електродвигунів, які дефекти ізоляції можуть бути та, які використовують методи для ідентифікації її стану.

1.1 Причини пошкоджень ізоляції асинхронних двигунів

Пошкодження ізоляції можна в загальному розділити на такі фактори [5], [6]:

- конструктивні;
- технологічні;
- експлуатаційні.

При сучасному проектуванні асинхронних двигунів та при використанні нових матеріалів, конструктивна складова дещо зменшилася. При цьому дві інші складові потребують дослідження. З них домінантною є експлуатаційні причини.

Класифікація причин пошкоджень ізоляції асинхронних двигунів приведена на рисунку 1.1.

Основними експлуатаційними причинами пошкоджень ізоляції асинхронних двигунів можуть бути: перевантаження зі сторони робочого механізму; перевищення допустимих значень струму статора, що супроводжується додатковим тепловим навантаженням на ізоляцію; вплив температури навколишнього середовища.

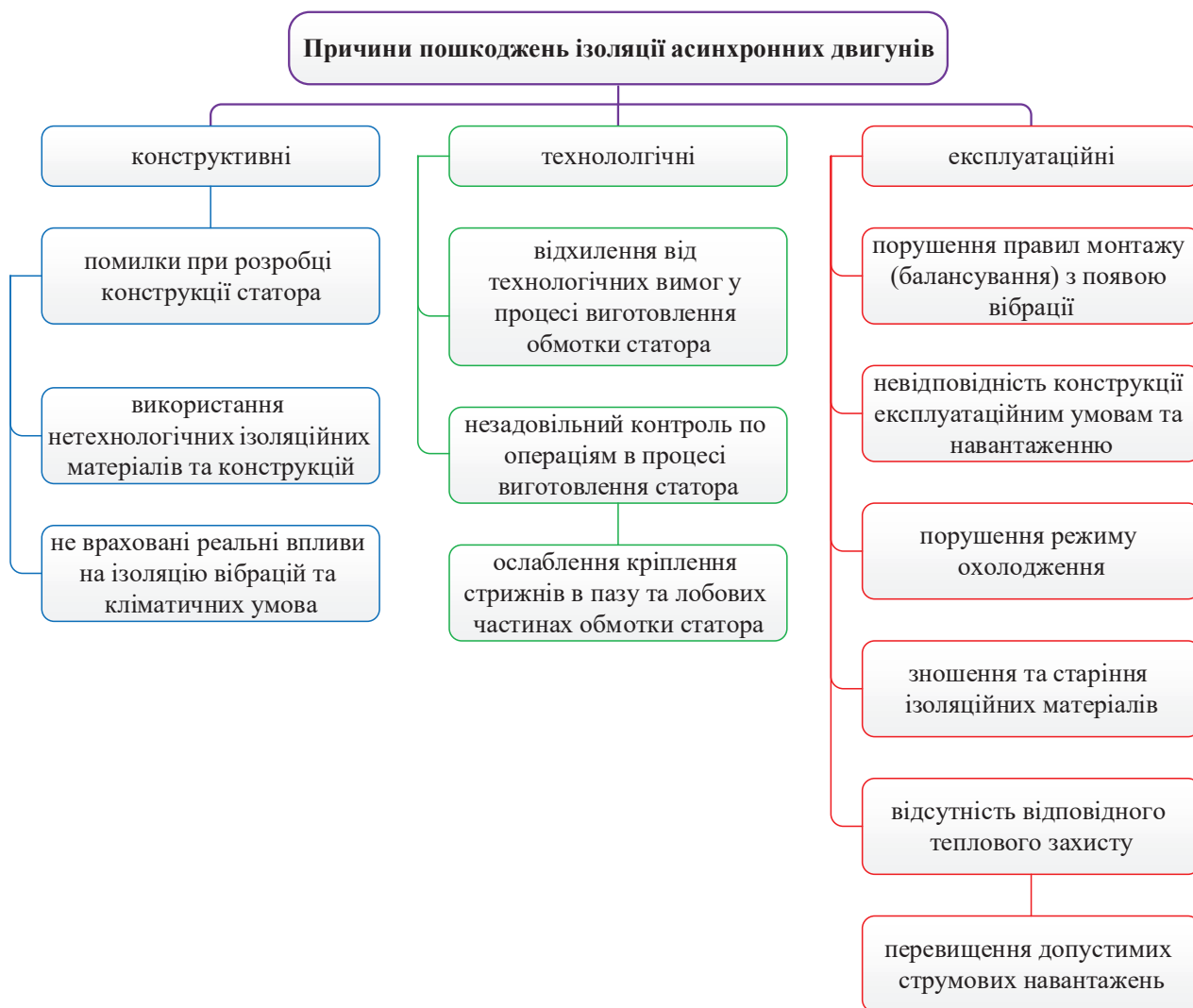


Рисунок 1.1 – Класифікація причин пошкоджень ізоляції асинхронних двигунів

На сьогодні існує багато методів, що дозволяють ідентифікувати технічний стан ізоляції обмотки статора асинхронних електродвигунів. На рисунку 1.2 приведені класифікація дефектів ізоляції асинхронних двигунів та методів ідентифікації її стану.

Класифікація методів неруйнівних випробувань для ідентифікації дефектів ізоляції обмотки статора асинхронних електродвигунів [7] приведена на рисунку 1.3.

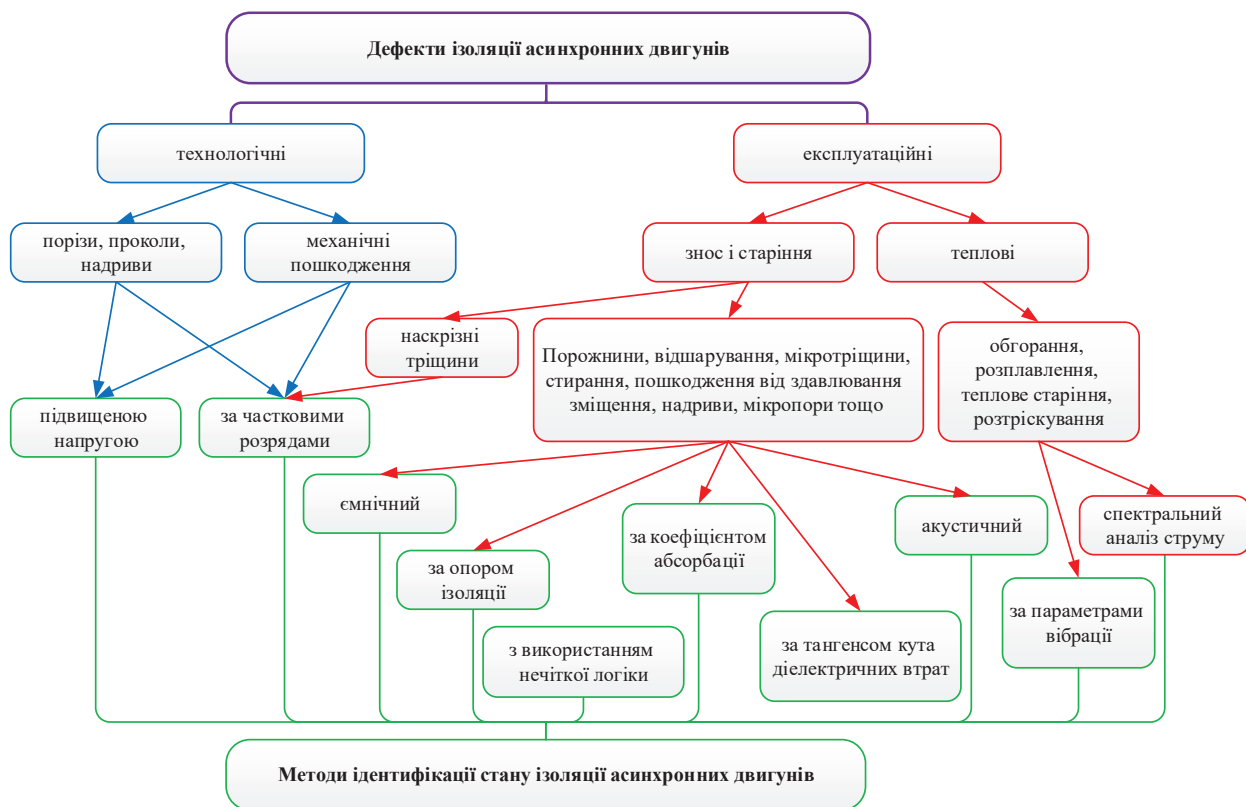


Рисунок 1.2 – Класифікація дефектів ізоляції асинхронних двигунів та методів ідентифікації її стану

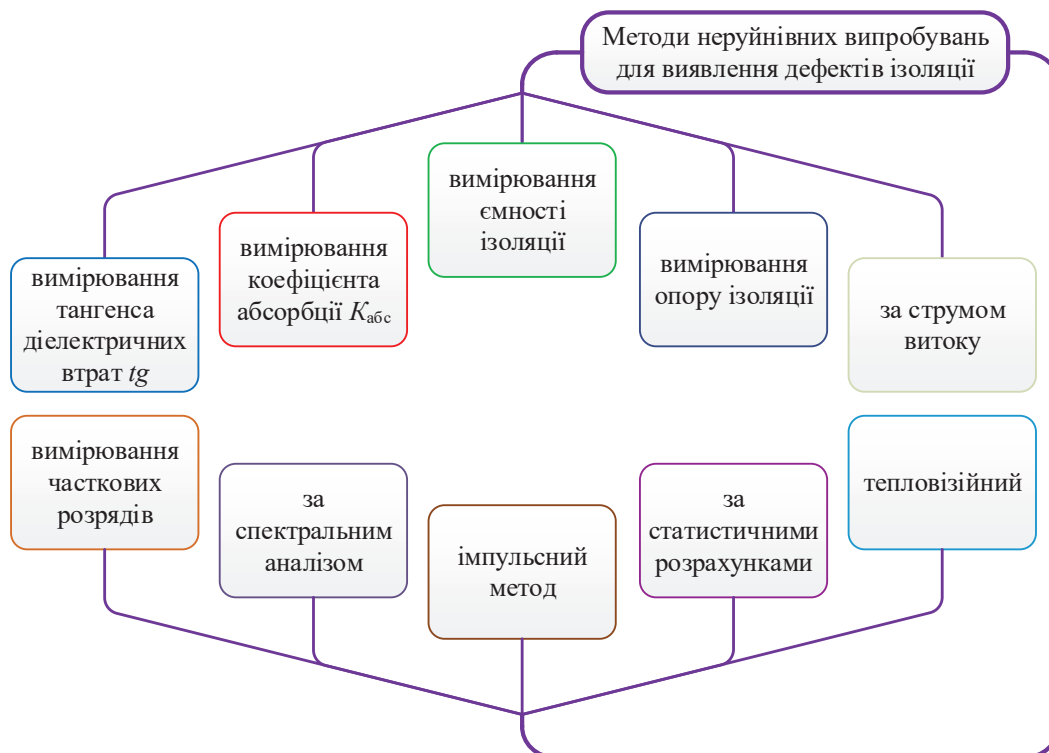


Рисунок 1.3 – Класифікація методів неруйнівних випробувань для ідентифікації дефектів ізоляції

Процес виготовлення та монтаж обмотки статора підпадає під технологічні дефекти. Перевантаження електродвигуна, що супроводжується виділенням додаткового тепла, банальне старіння ізоляції обмотки статора та її зношення підпадає під експлуатаційні дефекти. Останні залежать від умов використання самого електродвигуна.

1.2 Причини пошкоджень асинхронних двигунів через якість електроенергії

Такі причини можна розділити на [8]:

- перехідні напруги;
- асиметрія напруги;
- падіння і провал напруги;
- гармонічні спотворення;
- середньоквадратичне відхилення струму;
- робочі перевантаження.

Перехідні напруги (рисунок 1.4) з довільною амплітудою та частотою можуть руйнувати або ушкоджувати ізоляцію обмоток електродвигунів, що призводить до дострокового виникнення пошкоджень та незапланованого простою.

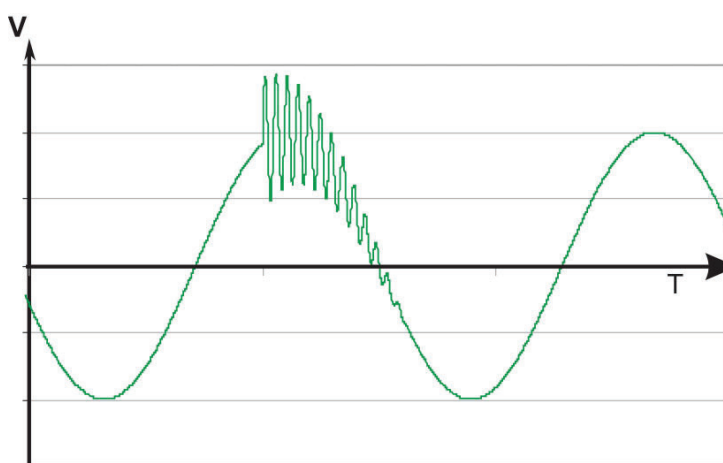


Рисунок 1.4 – Приклад перенапруги

Асиметрія опору або навантаження може бути причиною асиметрії напруги на всіх трьох фазах, викликає навантаження в кожному фазному колі трифазної мережі та призводить до наявності надструмів в одній або декількох фазах, які викликають перегрів та пошкодження ізоляції. Приклад несиметрії трифазної напруги приведено на рисунку 1.5.

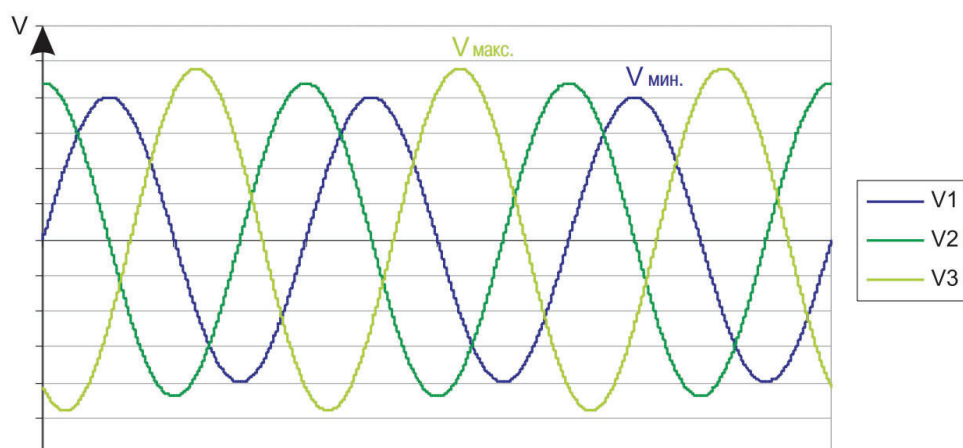


Рисунок 1.5 – Приклад несиметрії трифазної напруги

Стандарт МЭК 60034-26 містить графік погіршення параметрів для несиметрії напруги (рисунок 1.6).

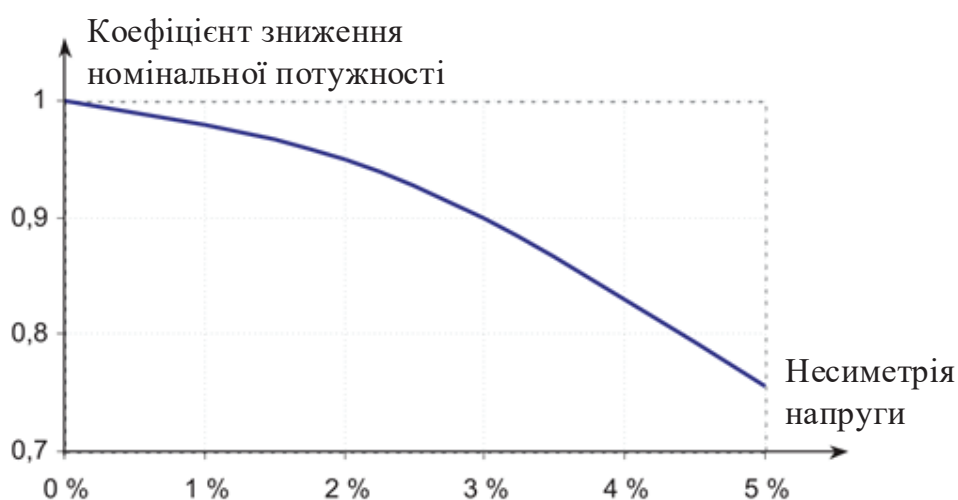


Рисунок 1.6 – Погіршення параметрів двигуна відносно дисбалансу напруги живлення

В роботі [9] приведено параметри, за якими визначається технічний стан асинхронних двигунів при несиметрії напруги живлення (рисунок 1.7).

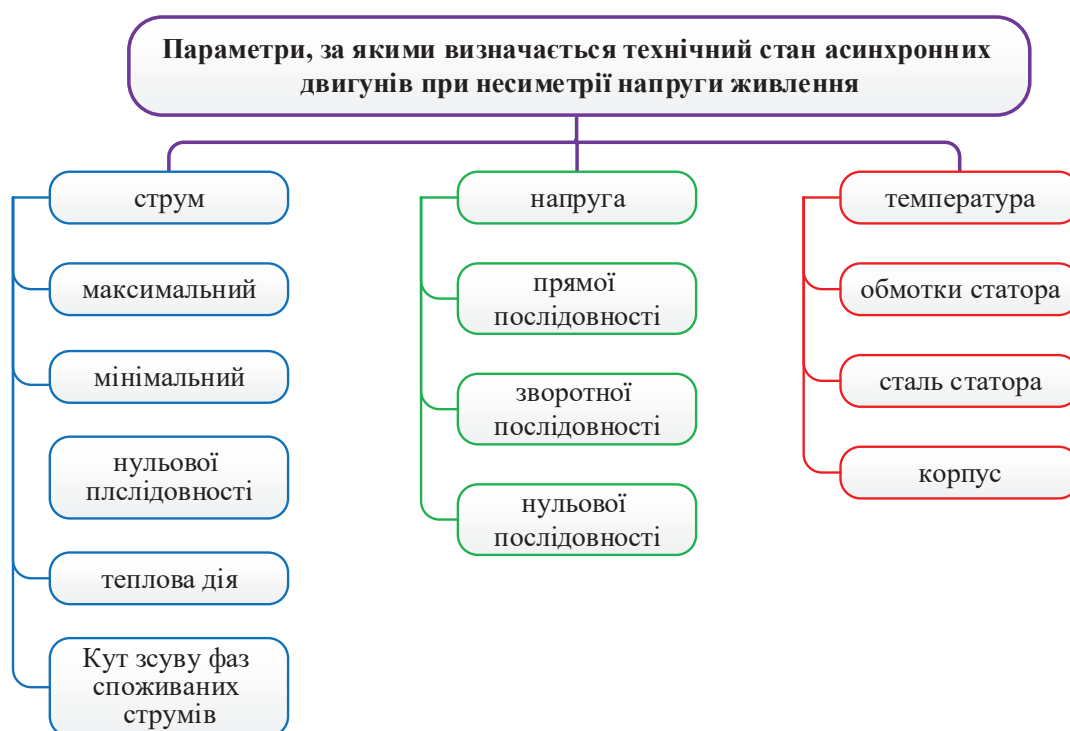


Рисунок 1.7 – Параметри, за якими визначається технічний стан асинхронних двигунів при несиметрії напруги живлення

Падіння напруги (рисунок 1.8) – це раптове зменшення напруги у джерелі живлення.

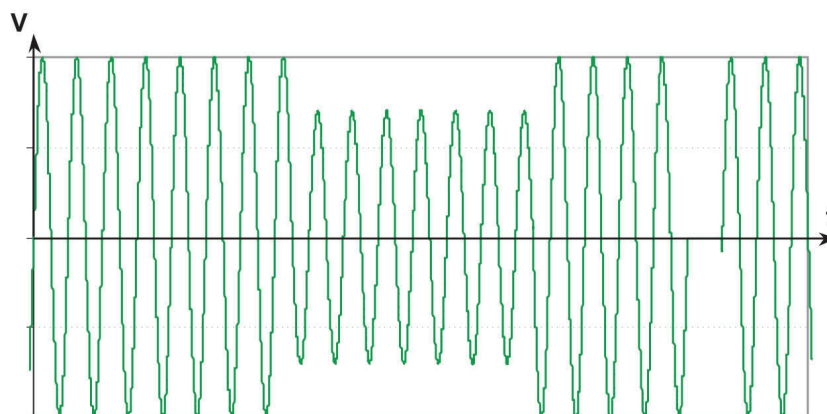


Рисунок 1.8 – Приклад падіння напруги і короткочасного провалу напруги

Для асинхронних двигунів зниження напруги живлення є явищем більш небезпечнішим порівняно з її підвищенням. В асинхронних електродвигунах з напругою живлення 380 В втрати збільшуються на 0,1%, а в асинхронних електродвигунах з напругою живлення 6-10 кВ втрати збільшуються на 0,5% при зниженні напруги живлення лише на 1%. Якщо ж зниження напруги досягне 5% від номінальної напруги живлення, то для уникнення перегріву обмотки статора електродвигуна і пошкодження її ізоляції, обов'язково потрібно зменшувати навантаження на валу. При 10% зниженні напруги більше, ніж у 2 рази зменшиться термін служби ізоляції обмотки статора [10].

Падіння напруги (стандарт EN50160) розглядається в діапазоні від 1 до 90% від номінальної напруги половини циклу 50 Гц тривалістю від 10 мс до 1 хв [11].

Короткочасним провалом напруги вважається зменшення напруги нижче 90% від номінального рівня тривалістю менше 3 хвилин. Якщо напруга відсутня більше 3 хвилин, це вважається тривалим провалом напруги.

Під мікропадінням або мікропровалом напруги мається на увазі відсутність напруги приблизно протягом однієї мілісекунди.

Причиною зміни напруги можуть бути як випадкові зовнішні фактори (несправності в мережі живлення або коротке замикання), так і явища, що мають безпосереднє відношення до виробництва (підключення великих навантажень, наприклад потужних двигунів чи трансформаторів). Наслідки, спричинені цими факторами, можуть серйозно вплинути на сам двигун.

При падінні напруги в асинхронному двигуні відбувається різке зменшення обертового моменту (пропорційного квадрату напруги), в результаті обороти двигуна падають в залежності від величини і тривалості падіння напруги, інерції мас, що обертаються, і кривою зміни крутного моменту в залежності від швидкості приводного навантаження [12]. Якщо створюваний двигуном обертовий момент стає менше моменту опору, двигун зупиняється «перекидається». Після відновлення живлення при повторному запуску двигуна

відбувається потужний кидок струму, за величиною можна порівняти з пусковим струмом.

Якщо на виробництві застосовується велика кількість двигунів, одночасний повторний пуск цих двигунів може призвести до падіння напруги у вищих джерелах живлення.

Цей факт призводить до продовження часу відсутності напруги і може утруднити повторний пуск двигунів (занадто тривалий повторний пуск, що супроводжується перегріванням) або взагалі перешкодити йому (обертний момент на ведучому валу менший моменту опору).

Спроба швидкого повторного включення (близько 150 мс) асинхронного двигуна у стані гальмування, без вжиття відповідних запобіжних заходів може привести до того, що напруга мережі та ЕРС асинхронного двигуна виявляться в протифазі. В цьому випадку початковий кидок струму по силі може тричі перевершувати пусковий струм (15-20 номіналу).

Згадані провали напруги живлення і падіння напруги, що відбувається в результаті падіння напруги, можуть мати цілий ряд наслідків для двигуна:

- перегрів та перенапруги в обмотках, які можуть пробити ізоляцію;
- поштовхова робота двигуна з неприпустимим механічним навантаженням на з'єднаннях або передчасне зношування і поломка.

При зниженій напрузі можливий сценарій виходу з ладу двигуна, приведений на рисунку 1.9 [13].

Підсумовуючи, можна констатувати, що при зниженій напрузі мережі зменшується струм намагнічування двигуна (струм холостого ходу), що призводить до зниження швидкості обертання ротора, збільшення ковзання та зростання струму ротора [14].

При пуску двигуна під навантаженням різко зменшуються пусковий та максимальний моменти і двигун може не розвернутися. Значення струму статора при значних навантаженнях двигуна зазвичай підвищується, що веде до перегріву обмоток статора і ротора [15]. При значному зниженні напруги двигун може зупинитися, причому він споживає дуже великий струм.

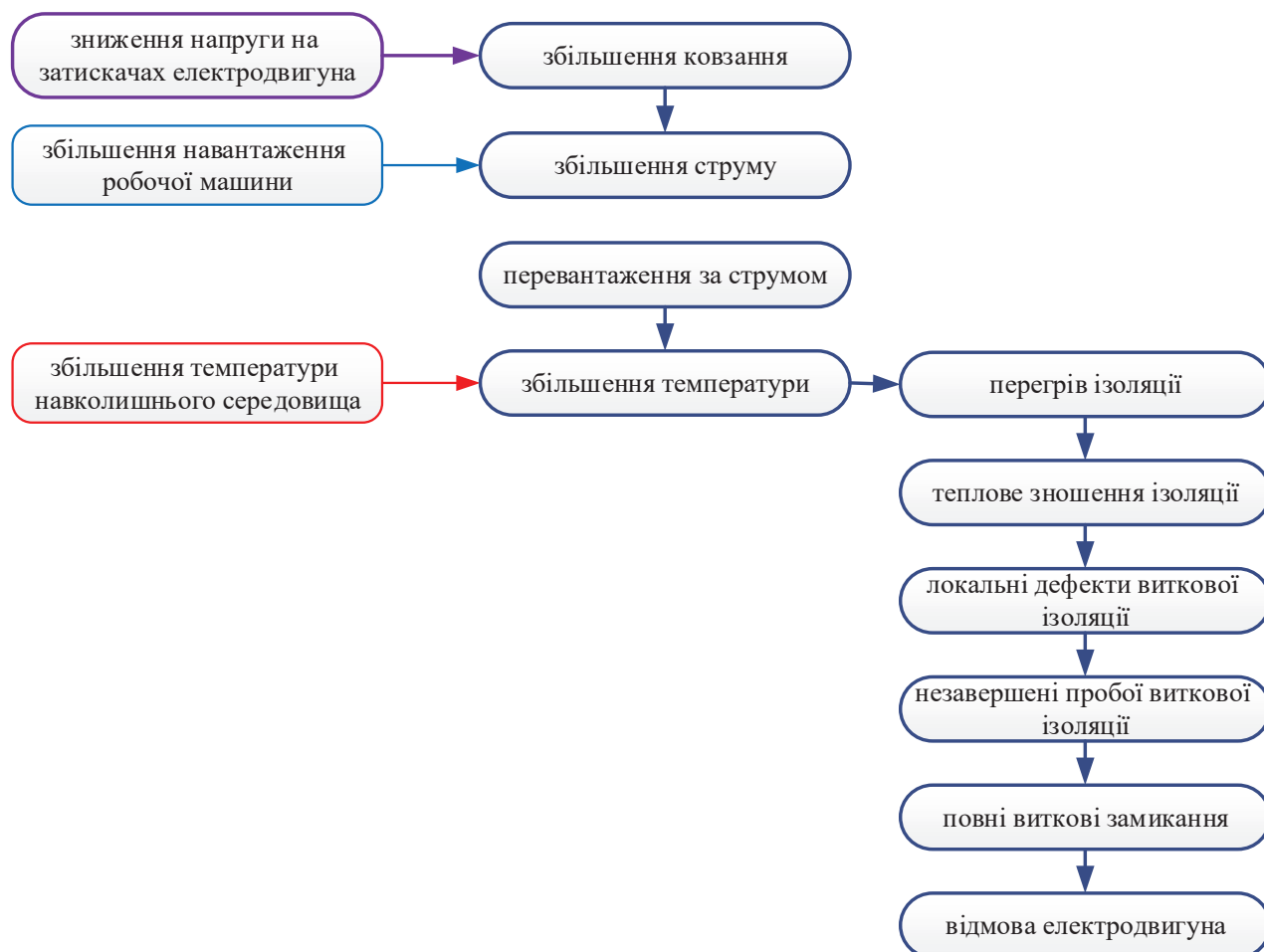


Рисунок 1.9 – Пошкодження асинхронних двигунів при зниженні напруги

При гармонічних спотвореннях наявні додаткові високочастотні коливання напруги або струму, що надходять на обмотки електродвигуна і призводять до його втрат, які розсіюються у вигляді тепла, що погіршує ізоляцію обмоток [8]. При цьому спостерігається збільшення робочої температури.

Приклад напруги з п'ятью гармонікою приведено на рисунку 1.10.

Середньоквадратичне відхилення струму є результатом частоти сигналу, рівня напруги, ємності та індуктивності у провідниках. Такі струми здатні протікати через захисне заземлення, що призводить до хибного розмикання чи нагрівання обмотки.

При перевантаженні двигуна збільшується струм, що споживається з мережі, зменшується момент на валу, що супроводжується перегрівом самого

двигуна, що призводить до пошкодження електродвигуна, а то й виходу з ладу [8], [16].

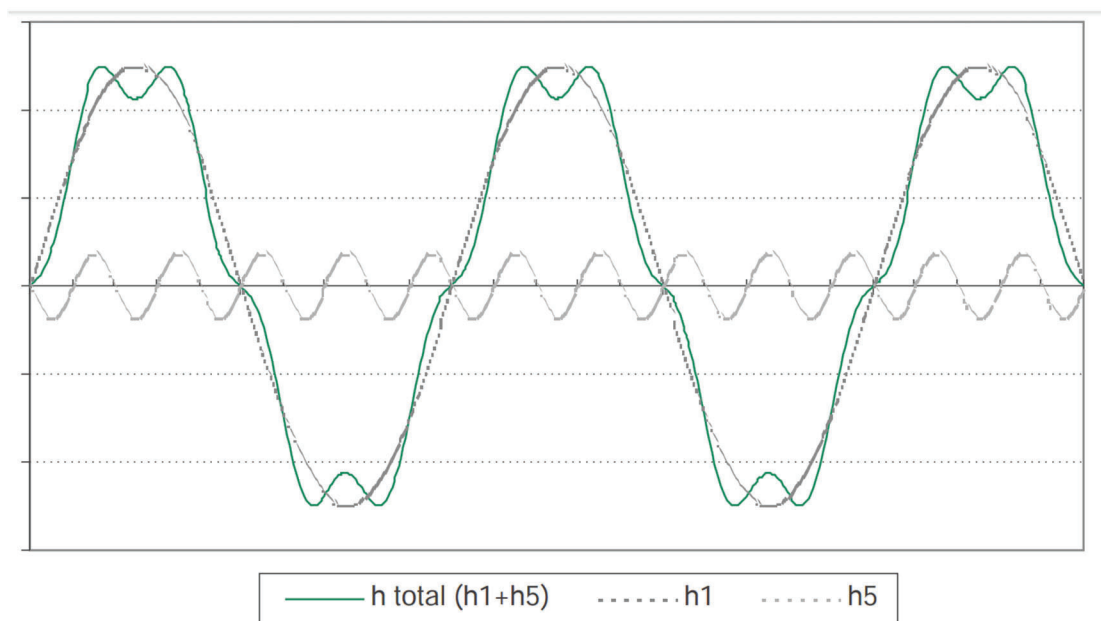


Рисунок 1.10 – Напруга з п'ятью гармонікою

Як видно з рисунку 1.11, зі збільшенням температури опір ізоляції зменшується.

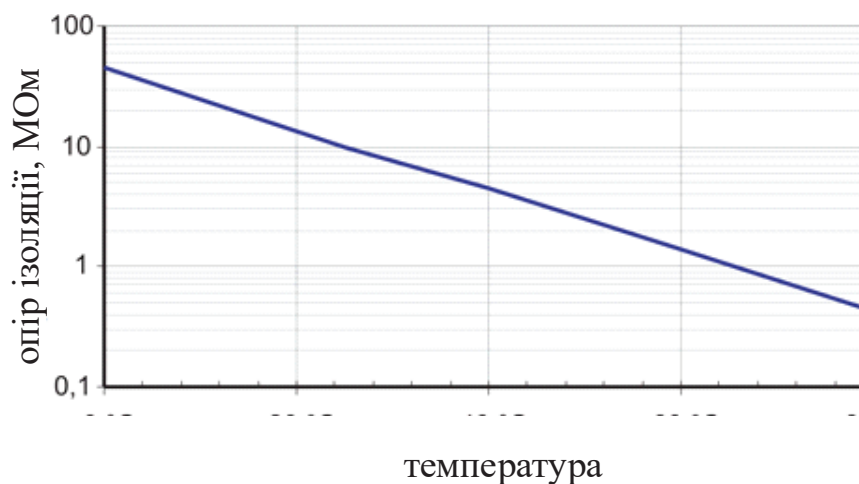


Рисунок 1.11 – Залежність опору ізоляції від температури

Крива рисунку 1.12 показує, що збільшення струму на 5%, що еквівалентне збільшенню струму на 10°, зменшує термін служби ізоляції вдвічі [11].

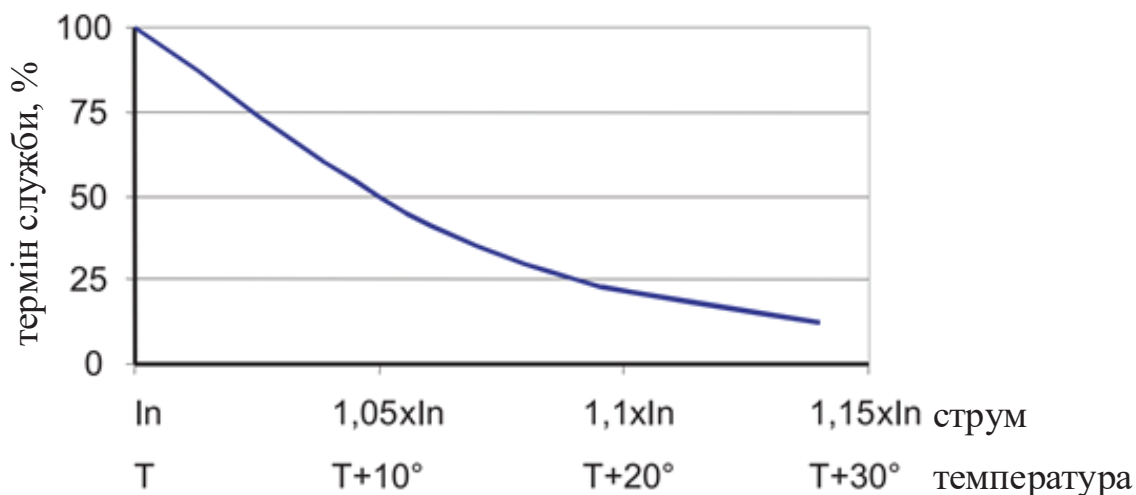


Рисунок 1.12 – Залежність терміну служби ізоляції від перевантаження і перегріву

1.3 Способи захисту двигуна

Захист електричного двигуна від пошкоджень здійснюється з метою зменшення в подальшому витрат щодо його ремонту. Для цього використовують пристрої захисту [17]:

- автоматичні вимикачі та теплові реле;
- електронні реле захисту;
- термістори та термореле;
- перетворювачі частоти.

Автомати й теплові реле використовують для виявлення перевищення струму по одній або всіх фаз двигуна. У разі перевищення через деякий час відбувається вимкнення двигуна. Теплове реле на відміну від автомата не має силової комутації, а лише керуючий контакт, який розмикає живлення силового кола. Автомат здатний самостійно вимикати двигун, маючи захист від перевантаження та електромагнітний захист від короткого замикання, який

миттєво спрацювує та вимикає двигун при перевищенні струму уставки в 10-20 разів. Теплове реле не має захисту від короткого замикання [18].

В електронних реле захисту присутній мікропроцесор, який аналізує миттєві значення напруги та струму, приймає рішення на основі заданих налаштувань, наприклад, на сигнал індикації чи відключення двигуна.

Термозахист дозволяє відключати електродвигун навіть у випадках, коли не спрацював тепловий захист перевантаження.

Частотні перетворювачі мають кілька типів захисту, зокрема за перевантаженням моменту і струму, за перевищенням напруги, обриву фази тощо. Як правило, частотні перетворювачі встановлюються разом з автоматичним вимикачем на вході, тепловим реле на виході та з термісторним захистом [17].

В роботі [19] запропонована структурна схема пристрою захисту асинхронного електродвигуна від несиметричних режимів роботи, приведена на рисунку 1.13.

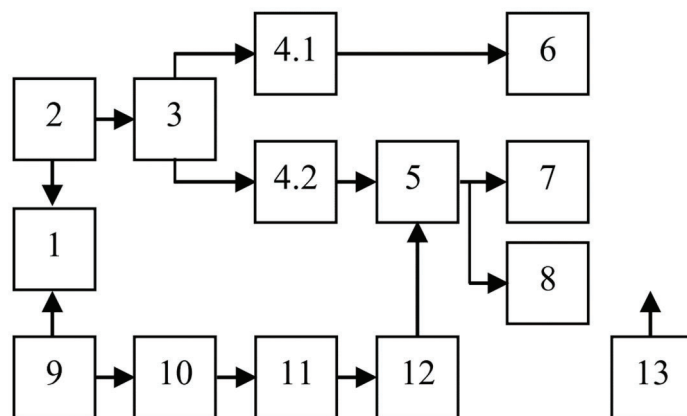


Рисунок 1.13 – Структурна схема пристрою захисту асинхронного електродвигуна від несиметричних режимів роботи

На рисунку 1.13 приведені такі позначення: 1 – асинхронний електродвигун; 2 – фільтр напруги зворотної послідовності; 3 – операційний підсилювач; 5 – логічний елемент «АБО»; 6 – світлова сигналізація при досягненні гранично допустимої несиметрії; 7 – світлова сигналізація при

глибокій несиметрії (обрив фази); 8 – звукова сигналізація при відключення двигуна; 9 – первинні перетворювачі температури обмоток статора; 10 – стабілізоване джерело струму; 11 – тригер Шмітта; 12 – логічний елемент «НІ», 13 – стабілізоване джерело живлення.

В роботах [20-22] приведений пристрій діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна (рисунок 1.14), який містить термоелектричний перетворювач температури (термопару) (ТЕП) 3, блок 5 вимірювання та обробки температури (БВОТ), компенсаційний вузол (КВ) 4, підсилювач (П) 7, блок 6 порівняння напруги (БПН), блок 8 регулювання напруги (БРН), до складу якого входить силова частина (СЧ БРН) 1.

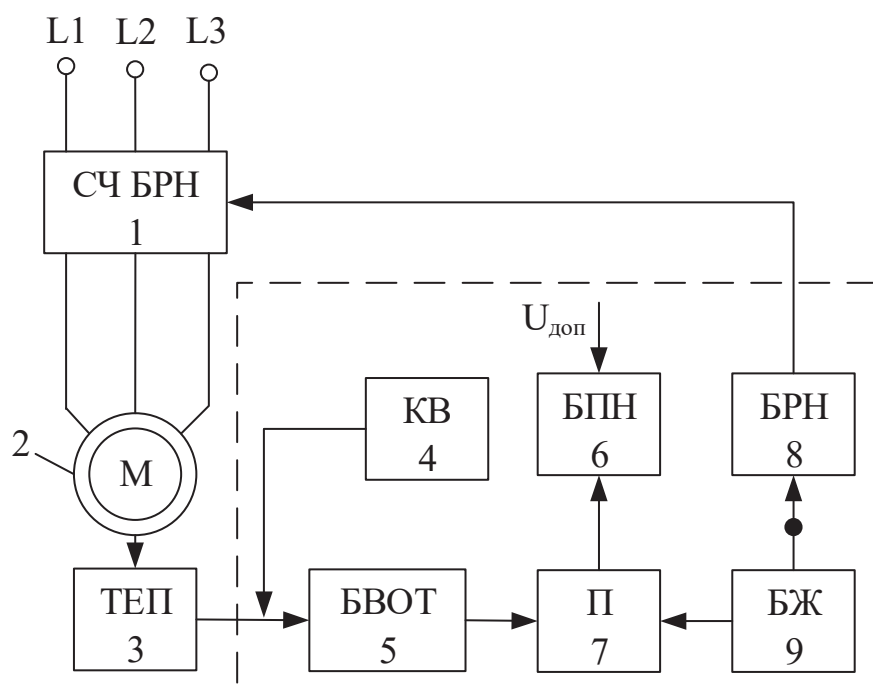


Рисунок 1.14 – Пристрій для діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна

Його недоліком є необхідність встановлення термоелектричного перетворювача температури в статорну обмотку асинхронного електродвигуна, що викликає певні технічні складнощі.

В роботі [23] запропонований пристрій для діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна (рисунок 1.15) непрямым шляхом.

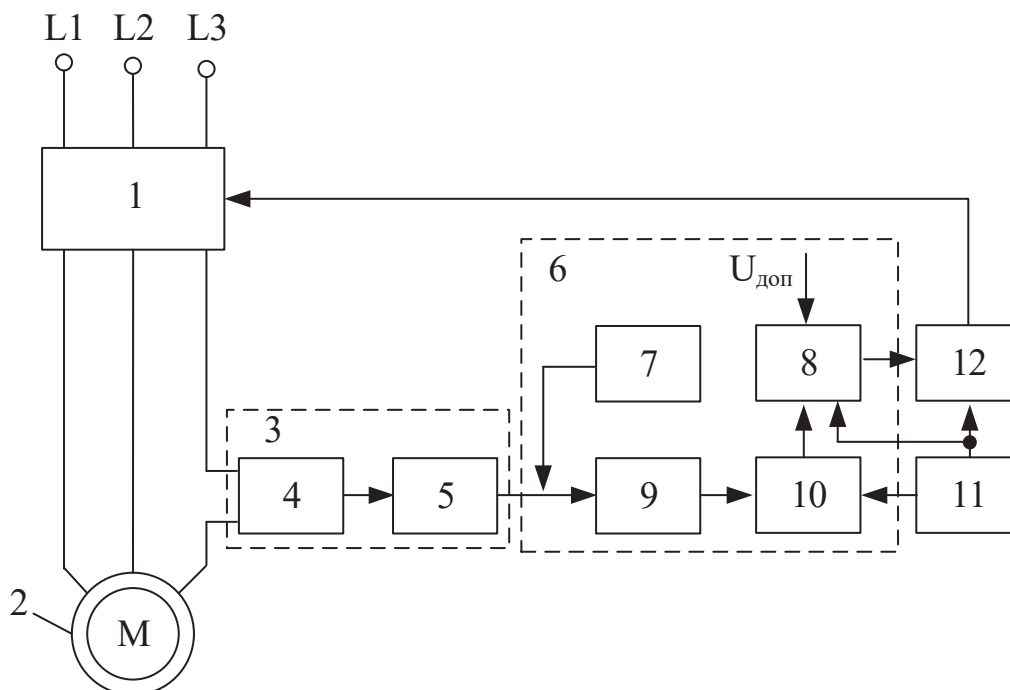


Рисунок 1.15 – Пристрій для діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна

Пристрій містить блок 1 живлення, блок 3 вимірювання температури, який містить перетворювач 4 активної потужності й термоелектричний перетворювач 5 температури та вимірювальний комплект 6, який містить блок 9 вимірювання та обробки температури, компенсаційний вузол 7, підсилювач 10 та блок 8 порівняння напруги. Сигнал з вимірювального комплекту 6 надходить до блока 12 регулювання напруги, до складу якого входить силова частина 11.

Однак такий пристрій має вузькі функціональні можливості за рахунок того, що він не дозволяє вимірювати напругу в мережі живлення електродвигуна, температуру навколишнього середовища, що знижує точність регулювання напруги.

1.4 Постановка задачі дослідження

Виходячи з проаналізованих літературних джерел, пошкодження та вихід з ладу асинхронних електродвигунів в більшій мірі відбувається через пошкодження ізоляції обмотки статора.

Однією з причин пошкодження ізоляції є її перегрівання. Встановлено, що цьому явищу передує збільшення струму, що протікає по обмотках статора. При номінальній напрузі живлення асинхронного електродвигуна збільшення струму статора є наслідком його перевантаження, тобто збільшення моменту опору на валу (при цьому відкидаємо будь-які пошкодження підшипників, що можуть призвести до додаткового тертя та заклинювання ротора). Зовсім інша ситуація, коли напруга живлення мережі не відповідає номінальній напрузі електродвигуна і є нижчою. В цьому випадку магнітна система асинхронного електродвигуна стає менш насиченою порівняно з попередньою ситуацією, що призводить до зменшення струму намагнічування, що, в свою чергу, тягне за собою збільшення ковзання та зростання струму статора за умови, що навантаження на валу двигуна не зменшилося. Це супроводжується збільшенням температури обмотки статора і відбувається додаткове теплове зношення її ізоляції. Особливо це відчутно при затяжному пуску.

Тому в роботі необхідно математично описати вплив зниженої напруги мережі живлення на ізоляцію обмотки статора асинхронного електродвигуна, визначити її додаткове теплове зношення та розробити структуру пристрою, яка дозволяла б контролювати такий режим роботи асинхронного двигуна з можливістю захисту від нього.

2 МАТЕМАТИЧКА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ЗНИЖЕНОЇ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ НА ІЗОЛЯЦІЮ ОБМОТКИ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Для ізоляції статорної обмотки асинхронного електродвигуна тепловий баланс можна описати рівнянням [24]:

$$Cd\tau = P_0(1 + \alpha\tau)dt, \quad (2.1)$$

де C – теплоємність обмотки, Дж/С°;

P_0 – втрати активної потужності обмотки статора при температурі навколишнього середовища,

α – температурний коефіцієнт опору матеріалу провідника обмотки, 1/°С;

τ – перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища, °С;

t – час, с.

Якщо прийняти, що

$$T_n = \frac{C}{\alpha P_0}, \quad (2.2)$$

то вираз (2.1) матиме вигляд:

$$T_n \frac{d\tau}{dt} - \tau - \frac{1}{\alpha} = 0, \quad (2.3)$$

розв'язавши яке знаходимо поточне перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища:

$$\tau = \left(\frac{1}{\alpha} + \tau_{noc} \right) \cdot e^{\frac{t}{T_n}} - \frac{1}{\alpha}, \quad (2.4)$$

де τ_{noc} – початкове перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища, °С.

За температури навколишнього середовища в обмотці статора будуть втрати активної потужності [25, 26]:

$$P_0 = 3r_0 I_n^2, \quad (2.5)$$

де r_0 – активний опір фази обмотки статора при температурі навколишнього середовища, Ом;

I_n – діюче значення сили пускового струму, що протікає по обмотці статора, А.

Активний опір фази обмотки статора при температурі навколишнього середовища:

$$r_0 = r_{20} (1 + \alpha(t_{cep} - 20)), \quad (2.6)$$

де r_{20} – активний опір фази обмотки статора при температурі 20°C;

t_{cep} – температура навколишнього середовища, °C.

Якщо у вираз (2.5) підставити втрати активної потужності (2.6), то

$$T_n = \frac{C}{3\alpha r_0 I_n^2}. \quad (2.7)$$

При завершенні розгону асинхронного двигуна максимальне перевищення температури складатиме [28-30]:

$$\tau_t = \left(\frac{1}{\alpha} + \tau_{noch} \right) \cdot e^{\frac{3\alpha r_0 I_n^2 t_n}{C}} - \frac{1}{\alpha}, \quad (2.8)$$

де τ_t – максимальне перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища, °C;

t_n – час розгону електродвигуна, с.

Якщо ввести поняття імпульсу квадрату діючого значення пускового струму:

$$I = I_n^2 t_n, \quad (2.9)$$

а якщо вважати, що воно є функцією часу, то вираз (2.9) можна представити у вигляді:

$$\Pi = \int_0^{t_n} I_n^2 dt. \quad (2.10)$$

З урахуванням викладеного, рівняння (2.8) набуде вигляду:

$$\tau_t = \left(\frac{1}{\alpha} + \tau_{ноч} \right) \cdot e^{\frac{3\alpha r_0 \Pi}{C}} - \frac{1}{\alpha}. \quad (2.11)$$

При пуску процес нагрівання обмотки статора є інерційний, як і для інших режимів. Тому можна прийняти, що максимальне перевищення температури відбувається в момент часу $t = 0$. Після цього відбувається зменшення температури обмотки статора до номінального значення. При цьому швидкість зміни температури буде невеликою [27]:

$$\tau = \tau_n \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_t e^{-\frac{t}{T}}, \quad (2.12)$$

де τ – поточне перевищення температури обмотки, °С;

τ_n – номінальне перевищення температури обмотки, °С;

T – постійна часу нагрівання електродвигуна, с.

Швидкість теплового зношення ізоляції в післяпусковий період, бгод/год [25]:

$$\mathfrak{D} = \mathfrak{D}_n e^{\left(\frac{B}{\theta_n} \frac{1}{\tau_n \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_t e^{-\frac{t}{T}} + t_{сер} + 273} \right)}, \quad (2.13)$$

де \mathfrak{D}_n – номінальна швидкість теплового зношення ізоляції, бгод/год;

B – параметр, який характеризує клас ізоляції, К;

θ_n – абсолютна номінальна температура ізоляції, К;

$t_{сер}$ – температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$.

Додаткове теплове зношення ізоляції в післяпусковий період відбувається на інтервалі часу від нуля до kT і може бути знайдено за виразом:

$$E_{доод} = \int_0^{kT} \vartheta dt - kT\vartheta_n. \quad (2.14)$$

В роботі [26] зазначено, що несиметрія напруги живлення асинхронного двигуна у 2% призводить до зменшення його терміну служби на 10,8%, а несиметрія напруги живлення у 4%, що відповідає зменшенню напруги на 10%, призводить до зменшення терміну служби вдвічі. А струми зворотної послідовності викликають додаткове нагрівання, що призводить до суттєвого зниження терміну служби асинхронного двигуна.

В цій же роботі приводиться співвідношення для розрахунку температури обмоток $\tau_{пер}$ двигуна в функції несиметрії напруги ε_u [26]:

$$\tau_{пер} = \tau \cdot (1 + 2(\varepsilon_u)^2), \quad (2.15)$$

де τ – температура обмоток при симетричній напрузі мережі;

ε_u – коефіцієнт несиметрії напруг, що дорівнює відношенню зворотної напруги послідовності до номінального.

Якщо проаналізуємо даний вираз, то можемо констатувати, що при $\varepsilon_u = 4\%$ температура обмоток двигуна підвищується на 33%.

Зниження напруги асинхронного двигуна протягом тривалого часу призводить до прискореного зношення двигуна та зменшення терміну його служби.

Термін служби ізоляції можна визначити за формулою [26]:

$$R = \frac{R_{ном}}{K_U}, \quad (2.16)$$

де $R_{ном}$ – термін служби ізоляції двигуна при номінальній напрузі та навантаженні;

K_U – коефіцієнт, що залежить від значення та знаку відхилення напруги, а також від коефіцієнта завантаження двигуна [26]:

$$\begin{cases} K_U = (47\delta_U^2 - 7,55\delta_U + 1) \cdot k_3^2, & \text{при } -0,2 < \delta_U < 0; \\ K_U = k_3^2, & \text{при } 0,2 \geq \delta_U > 0, \end{cases} \quad (2.17)$$

де δ_U – відхилення напруги;

k_3 – коефіцієнт завантаження асинхронного двигуна.

Виходячи з процесу нагрівання асинхронного двигуна, для нього є найбільш несприятливими умовами від'ємні значення напруги.

При несинусоїдальному вигляді напруги живлення активний опір двигуна зростає через вищі гармоніки. Це призводить до суттєвих втрат активної потужності та підвищеного перегрівання асинхронного двигуна, що супроводжується скорочення терміну його служби.

При несинусоїдальному вигляді напруги живлення перегрів обмоток двигуна можна представити у вигляді [26]:

$$\Delta\tau_{пер} = \frac{280}{b} \cdot \left(1,55\epsilon_u^2 + 1,39 \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \right), \quad (2.18)$$

де U_v – відношення напруги v -ї гармоніки до номінальної напруги;

v – номер гармоніки.

В загальному випадку:

$$\Delta\tau_{пер} = \tau_{пер} - \tau_{ном}. \quad (2.19)$$

Відносне значення тривалості служби ізоляції Z асинхронного двигуна [26]:

$$Z = \exp \left[-280 \cdot \left(1,55\epsilon_u^2 + 1,39 \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \right) \right]. \quad (2.20)$$

Встановлена температура обмотки асинхронного двигуна з врахуванням втрат та зміни параметрів матеріалу провідника [26]:

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{ном} \cdot \frac{a + k^2}{1 + a - \alpha\Delta\tau_{ном}(k^2 - 1)}, \quad (2.21)$$

де a – коефіцієнт номінальних втрат в електродвигуні:

$$a = \frac{\Delta P_{сн}}{\Delta P_{мн}}; \quad (2.22)$$

α – температурний коефіцієнт опору міді;

k – кратність робочого струму по відношенню до номінального:

$$k = \frac{I}{I_{ном}}, \quad (2.23)$$

де I – поточне значення струму, що протікає по обмотках;

$I_{ном}$ – номінальне значення струму, що викликає номінальне нагрівання двигуна.

Після перетворень отримаємо:

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{ном} \cdot \frac{a + \left(\frac{I}{I_{ном}}\right)^2}{1 + a - \alpha\Delta\tau_{ном} \left(\left(\frac{I}{I_{ном}}\right)^2 - 1\right)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \Delta\tau_{поч} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (2.24)$$

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗНИЖЕНОЇ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ НА АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН

Дослідимо вплив зниженої напруги на поведінку асинхронного двигуна з використанням пакету прикладних програм Mathcad, вихідні та початкові дані якого приведені на рисунку 3.1.

Вихідні дані:

$n \equiv 710 \text{ хв}^{-1}$	$n1 \equiv 750 \text{ хв}^{-1}$	$f1 \equiv 50 \text{ Гц}$
$R1 \equiv 146 \text{ Ом}$	$R2 \equiv 178 \text{ Ом}$	
$L1 \equiv 4.3 \text{ Гн}$	$L2 \equiv 4.28 \text{ Гн}$	$Lm \equiv 3.8 \text{ Гн}$
$U1m \equiv 330 \text{ В}$	$J \equiv 0.005 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	

Початкові дані:

$t_{\max} \equiv 1 \text{ с}$	$t_d \equiv 0.0002$	$N1 \equiv 200$	$M_c \equiv 0$
-------------------------------	---------------------	-----------------	----------------

Рисунок 3.1 – Вихідні та початкові дані асинхронного двигуна

Розрахункові дані приведені на рисунку 3.2.

Розрахункові дані:

$p \equiv \frac{60 \cdot f1}{n1}$	$p = 4$
$k\sigma \equiv \frac{1}{L1 \cdot L2 - Lm^2}$	$k\sigma = 0.252$
$\omega_0 \equiv 2 \cdot \pi \cdot f1$	$\omega_0 = 314.159$
$n_{int} \equiv \frac{t_{\max}}{t_d}$	$n_{int} = 5 \times 10^3$
$n \equiv \text{ceil}\left(\frac{n_{int}}{N1}\right)$	$n = 25$

Рисунок 3.2 – Розрахункові дані асинхронного двигуна

Математична модель асинхронного двигуна приведена на рисунку 3.3.

Математична модель:

$$\begin{aligned}
 U1\alpha(u) &\equiv U1m \cdot \cos(\omega_0 \cdot u_0) & U1\beta(u) &\equiv U1m \cdot \sin(\omega_0 \cdot u_0) \\
 I1\alpha(u) &\equiv k\sigma \cdot (L2 \cdot u_1 - Lm \cdot u_3) & I1\beta(u) &\equiv k\sigma \cdot (L2 \cdot u_2 - Lm \cdot u_4) \\
 I2\alpha(u) &\equiv k\sigma \cdot (L1 \cdot u_3 - Lm \cdot u_1) & I2\beta(u) &\equiv k\sigma \cdot (L1 \cdot u_4 - Lm \cdot u_2) \\
 M(u) &\equiv 1.5 \cdot p \cdot Lm \cdot k\sigma \cdot (u_2 \cdot u_3 - u_1 \cdot u_4) & \omega e(u) &\equiv u_5 \cdot p
 \end{aligned}$$

$$F(u) \equiv \begin{pmatrix} 1 \\ U1\alpha(u) - I1\alpha(u) \cdot R1 \\ U1\beta(u) - I1\beta(u) \cdot R1 \\ -I2\alpha(u) \cdot R2 - \omega e(u) \cdot u_4 \\ -I2\beta(u) \cdot R2 + \omega e(u) \cdot u_3 \\ \frac{M(u) - Mc}{J} \end{pmatrix}$$

$$\text{Eil}(un) \equiv \begin{cases} z^{(0)} \leftarrow un \\ \text{for } j \in 1..N1 \\ \quad \begin{cases} y^{(0)} \leftarrow z^{(j-1)} \\ \text{for } i \in 1..n \\ \quad y^{(i)} \leftarrow F(y^{(i-1)}) \cdot td + y^{(i-1)} \\ z^{(j)} \leftarrow y^{(n)} \end{cases} \\ z^T \end{cases} \quad un \equiv \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 3.3 – Математична модель асинхронного двигуна

Як виводяться результати моделювання на графік, показано на рисунку 3.4.

Виведення результатів на графік:

$$\begin{aligned}
 t &:= \text{res}^{(0)} & \omega &:= \text{res}^{(5)} & \Psi1\alpha &:= \text{res}^{(1)} \\
 \Psi1\beta &:= \text{res}^{(2)} & \Psi2\alpha &:= \text{res}^{(3)} & \Psi2\beta &:= \text{res}^{(4)} \\
 i &:= 1..N1 & Me_i &:= 1.5 \cdot p \cdot k\sigma \cdot Lm \cdot (\Psi1\beta_i \cdot \Psi2\alpha_i - \Psi1\alpha_i \cdot \Psi2\beta_i)
 \end{aligned}$$

Рисунок 3.4 – Виведення результатів моделювання на графік

Результати моделювання приведені на рисунку 3.5.

Результати моделювання:

res := Eil(un)

	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	5·10 ⁻³	0.754	0.822	0.33	0.201	0.153
2	0.01	-0.275	1.3	0.256	0.762	2.026
3	0.015	-0.842	0.186	-0.354	0.692	5.395
4	0.02	0.203	-0.43	-0.341	0.052	7.296
5	0.025	0.762	0.583	0.242	0.054	7.732
6	0.03	-0.306	1.122	0.18	0.622	9.095
7	0.035	-0.902	0.035	-0.457	0.531	11.736
8	0.04	0.131	-0.588	-0.414	-0.144	13.885
9	0.045	0.709	0.42	0.218	-0.118	15.03
10	0.05	-0.344	0.979	0.141	0.496	16.345
11	0.055	-0.947	-0.096	-0.523	0.38	18.475
12	0.06	0.089	-0.732	-0.432	-0.333	20.714
13	0.065	0.701	0.27	0.267	-0.269	22.431
14	0.07	-0.323	0.855	0.176	0.404	23.934
15	0.075	-0.932	-0.199	-0.518	0.266	...

Eil(un) =

Рисунок 3.5 – Результати моделювання

Механічна характеристика асинхронного двигуна при номінальній напрузі живлення приведені на рисунку 3.6, а динамічні характеристики кутової швидкості та моменту – на рисунку 3.7.

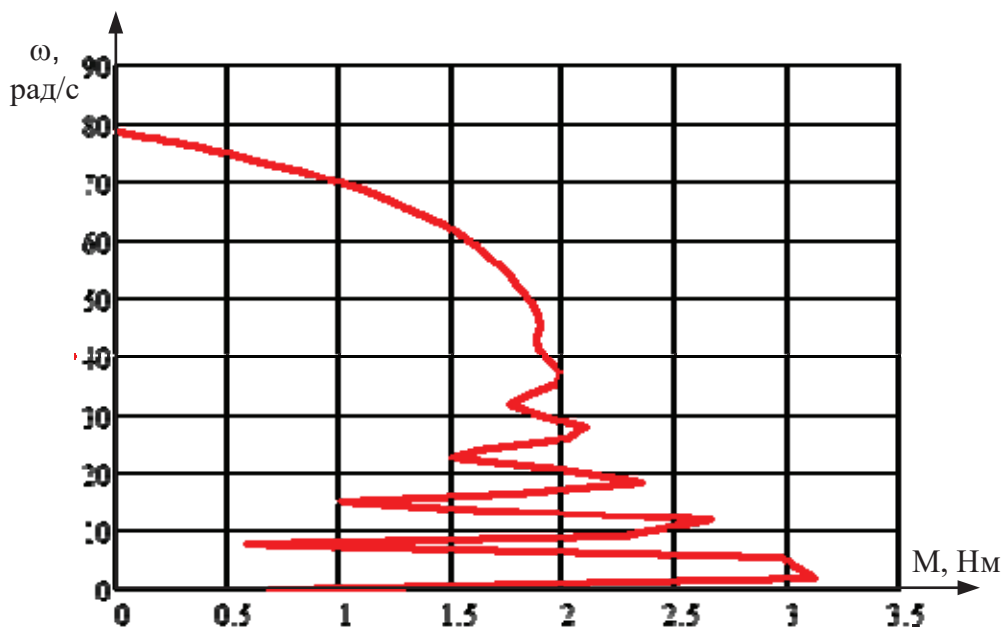


Рисунок 3.6 – Механічна характеристика асинхронного двигуна при номінальній напрузі живлення

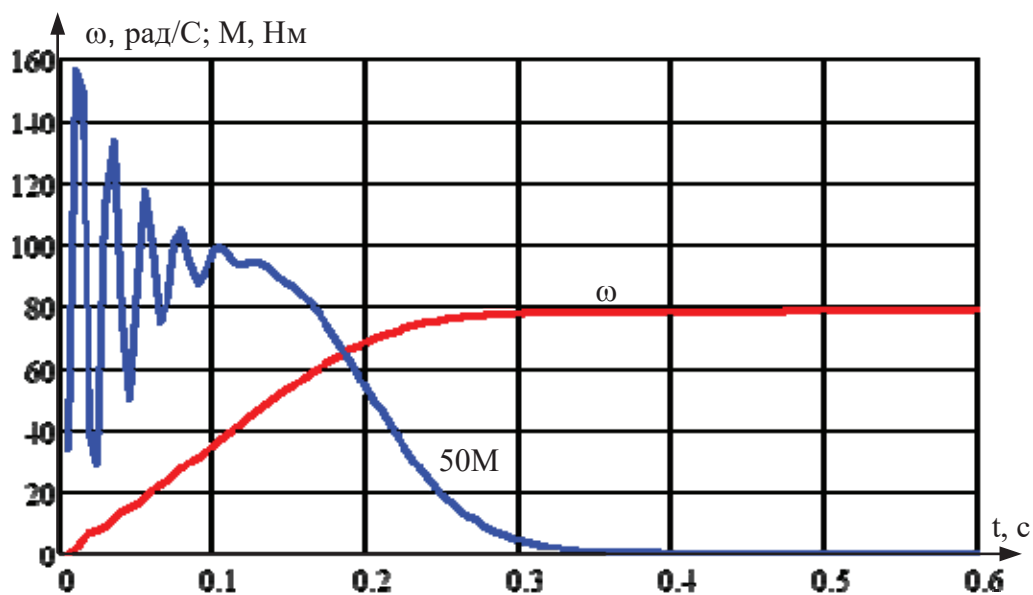


Рисунок 3.7 – Динамічні характеристики кутової швидкості та моменту асинхронного двигуна при номінальній напрузі живлення

Реакція асинхронного двигуна на зниження напруги на 10% від номінальної показана на рисунку 3.8 та на рисунку 3.9.

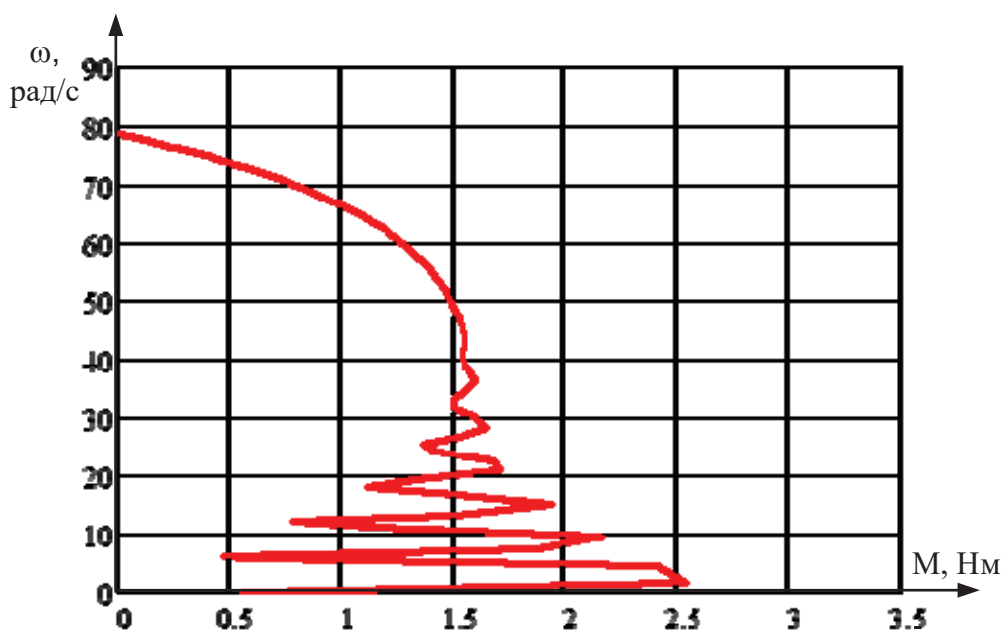


Рисунок 3.8 – Механічна характеристика асинхронного двигуна при зниженні напруги живлення на 10% від номінальної

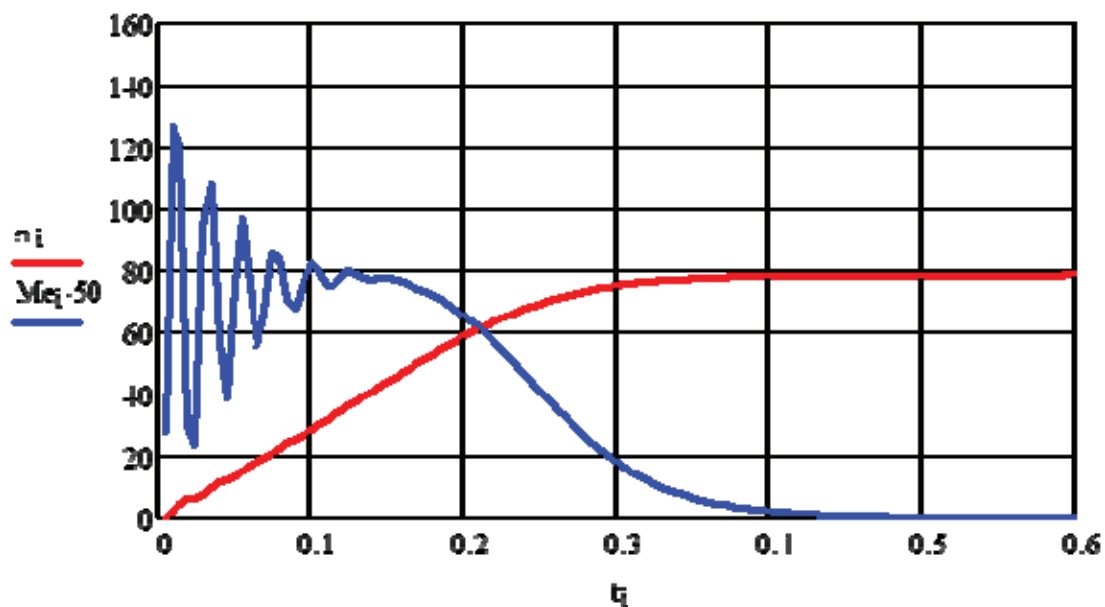


Рисунок 3.9 – Динамічні характеристики кутової швидкості та моменту асинхронного двигуна при зниженні напруги живлення на 10% від номінальної

Реакція асинхронного двигуна на зниження напруги на 20% від номінальної показана на рисунку 3.10 та на рисунку 3.11.

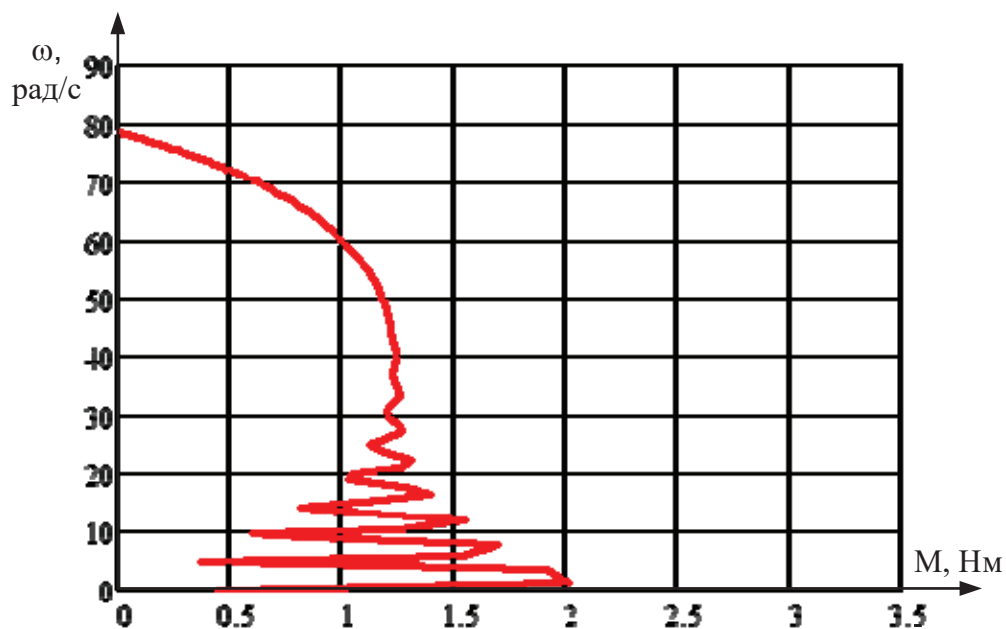


Рисунок 3.10 – Механічна характеристика асинхронного двигуна при зниженні напруги живлення на 20% від номінальної

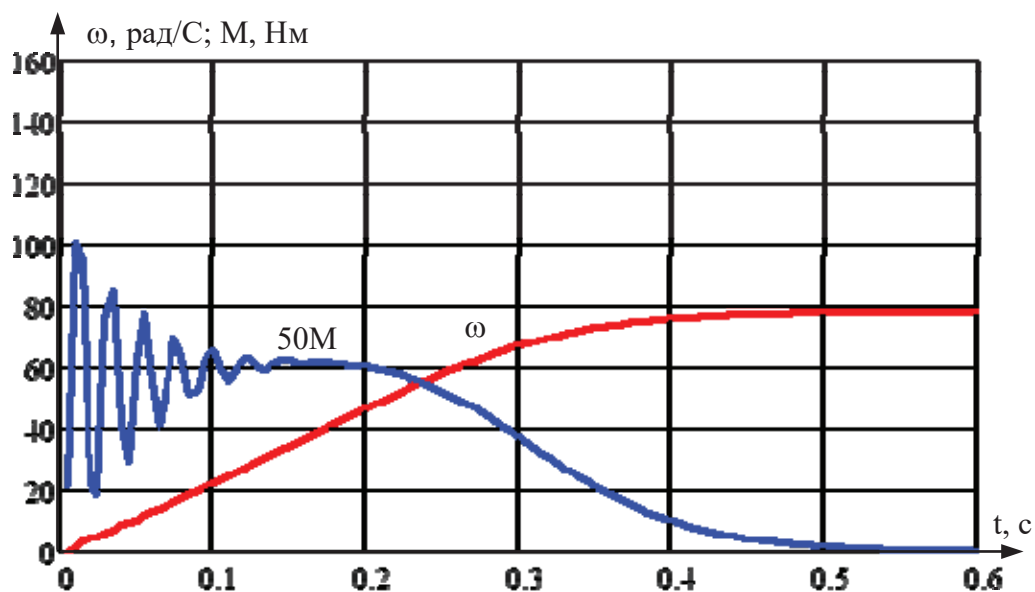


Рисунок 3.11 – Динамічні характеристики кутової швидкості та моменту асинхронного двигуна при зниженні напруги живлення на 20% від номінальної

Реакція асинхронного двигуна на зниження напруги на 30% від номінальної показана на рисунку 3.12 та на рисунку 3.13.

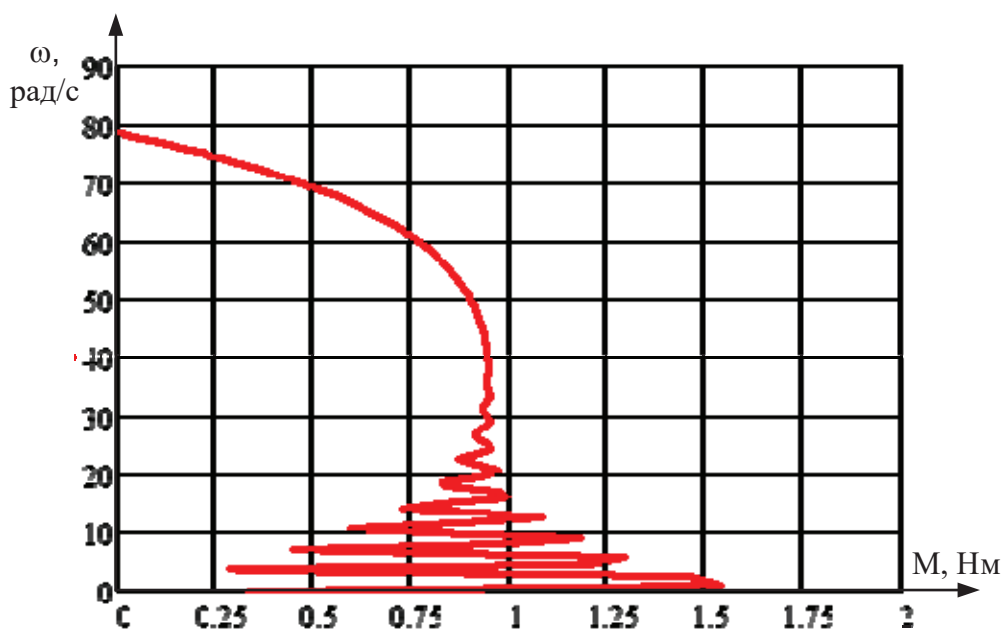


Рисунок 3.12 – Механічна характеристика асинхронного двигуна при зниженні напруги живлення на 30% від номінальної

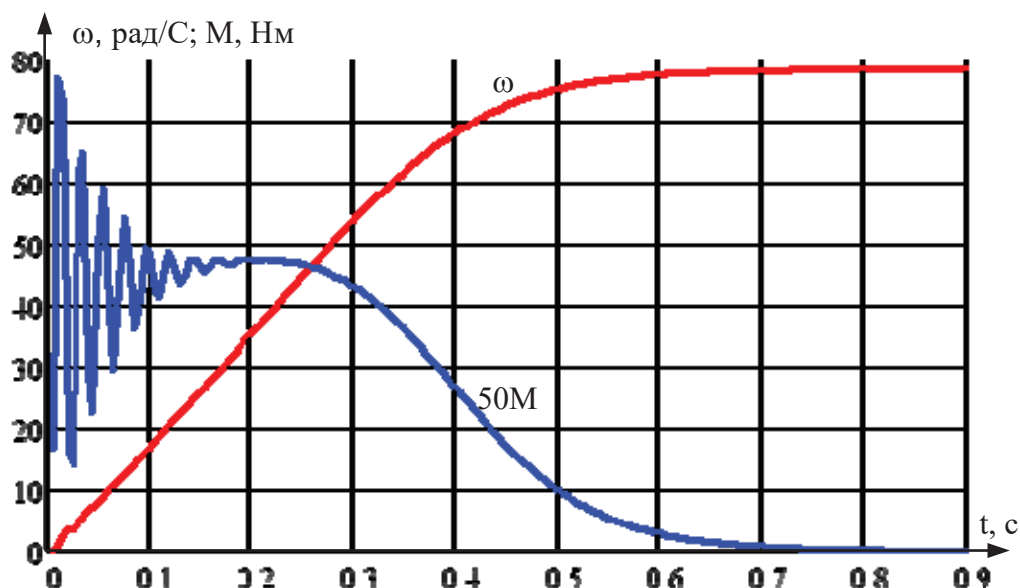


Рисунок 3.13 – Динамічні характеристики кутової швидкості та моменту асинхронного двигуна при зниженні напруги живлення на 30% від номінальної

Для зручності порівняння отриманих результатів сформована таблиця 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати впливу зменшення напруги на характеристики асинхронного двигуна

Параметр	Напруга живлення, В			
	$U_{ном}$	$0,9U_{ном}$	$0,8U_{ном}$	$0,7U_{ном}$
Максимальний момент, Н·м	3,1	2,55	2,01	1,52
Час перехідного процесу, с	0,31	0,38	0,49	0,73

Представлення результатів таблиці 3.1 у відсотковому співвідношенні відносно номінальної напруги $U_{ном}$ відображено в таблиці 3.2. Аналізуючи дані таблиць 3.1 та 3.2, можна встановити, що зниження напруги живлення асинхронного двигуна суттєво впливає на його пусковий та максимальний моменти, знижуючи їх відносно номінального, в час перехідного процесу, тобто виходу швидкості на усталене значення, зростає. Наприклад, при зниженні напруги на 20% моменти зменшуються на 35,2%, а час перехідного процесу

збільшується на 58,1%, при зниженні напруги на 30% моменти зменшуються на 51%, а час перехідного процесу збільшується на 135,5%.

Таблиця 3.2 – Результати впливу зменшення напруги на характеристики асинхронного двигуна, виражені у відсотках

Параметр	Напруга живлення, В			
	$U_{ном}$	$0,9U_{ном}$	$0,8U_{ном}$	$0,7U_{ном}$
Максимальний момент, %	100	82,3	64,8	49
Час перехідного процесу, %	100	122,6	158,1	235,5

Такий зтяжний пуск супроводжується збільшенням пускового струму, що призводить до підвищеного нагрівання ізоляції обмотки статора.

На рисунку 3.14 приведені залежності температури від часу розгону при різних напругах живлення двигуна.

При номінальній напрузі живлення асинхронного двигуна номінальна температура $\Theta = 120^{\circ}\text{C}$ наростає за час $t = 2,25 \cdot 10^4$ с. При зниженні напруги спостерігається зтяжний запуск двигуна, що супроводжується зростанням температури: при зниженні напруги на 10% температура збільшується до $\Theta_1 = 123,5^{\circ}\text{C}$, а при зниженні напруги на 20% температура збільшується до $\Theta_2 = 128,5^{\circ}\text{C}$.

При цьому враховувалося, що початкове перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища складало $\tau_{поч} = 30^{\circ}\text{C}$. Цим пояснюється, що графіки виходять не з нульової температури.

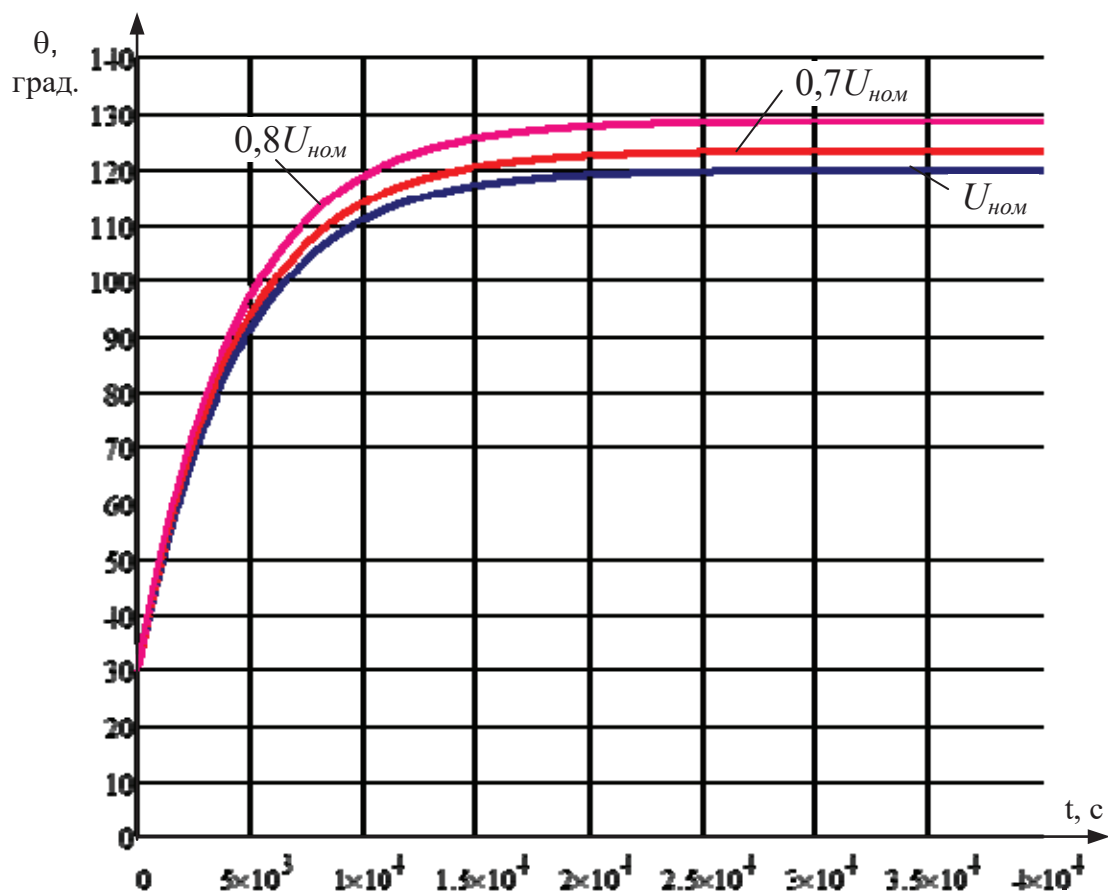


Рисунок 3.14 – Залежність температури від часу розгону при різних значеннях напруги живлення асинхронного двигуна

Такий затяжний пуск призводить до додаткового перегрівання обмотки статора асинхронного двигуна, а як наслідок – до її прискореного старіння, тобто зменшення загального ресурсу двигуна.

4 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДОДАТКОВОГО ТЕПЛОВОГО ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна пояснюється кресленням, на якому зображена його структурна схема (рисунок 4.1), де: 1 – блок живлення; 2 – асинхронний електродвигун; 3 – сенсор напруги; 4 – блок задання мінімально допустимої напруги; 5 – блок порівняння напруги; 6 – блок вимірювання температури, який містить перетворювач активної потужності 7 й термоелектричний перетворювач температури 8; 9 – блок обробки температури; 10 – компенсаційний вузол; 11 – сенсор температури навколишнього середовища; 12 – підсилювач; 13 – блок прийняття рішення; 14 – блок регулювання напруги; 15 – блок визначення додаткового теплового зношення ізоляції.

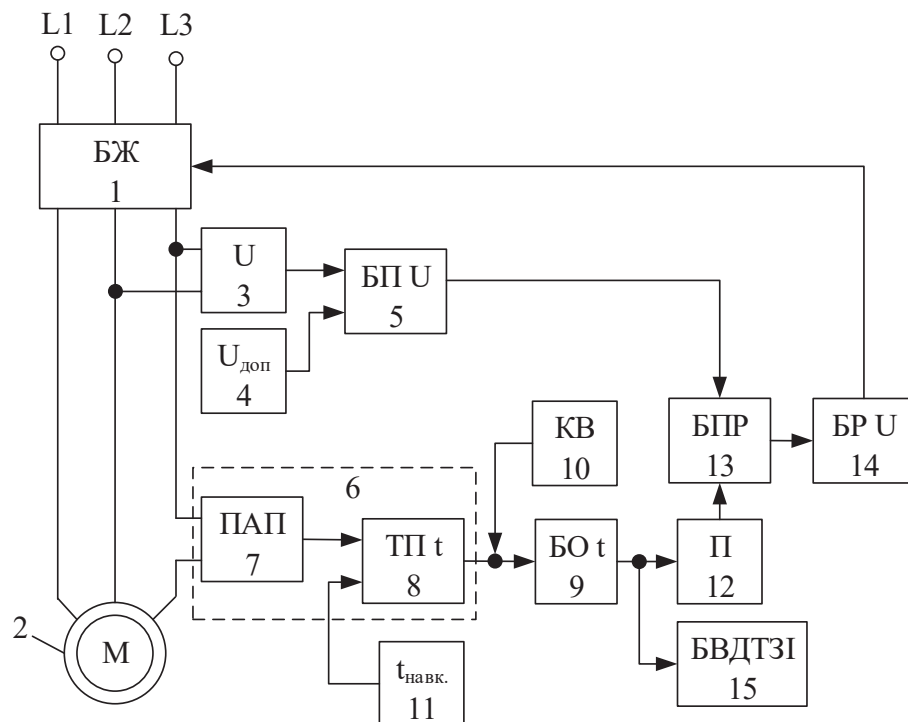


Рисунок 4.1 – Пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна

Блок живлення 1 розташований в колі між мережею живлення та асинхронним електродвигуном 2, перетворювач активної потужності 7 розташований в розриві однієї з фаз між блоком живлення 1 та асинхронним електродвигуном 2, струм з фази, в якій розташований перетворювач активної потужності 7, подається на блок вимірювання температури 6, зокрема на вхід перетворювача активної потужності 7, вихід якого підключений до першого входу термоелектричного перетворювача температури 8, другий вхід якого з'єднаний з виходом сенсора температури навколишнього середовища 11, вихід термоелектричного перетворювача температури 8 підключений до входу блоку обробки температури 9, до цього ж входу блоку обробки температури підключений і вихід компенсаційного вузла 10, вихід блоку обробки температури 9 підключений до входу підсилювача 12 та до входу блоку визначення додаткового теплового зношення ізоляції 15, сенсор напруги 3 підключений до двох фаз живлення електродвигуна 2 після блоку живлення 1, вихід сенсора напруги 3 підключений до першого входу блоку порівняння напруги 5, а другий вхід з'єднаний з виходом блоку задання мінімально допустимої напруги 4, вихід блоку порівняння напруги 5 підключений до першого входу блоку прийняття рішення 13, другий вхід якого з'єднаний з виходом підсилювача 12, вихід блоку прийняття рішення 13 підключений до входу блоку регулювання напруги 14, вихід якого підключений до входу блока живлення 1.

Запропонований пристрій працює так.

При протіканні електричного струму I через перетворювач активної потужності 7, що входить до складу блока вимірювання температури 6, в ньому виділяється така ж сама кількість теплоти, що й в фазній обмотці статора асинхронного електродвигуна 2. Термоелектричним перетворювачем температури 8 вимірюється перевищення температури τ перетворювача активної потужності 7 (тобто обмотки статора $t_{об}$) над температурою навколишнього середовища $t_{сер}$, значення якої надходить від сенсора температури навколишнього середовища 11.

За допомогою компенсаційного вузла 10, сигнал якого надходить до блоку обробки температури 9, в останньому здійснюється автоматичне введення поправки до результатів вимірювання термоЕРС термоелектричним перетворювачем температури 8 при зміні температури його чутливих елементів з урахуванням температури вільних кінців термоперетворювача у вигляді τ_t . Далі сигнал з блоку обробки температури 9 надходить до блоку визначення додаткового теплового зношення ізоляції 15, а також через підсилювач 12 – до блоку прийняття рішення 13.

В блоці порівняння напруги 5 здійснюється порівняння поточного значення напруги U двигуна, виміряного сенсором напруги 3, із значенням U_{don} , що подається з блоку задання мінімально допустимої напруги 4. Результат ΔU надходить до блоку прийняття рішення 13, в якому аналізується відхилення напруги живлення ΔU двигуна та перевищення температури ізоляції обмотки статора над температурою навколишнього середовища та приймається рішення про необхідність регулювання напруги, що надходить до блоку регулювання напруги 14, який формує сигнал, що подається на блок живлення 1, що забезпечує полегшення умов пуску електродвигуна.

Перетворювач активної потужності 4 асинхронного електродвигуна 2 являє собою опір, з такими ж параметрами, що й фазна обмотка електродвигуна. При протіканні через перетворювач активної потужності 7 електричного струму, в ньому виділятиметься таке ж саме значення активної потужності, що й в обмотці статора електродвигуна.

Використання перетворювача активної потужності 7 дозволяє визначити температуру обмотки статора електродвигуна без встановлення перетворювача температури безпосередньо у сам двигун.

Використання термопари, як первинного вимірювального перетворювача перевищення температури перетворювача активної потужності 7 над температурою навколишнього середовища, дає можливість непрямым шляхом контролювати перевищення температури обмотки статора електродвигуна, і, як

наслідок, імпульс квадрату пускового струму в фазі електродвигуна, який еквівалентний додатковому тепловому зношенню ізоляції обмотки статора.

Алгоритм роботи пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна приведено на рисунку 4.2.

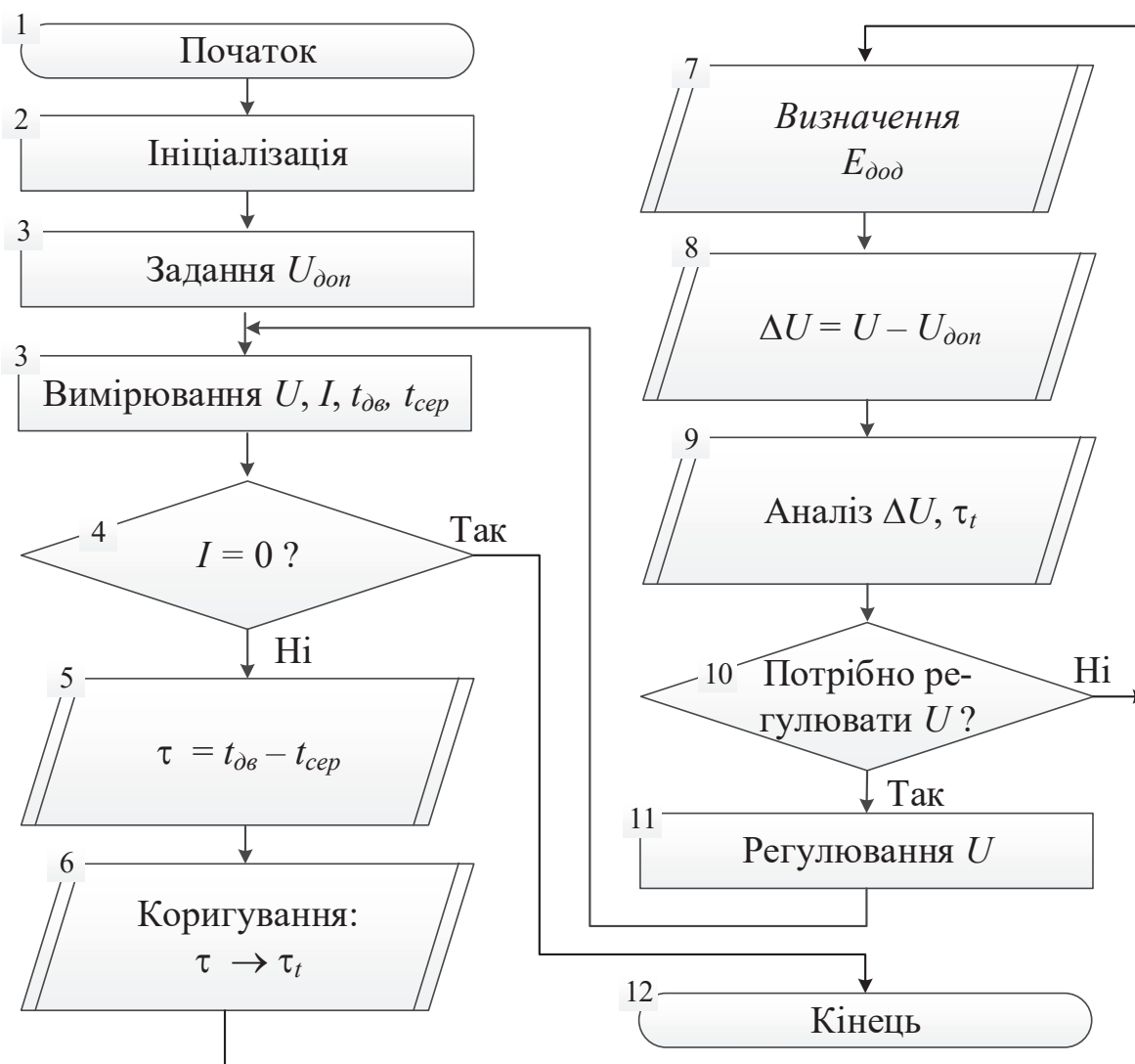


Рисунок 4.2 – Алгоритм роботи пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна

Запропонований пристрій дозволяє непрямим шляхом контролювати теплове зношення ізоляції обмотки статора при пуску асинхронного електродвигуна 2 в умовах зниження напруги та полегшувати умови його

запуску при перевищенні допустимого значення додаткового теплового зношення ізоляції.

Використання пропонованого пристрою забезпечує захист електродвигуна від додаткового теплового зношення ізоляції в післяпусковий період при зниженій напрузі за рахунок полегшення умов запуску електродвигуна.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній кваліфікаційній роботі розробляються принципи та пристрій визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна. Пристрій зібраний на сучасній елементній базі, має високі технологічні та функціональні можливості. Розроблений пристрій дозволяє контролювати теплове зношення ізоляції обмотки статора при пуску асинхронного електродвигуна в онлайн режимі.

На персонал, який здійснює експлуатацію пристрою визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна, впливають такі шкідливі виробничі фактори [28], [29].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, переважно аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи [29].

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

5.1.1 Вимоги до організації робочого місця оператора системи дистанційного визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна

Площа одного робочого місця оператора, обладнаного ПК, повинна складати не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м³.

Конструкція робочого місця оператора повинна відповідати сучасним вимогам ергономіки за ГОСТ 12.2.032. ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», ДНАОП 0.00-1.31-99, ДСанПіН 3.3.2.007-98, характеру виконуваної роботи і забезпечити оптимальне розміщення на робочій поверхні документів, рухомого пюпітра (тримача документів) та обладнання ПК (монітора, системного блоку, клавіатури, пристрою “миша”, принтера та інших периферійних пристроїв з урахуванням їх кількості та конструктивних особливостей).

На рисунку 5.1 показано розміщення робочого місця оператора для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна.

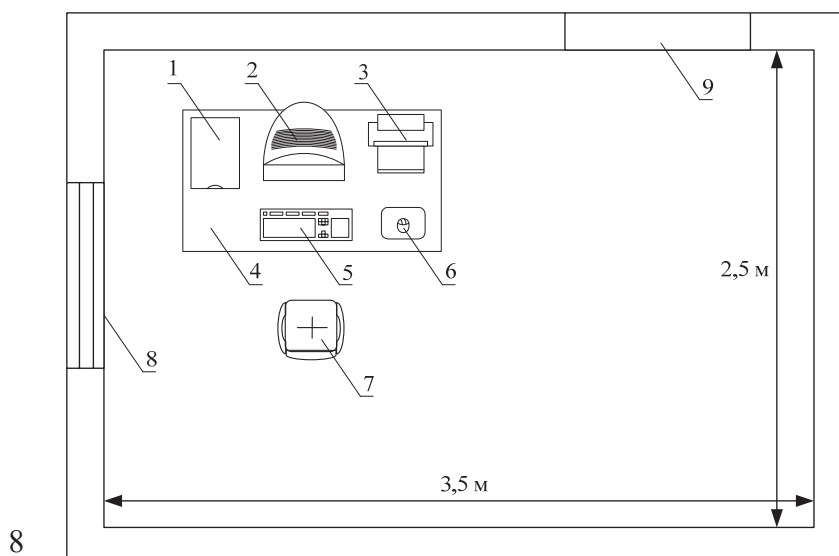


Рисунок 5.1 – Розміщення робочого місця оператора

На рисунку 5.1: 1 – сканер, 2 – монітор, 3 – принтер, 4 – поверхня робочого столу, 5 – клавіатура, 6 – маніпулятор типу «миша», 7 – стілець, 8 – вікно, 9 – двері.

Розташування монітора ПК має забезпечувати: безпечність роботи в цілому; зручність та ефективність зорової роботи з екраном в вертикальній площині під кутом $\pm 30^{\circ}$ від лінії зору, площа екрана при цьому має бути перпендикулярною нормальній лінії зору користувача.

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення підприємства здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380x220 В (фазна напруга (фаза – "0") – 220 В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – з підвищеною небезпекою, у зв'язку з наявністю у виробничих приміщеннях струмопровідної підлоги [31].

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [32]:

1) для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

– розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

– використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

– підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) при живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

Електрозахисні засоби захисту.

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Роботи по обслуговуванню електрообладнання.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електрообладнання, необхідно на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке

відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає розпорядження.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови [33].

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Крім того, між людиною та навколишнім середовищем відбуваються процес безперервного теплового обміну, при цьому слід враховувати, що

незалежно від температури навколишнього середовища температура людини залишається постійною – 36,5-37°C. вологість в свою чергу значно впливає на терморегуляцію організму людини.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Ia	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Ia	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора лінії передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [34]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 5.2.

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;

– встановлення пиловловлюючих засобів.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

5.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [35] розряд зорової роботи IV, підрозряд «Г».

Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств приведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	Г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	1	0,6

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей

склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

5.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі [36]:

$$L = 20 \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{U}{U_0}\right), \quad (5.1)$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість ($U_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с);

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (таблиця 5.4).

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби

колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань [37].

У нашому цеху присутня вібрація типу - За. Тобто технологічна вібрація діюча на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються сама лінія та вентилятори, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	ДБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
За	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Умов праці оператора системи дистанційної діагностики асинхронних двигунів за показниками важкості праці для категорії Ia:

При регіональному навантаженні (з переважною участю м'язів рук та плечового суглоба) для чоловіків клас умов праці допустимий (середньої важкості) до 45 Вт.

Маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну для чоловіків складає до 15 кг, що є оптимальними умовами праці.

Статичне навантаження, величина статичного навантаження за зміну при утриманні вантажу, докладанні зусиль складає 36000 кг/с для чоловіків що є оптимальним.

Робоча поза є оптимальна: вільна зручна поза, можливість зміни пози («сидячи – стоячи») за бажанням працівника; перебування в позі «стоячи» до 40% часу зміни.

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом, протягом зміни) складає до 4 км по горизонталі та до 2 км по вертикалі.

Умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією. Сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій. Характер виконуваної роботи є за індивідуальним планом [38].

Також на працівника впливають сенсорні навантаження, такі як:

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни) до 50%;
- навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів). Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%.

Всі ці фактори є оптимальними (напруженість праці легкого ступеня).

Монотонність навантажень. Монотонність виробничої обстановки, час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни складає менше 75% що є оптимальним.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи засобів діагностування електричних двигунів в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Під стійкістю роботи пристрою визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна розуміють його здатність виконувати задані функції, що відповідають вимогам відповідних планів в умовах надзвичайних ситуацій, а також пристосованість засобів діагностування до відновлення їх роботи.

На основі вивчення факторів, які впливають на стійкість роботи пристрою і оцінки стійкості елементів до дії уражаючих факторів стихійних лих та виробничих аварій, необхідно завчасно організувати і провести організаційні, інженерно-технічні й технологічні заходи для підвищення стійкості роботи. До загальних інженерно-технічних заходів можна віднести: розміщення пристрою в заглиблених приміщеннях, а також використання спеціальних захисних пристосувань, закріплення пристрою, застосування контрфорсів для підвищення стійкості проти перекидання обладнання.

Електричними двигунами комплектуються підприємства, станції, військові і стратегічні об'єкти. Тому на них можуть впливати іонізуючих випромінювання та електромагнітний імпульс і відповідно виводити з ладу стратегічні об'єкти, спецоб'єкти та об'єкти критичної інфраструктури .

У пристрої для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна найбільш чутливими до дії іонізуючого випромінювання є мікропроцесорні регулятори струму і швидкості, а також мікросхеми.

В результаті опромінення пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробою і опір витoku, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В

ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Дія електромагнітного імпульсу може призвести до загоряння чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна

Визначаємо граничні значення дози опромінення D_{epi} , для елементної бази засобів діагностування електричних двигунів, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Граничні значення експозиційних доз елементів засобів діагностування

Блоки та елементи засобів діагностування	D_{epi} , Р	D_{ep} , Р
Мікросхеми типу ТТЛ, КМОП	10^5	10 ⁴
Блок керування	$5 \cdot 10^5$	
Транзистори	10^4	
Діоди	10^4	
Конденсатори	10^7	
Резистори	10^7	

Проаналізувавши дані таблиці 5.6, визначили, що самим уразливим елементом пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна з мінімальною дозою $D_{epi} = 10^4$ Р є такі транзистори та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою [39]:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}}, \quad (5.2)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 6,76$ Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400$ год (15 років));

t_n – час початку опромінення ($t_n = 1$ рік).

$K_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{осл} = 2$).

$$D_m = \frac{2 \cdot 6,76 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 2443,68 \text{ (Р)}.$$

Оскільки $D_{спi} > D_m$, то даний пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна стійкий до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_{\partial} = \frac{D_{сп} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.3)$$

$$t_{\partial} = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 6,76 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,76} = 1480,29 \text{ (год)}.$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази $D_m = 2443,68$ Р, а допустима – 10^4 Р. Отже, пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна є стійким в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи пристрою в заданих умовах становить 1480 год., при рівні радіації 6,76 Р/год, це більше ніж час морального засобів діагностування.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_z = 9,82 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,82 \text{ (В/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки:

$$U_z = 9,82 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 4910 \text{ (В)},$$

$$U_g = 9,82 \cdot 0,5 = 4,91 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_\partial = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} \cdot N, \quad (5.4)$$

де N – відсоток допуску.

$$U_\partial = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)},$$

$$U_\partial = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В)},$$

$$U_\partial = 306 + \frac{306}{100} \cdot 5 = 320,25 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

– горизонтальної:

$$K\bar{\sigma}_{z1} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{4910} = -51,25 \text{ (дБ)},$$

$$K\bar{\sigma}_{z2} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{4910} = -45,23 \text{ (дБ)},$$

$$K\bar{b}_{e3} = 20 \cdot \lg \frac{320,5}{4910} = -23,15 \text{ (дБ)};$$

– вертикальної:

$$K\bar{b}_{e1} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{4,91} = 8,75 \text{ (дБ)},$$

$$K\bar{b}_{e2} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{4,91} = 14,77 \text{ (дБ)},$$

$$K\bar{b}_{e3} = 20 \cdot \lg \frac{320,5}{4,91} = 36,85 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 – Значення коефіцієнтів безпеки пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна

№	Найменування блоків	$K\bar{b}_z, \text{дБ}$	$K\bar{b}_e, \text{дБ}$	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	-51,25	8,75	Нестійкий
2	Блок управління, 24 В	-45,23	14,77	Нестійкий
3	Силові елементи, 305 В	-23,15	36,85	Нестійкі

Границя стійкості пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна $K\bar{b}_{\min} = -51,25$ дБ, а $K\bar{b}_{\text{зр}} = 36,85$ дБ. Отже, пристрій є нестійким в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості необхідно використовувати пасивне екранування блоків РЕА.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 - K\bar{b}_{\min}, \quad (5.5)$$

– для БЖ:

$$A_1 = 40 + 51,25 = 91,25 \text{ (дБ)};$$

– для БУ:

$$A_2 = 40 + 45,23 = 85,23 \text{ (дБ)};$$

– для БСЕ:

$$A_3 = 40 + 23,15 = 63,15 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.6)$$

де f – найбільш характерна частота ($f = 15$ кГц).

Для БЖ:

$$t_1 = \frac{91,25}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,098 \text{ (см)}.$$

Для БУ:

$$t_2 = \frac{85,23}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,093 \text{ (см)}.$$

Для БСЕ:

$$t_3 = \frac{63,25}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,087 \text{ (см)}.$$

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною до 1 мм зі сталі, пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна буде стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу, при екрануванні силових елементів з використанням екрану товщиною 0,1 см, вони будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Після проведених розрахунків визначено, що робота засобів діагностування електричних двигунів стійка при заданому рівні радіації 8,21 Р/год. До дії ЕМІ система керування виявилась нестійкою. Застосування екранування РЕА суттєво підвищує його стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 9,82 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії імпульсу є зменшення довжини струмопровідних частин шляхом вдосконалення схемокомпоновки РЕА. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали електронні схеми на період впливу ЕМІ.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для врахування впливу надійності на економічну ефективність технічних засобів рекомендуються такі показники:

а) вартість річного випуску продукції з врахуванням надійності:

$$Ц' = Ц_0(V - V_{зниж}), \quad (6.1)$$

де $Ц_0$ – вартість одиниці випущеної продукції;

V – річна продуктивність при абсолютній надійності;

$V_{зниж}$ – об'єм продукції, на який знижується продуктивність в зв'язку з тим, що надійність об'єкта не ідеальна (наявні відмови об'єкта);

б) річний прибуток з врахуванням надійності використовуваного об'єкта:

$$П' = П_0 - (S + R), \quad (6.2)$$

де $П_0$ – річний прибуток при ідеальній надійності об'єкта;

$(S + R)$ – витрати, пов'язані з забезпеченням виробництва при його нормальному функціонуванні S і при виникненні відмов технічних засобів R .

З ростом надійності технічних засобів знижується втрати від пристроїв і витрати на обслуговування, росте річний прибуток.

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень з врахуванням надійності:

$$E_e = \frac{П'}{K} = \frac{П_0 - S - R}{K}. \quad (6.3)$$

Економія засобів, отримана при використанні більш надійного виробу за час t , визначається за формулою:

$$E = n_1(З_{1обс} + C_{1вм}) - n_2(З_{2обс} + C_{2вм}), \quad (6.4)$$

де n_1, n_2 – відповідно кількість відмов менш надійного і більш надійного виробів за час t :

$$n_1 = (1 - P(t))N, \quad (6.5)$$

де $P(t)$ – ймовірність відсутності відмов за час t ;

N – число виробів, що є в експлуатації;

$Z_{1обс}, Z_{2обс}$ – витрати на обслуговування менш надійного і більш надійного виробів;

$C_{1вт}, C_{2вт}$ – втрати, викликані відповідно відмовами менш і більш надійного виробів.

Витрати на обслуговування складаються із витрат на технічні огляди, регламентні перерви, профілактику, усунення несправностей та ремонтів.

В таблиці 6.1 приведено розрахунок капітальних вкладень на розробку засобу діагностування електричного двигуна.

Таблиця 6.1 – Капітальні витрати на електроустаткування

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
Сенсори: струму, температури (навколишнього середовища; обмотки), напруги	9300
Блок прийняття рішення	3600
Блок вимірювання температури	2400
Підсилювач	1700
Інше обладнання	3800
Всього	20800
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	2080
Всього капітальні вкладення	22880

Отже, капітальні витрати $E_k = 22880$ грн.

6.1 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік.

Експлуатаційні витрати E включають:

- 1) амортизаційні відрахування E_a ;
- 2) заробітна плата E_{zn} обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату);
- 3) витрати на силову електроенергію E_e ;
- 4) витрати на поточний ремонт E_{np} ;
- 5) інші витрати $E_{ін}$.

Тобто:

$$E = E_a + E_{zn} + E_e + E_{np} + E_{ін}. \quad (6.6)$$

6.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування становлять (норма амортизації 10% в рік):

$$E_a = 10\% \cdot E_k, \quad (6.7)$$

$$E_a = 0,1 \cdot 22880 = 2288 \text{ (грн)}.$$

6.3 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску не нижча третьої групи по електробезпеці.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$E_{zn} = E_{zo} + E_{zd} + E_{zn}, \quad (6.8)$$

де E_{zo} – основна заробітна плата по тарифу;

E_{zd} – додаткова заробітна плата;

E_{zn} – нарахування на заробітну плату.

$$E_{zo} = NT_I K \Phi_{ef} K_c \beta, \quad (6.9)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N = 1$ чол.);

T_I – погодинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_I = 38,07$ грн/год);

K – тарифний коефіцієнт ($K = 1,97$);

Φ_{ef} – ефективний фонд робочого часу на обслуговування електропривода подачі за рік (приймаємо $\Phi_{ef} = 110$ год);

K_c – коефіцієнт співвідношення, встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta = 1$).

Розраховуємо основну заробітну плату по тарифу:

$$E_{zo} = 1 \cdot 38,07 \cdot 1,97 \cdot 110 \cdot 1 \cdot 1 = 8249,77 \text{ (грн)}.$$

Додаткова заробітна плата E_{zd} становить 10% основної заробітної плати:

$$E_{zd} = 8249,77 \cdot 0,1 = 824,98 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 6.2.

Таким чином, маємо:

$$E_{zn} = 8249,77 + 824,98 + 1996,46 = 11071,21 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 6.2 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума
Основна заробітна плата $E_{зо}$, грн.	8249,77
Додаткова заробітна плата $E_{зд}$, грн.	824,98
Разом основна і додаткова заробітна плата ($E_{зо}+E_{зд}$), грн.	9074,75
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%), грн.	1996,46
Всього нарахування, грн	11071,21

6.4 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_e = \frac{P}{\eta} B \Phi_{ef} K_{вм} K_з, \quad (6.10)$$

де B – вартість електроенергії (травень 2023 р. для II класу напруги

$B = 5$ грн/кВт·год);

P – номінальна потужність;

η – коефіцієнт корисної дії ($\eta = 0,85$);

T_{ef} – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{вм}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом $K_{вм} = 0,8$);

$K_з$ – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Номінальна потужність складає 200 Вт. Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0,8, а коефіцієнт завантаження рівний 0,72.

Ефективний фонд робочого часу при режимі роботи в 1 зміну протягом 95% часу за рік становить:

$$\Phi_{ef} = 220 \cdot 8 \cdot 0,95 = 1672 \text{ (год)}.$$

Отже, маємо:

$$E_e = \frac{0,2}{0,85} \cdot 5 \cdot 1672 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 1101,55 \text{ (грн/рік)}.$$

6.5 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою, силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів (таблиця 6.3), у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електромонтер шостого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт (таблиця 6.3), основну заробітну плату розрахуємо за формулою:

$$E_{zo} = T_I K \Phi_{ef}, \quad (6.11)$$

$$E_{zo} = 38,07 \cdot 1,45 \cdot 1,97 \cdot 37 = 4023,64 \text{ (грн)}.$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$E_{zn} = 4023,64 \cdot 0,22 = 885,20 \text{ (грн)}.$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять:

$$E_{зр} = 4023,64 + 885,20 = 4908,84 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 6.3 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудоміст- кість, люд·год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сенсори				3							3		6
Блок прийняття рішення						4							4
Блок вимірювання температури				3							3		6
Підсилювач		4				4				4			12
Інше обладнання					3							3	6
Монтаж кабелів	3												3
Загальна трудомісткість												37	

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати. Тобто, витрати на матеріали для ремонтів становить:

$$E_m = 4908,84 \cdot 0,15 = 736,32 \text{ (грн)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять:

$$E_{нр} = E_{зр} + E_m, \quad (6.12)$$

$$E_{нр} = 4908,84 + 736,32 = 5645,16 \text{ (грн)}.$$

6.6 Інші витрати

Розмір інших витрат приймаємо рівним 5% від загальної суми попередніх витрат. Тобто:

$$E_{in} = (E_a + E_{zn} + E_e + E_{np}) \cdot 5\%, \quad (6.13)$$

$$E_{in} = (2288 + 11071,21 + 1101,55 + 5645,16) \cdot 0,05 = 1005,29 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведемо в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахунок сумарних експлуатаційних витрат

Найменування витрат	Сума
Амортизаційні відрахування E_a , грн.	2288
Заробітна плата E_{zn} обслуговуючого персоналу, грн.	11071,21
Витрати на електроенергію E_e , грн.	1101,55
Витрати на поточний ремонт E_{np} , грн.	5645,16
Інші витрати E_{in} , грн.	1005,29
Всього експлуатаційні витрати E , грн.	22116,5

В даному розділі було проведено розрахунок капітальних вкладень створення пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна. Була розрахована основна заробітна плата, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати. Оскільки, прибуток від засобу невідомий, або не розраховується як такий, то термін окупності неможливо розрахувати, тому зупиняємося на експлуатаційних витратах.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи отримано такі результати:

1. Проведено аналіз причин пошкодження та зношення ізоляції асинхронних електродвигунів. Встановлено, що при зниженій напрузі двигуна спостерігається його зтяжний пуск, при якому відбувається додаткове теплове навантаження на ізоляцію обмотки статора, що призводить до зменшення ресурсу, а як наслідок, зменшення ресурсу самого двигуна.

2. Математично описано вплив зниженої напруги мережі живлення на ізоляцію обмотки статора асинхронного електродвигуна.

3. З використанням математичного пакету Mathcad досліджено вплив зниженої напруги живлення на асинхронний електродвигун під час його пуску. Встановлено, що при зниженні напруги на 20% момент зменшується на 35,2%, а час перехідного процесу збільшується на 58,1%, при зниженні напруги на 30% момент зменшується на 51%, а час перехідного процесу збільшується на 135,5%.

4. Розроблено пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна, який дозволяє непрямим шляхом контролювати теплове зношення ізоляції обмотки статора при пуску асинхронного електродвигуна в умовах зниження напруги та полегшувати умови його запуску при перевищенні допустимого значення додаткового теплового зношення ізоляції. Розроблено і алгоритм роботи даного пристрою.

5. Розглянуті питання з охорони праці та здійснено економічний розрахунок по даній розробці.

Результати досліджень опубліковані в роботі [27]. Подана заявка № u202301728 від 17.04.2023 р. на отримання патенту на корисну модель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Fahim .A. Khalifa, Sobhy Serry Dessouky, Mohamed Mahmoud Ismail, Basem El Elnaghi. Effect of Temperature Rise on the Performance of Induction Motors. [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/224100150_Effect_of_Temperature_Rise_on_the_Performance_of_Induction_Motors
2. Temperature effects on motor performance. [Електронний ресурс]. URL: https://www.haydonkerkpittman.com/-/media/ametekhaydonkerk/downloads/white-papers/temperature_effects_on_dc_motor_performance_1.pdf?la=en
3. Vondrišek Z., Ryáenko V., Linda M. Thermal analysis of asynchronous machines under intermittent loading. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.15159/ar.19.126>
4. Amel Adouni, Antonio J. Marques Cardoso. Thermal Analysis of Low-Power Three-Phase Induction Motors Operating under Voltage Unbalance and Inter-Turn Short Circuit Faults. *Machines* 2021, 9(1), 2. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.3390/machines9010002>
5. Губаревич О.В., Голубєва С.М. Аналіз методів діагностики технічного стану ізоляції асинхронних двигунів. [Електронний ресурс]. URL: <https://elen.donntu.edu.ua/2074-2630-2019-1-55-63.pdf>
6. Губаревич О.В., Голубєва С.М. Систематизація дефектів і вибір методів діагностики технічного стану ізоляції асинхронних двигунів. [Електронний ресурс]. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/14595/1/MSIE2019_P065-066.pdf
7. Попрядухін В. С. Пристрої контролю, діагностування та захисту асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі живлення. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 196 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». 2018. С. 123-125.

8. Fluke. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.fluke.com/ru-ru/learn/blog/motors-drives-pumps-compressors/13-common-causes-of-motor-failure>

9. Токарев О.В., Борягин Д.О., Шеремет О.І. Аналіз причин пошкодження асинхронних двигунів та засобів діагностування їх режимів роботи. Науковий вісник ДГМА. 2018. № 1 (25Е). С. 39-45

10. Якість електроенергії та її вплив на електроспоживання і надійність роботи електроустаткування. [Електронний ресурс]. URL: <https://patriot-nrg.com/content/yakist-elektroenergiyi-ta-yiyi-vplyv-na-elektrospozhyvannya-i-nadiynist-roboty>

11. Лобов В.Й., Лобова К.В. Захист асинхронного двигуна, що керується тиристорною станцією. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 29 (68) Ч. 1. № 1. 2018. С.174-179.

12. Балійчук О.Ю. Нагрівання і захист обмоток допоміжних машин електропоїздів змінного струму при короткочасних перевантаженнях. Електрифікація транспорту. 2014. №8. С. 79-85.

13. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Дідур В.А. Вплив відхилення живлячої напруги на ресурс ізоляції асинхронних електродвигунів потокових технологічних ліній. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. Вип. 153. С. 79-81. [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2014_153_27

14. Токарев О. В., Борягин Д. О., Шеремет О. І. Аналіз причин пошкодження асинхронних двигунів та засобів діагностування їх режимів роботи. Научный вестник ДГМА. № 1 (25Е). 2018. С.39-45.

15. Шавкун В.М., Ліньков В.В. Аналіз сучасних методів діагностики технічного стану асинхронних двигунів. Комунальне господарство міст. 2019. Том 5. Випуск 151. ISSN 2522-1809 (Print); ISSN 2522-1817. С. 8-12.

16. Осташевський М. О., Петренко О. М., Юр'єва О. Ю. Теплові розрахунки електричних машин : навч. Посібник. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2020. 450 с.

17. Техпривод. [Електронний ресурс]. URL: <https://tehprivod.su/poleznaya-informatsiya/osnovnye-neispravnosti-elektroprivodov.html>

18. Пристрої захисту електродвигуна. [Електронний ресурс]. URL: <http://pnevmo-c.com.ua/ua/statti/pristroyi-zahistu-elektroprivoda.html>

19. Попова І.О., Курашкін С.Ф., Нестерчук Д.М. Захист асинхронного двигуна від несиметричних режимів. [Електронний ресурс]. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/185695071.pdf>

20. Пат. 119460 UA, МПК Н01Н 37/12 (2006.01). Пристрій діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна / Стребков О.А., Вовк О.Ю., Квітка С.О., Нестерчук Д.М., Ковальов О.В., Дем'яненко Д.В. № у 2017 03480; заявл. 10.04.2017; опубл. 25.09.2017, бюл. № 18.

21. Вовк. О.Ю., Квітка С.О., Нестерчук Д.М., Стребков О.А., Ковальов О.В. Розробка пристрою, який забезпечує ресурсозберігаючий пуск асинхронних електродвигунів при зниженій напрузі. Technology audit and production reserves. 2017. № 1/1(33). С. 37-44.

22. Стребков О.А., Вовк О.Ю., Стьопін Ю.О. Розробка пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна в післяпусковий період. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2017. Вип. 186. С. 88-89. [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2017_186_34

23. Пат. 129308 UA, МПК Н01Н 37/12 (2006.01). Пристрій для діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна непрямым шляхом / Стребков О.А., Вовк О.Ю., Квітка С.О., Щербінін .Є., Чернецький В.А. № у 2018 04841; заявл. 03.05.2018; опубл. 25.10.2018, бюл. № 20.

24. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Стребков О.А. Непрямий спосіб вимірювання імпульсу квадрату пускового струму. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ. 2016. 173 с. С. 91-93.

25. Міліх В.І., Іваненко В.М. Дослідження асинхронних двигунів: лабораторний практикум з курсу «Електричні машини» для студентів електротехнічних спеціальностей. – Харків: НТУ «ХП». 2007. 93 с.

26. Hubarevych O.V. and Hoyzhevs'kyu O.V. (2019), "Ways to Improve the Reliability of Windings of Ship Electric Machines". Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Vodnyy transport: suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku», [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Water Transport: Current State and Prospects for Development"], Kyiv: Vyd-vo DUIT, May 16-17, 2019, pp 248-251.

27. Розводюк М.П., Розводюк К.М., Ризванюк Б.П., Кушнір С.В. Пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна. Тези доповідей ЛП Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (2023), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 21-23 червня 2023 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feem/all-feem-2023/paper/view/17661>

28. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073

29. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації

об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. [Електронний ресурс]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

30. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України. 2009. 116 с.

31. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>

32. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ». 2016. 109 с.

33. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. [Електронний ресурс]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

34. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України. 2013. 149 с.

35. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України. 2018. 133 с.

36. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. [Електронний ресурс]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

37. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99#Text>

38. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікацій-них роботах здобувачів освітнього ступеня магістра галузі знань

14 «Електрична інженерія» / уклад.: С.В. Дембіцька, І.М. Кобилянська, О.В. Кобилянський. – Вінниця: ВНТУ. 2022. 52 с.

39. Кодекс Цивільного захисту України. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2013. № 34-35. С. 458. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>

Додаток А
(обов'язковий)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ПОГОДЖЕНО

Заст. декана ФЕЕЕМ



к.т.н., доц. Віра ГЕПТЯ

« 24 » 03 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

« 24 » 03 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
ВИЗНАЧЕННЯ ДОДАТКОВОГО ТЕПЛООВОГО ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ
АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

08-24.МКР.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи

Розводюк М.П., к.т.н., доцент

« 24 » 03 2023 р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-21мз

Ризванюк Б.П.

« 24 » 03 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

1 Загальні відомості

Повне найменування дослідження – «Визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна».

Скорочене найменування розробки – «Ізоляція асинхронного електродвигуна».

Замовник – кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Дослідження призначені для підвищення надійності функціонування асинхронних двигунів, зокрема для захисту від зatoryжних пусків при понижений напрузі.

Можуть бути використані на підприємствах, де встановлені асинхронні двигуни.

4 Вимоги до розробки

Результати досліджень повинні мати пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна.

Комплектація розробки

Пояснювальна записка, структура пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна та опис її роботи.

6 Технічні характеристики

Можливість визначати додаткове теплове зношення ізоляції асинхронного електродвигуна та здійснювати захист двигуна від зatoryжних пусків при понижений напрузі.

7 Джерела розробки

1. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Дідур В.А. Вплив відхилення живлячої напруги на ресурс ізоляції асинхронних електродвигунів потокових технологічних ліній. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. Вип. 153. С. 79-81. [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2014_153_27
2. Пат. 119460 UA, МПК Н01Н 37/12 (2006.01). Пристрій діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна / Стребков О.А., Вовк О.Ю., Квітка С.О., Нестерчук Д.М., Ковальов О.В., Дем'яненко Д.В. № и 2017 03480; заявл. 10.04.2017; опубл. 25.09.2017, бюл. № 18.
3. Вовк. О.Ю. Квітка С.О., Нестерчук Д.М., Стребков О.А., Ковальов О.В. Розробка пристрою, який забезпечує ресурсозберігаючий пуск асинхронних електродвигунів при зниженій напрузі. Technology audit and production reserves. 2017. № 1/1(33). С. 37-44.
4. Стребков. О.А., Вовк О. Ю., Стьопін Ю. О. Розробка пристрою діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна в післяпусковий період. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2017. Вип. 186. С. 88-89. [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2017_186_34
5. Пат. 129308 UA, МПК Н01Н 37/12 (2006.01). Пристрій для діагностування додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна непрямим шляхом / Стребков О.А., Вовк О.Ю., Квітка С.О.,

Щербінін .Є., Чернецький В.А. № и 2018 04841; заявл. 03.05.2018; опубл. 25.10.2018, бюл. № 20.

8 Елементарна база

Персональний комп'ютер, Microsoft Office, Microsoft Visio, Mathcad.

9 Конструктивне виконання

Структура пристрою повинна бути реалізована на доступній елементній базі.

10 Показники технологічності

При використанні розроблених математичних моделей та структури пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна дотримуватися авторського права.

11 Технічне обслуговування

Технічне обслуговування здійснюється розробником або відповідними довіреними особами.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ВИЗНАЧЕННЯ ДОДАТКОВОГО ТЕПЛОВОГО ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ
АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА**

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є підвищення надійності роботи асинхронного електродвигуна шляхом розробки пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції його обмотки статора, обумовленого зниженою напругою живлення при пуску двигуна.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі *задачі*:

- 1) здійснити аналіз причин пошкодження та зношення ізоляції асинхронних електродвигунів, приділяючи особливу увагу їх пуску при зниженій напрузі;
- 2) математично описати вплив зниженої напруги мережі живлення на ізоляцію обмотки статора асинхронного електродвигуна;
- 3) дослідити шляхом комп'ютерного моделювання вплив зниженої напруги живлення на асинхронний електродвигун;
- 4) розробити пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна.

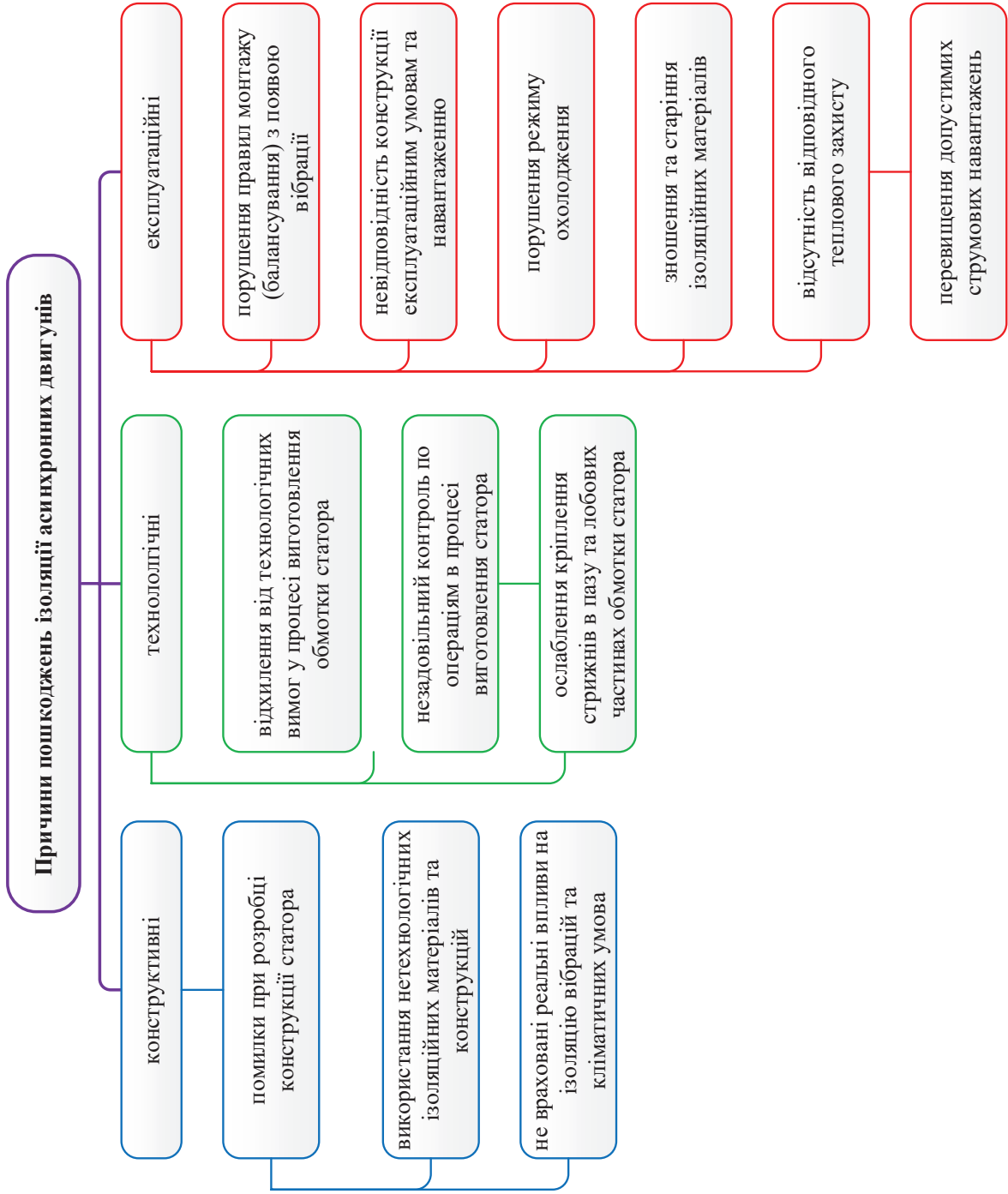
Розв'язанню поставлених задач присвячена дана робота.

Об'єкт та предмет дослідження

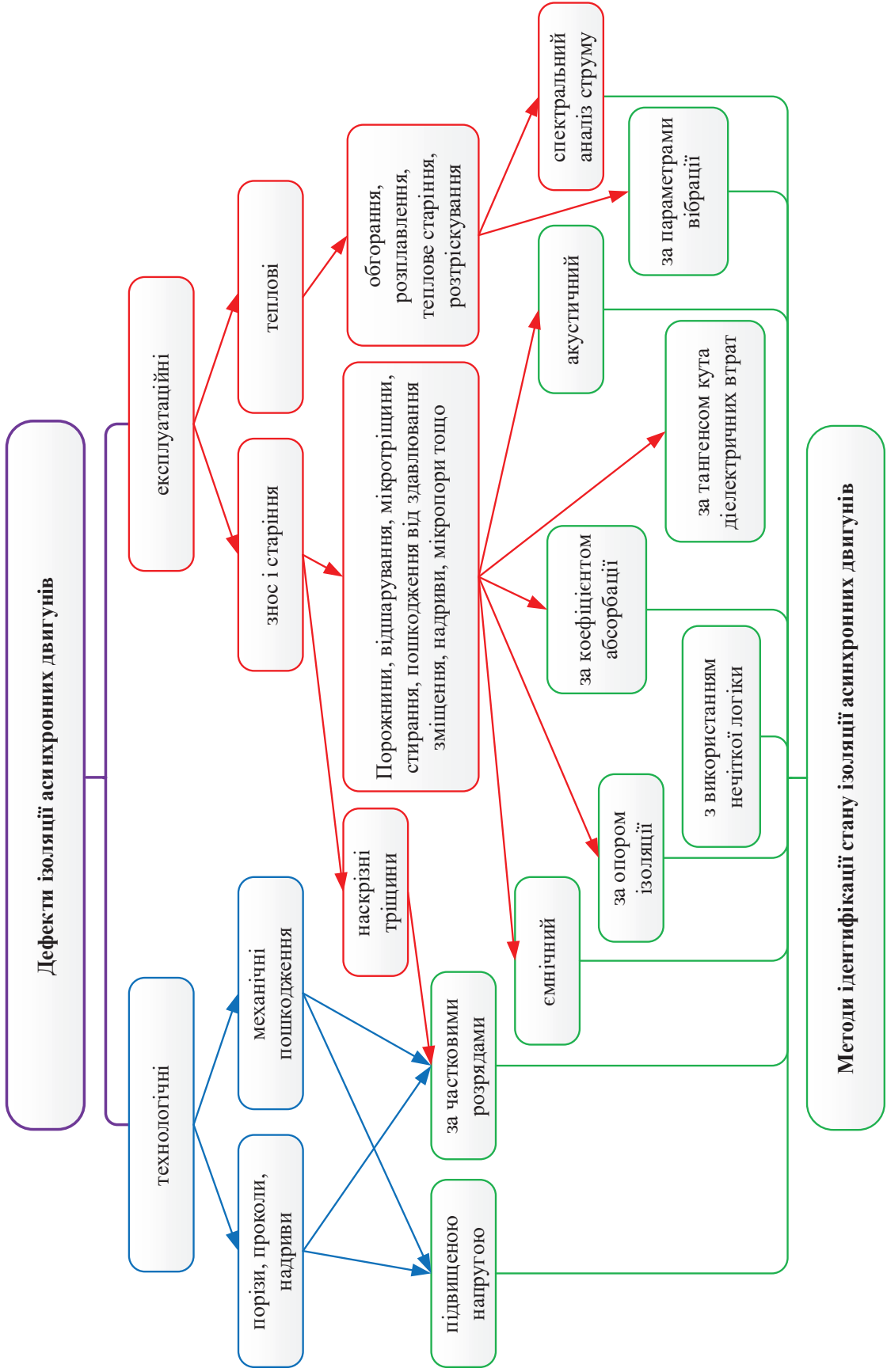
Об'єктом дослідження в роботі є процеси зміни технічного стану ізоляції обмотки статора асинхронного електродвигуна, обумовленого зниженням напруги живлення мережі під часу пуску двигуна.

Предметом дослідження є математичні моделі та структура пристрою для визначення додаткового теплого зношення ізоляції асинхронного електродвигуна.

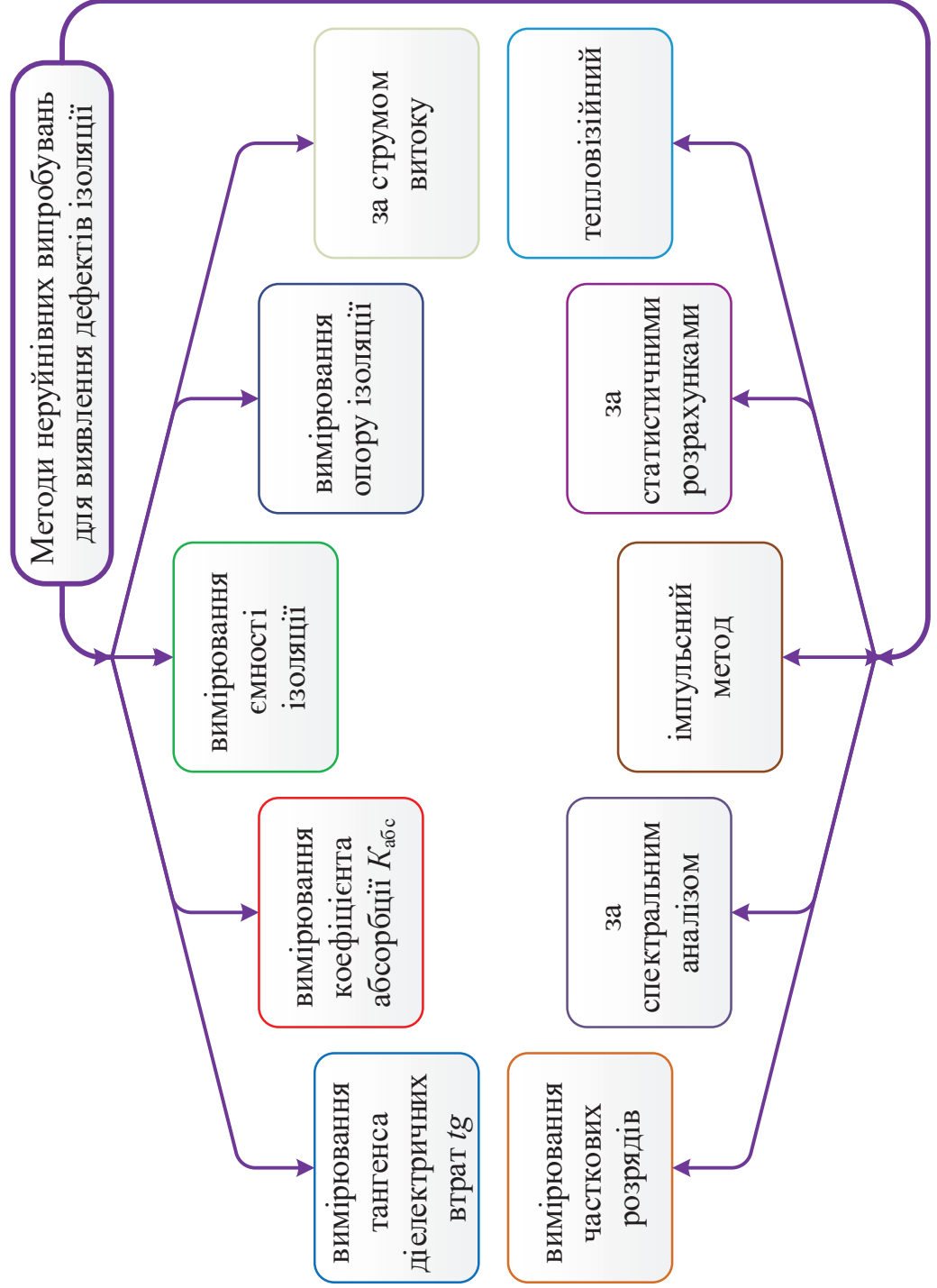
Причини пошкоджень ізоляції асинхронних двигунів



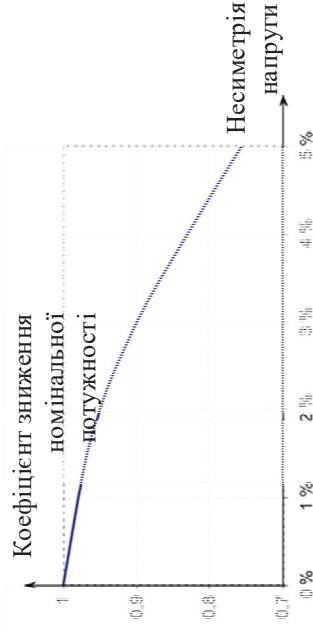
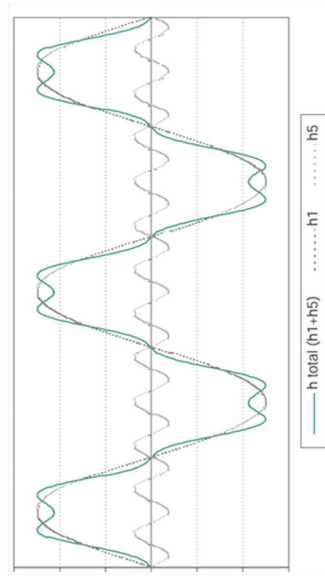
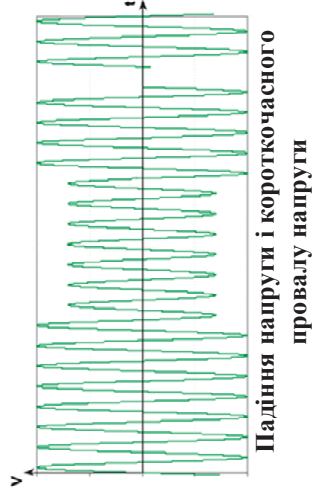
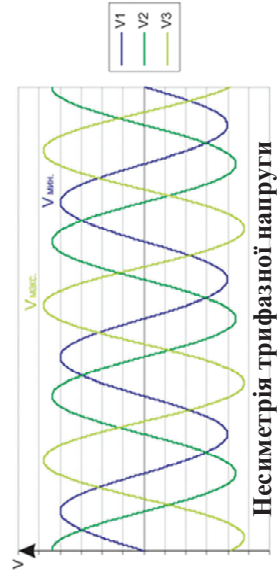
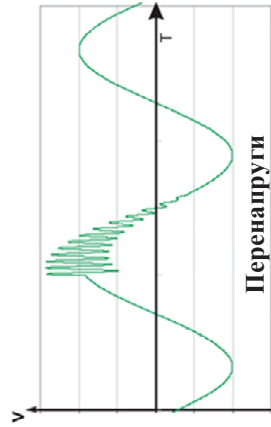
Класифікація дефектів ізоляції асинхронних двигунів та методів контролю її стану



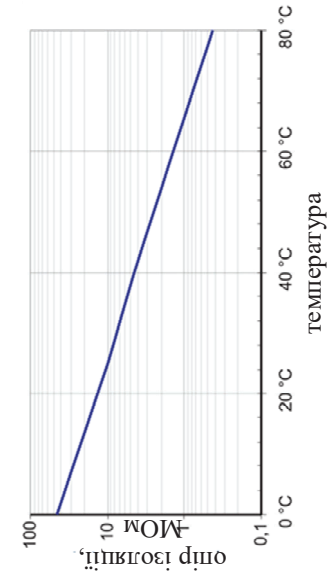
Класифікація методів неруйнівних випробувань для ідентифікації дефектів ізоляції асинхронних двигунів



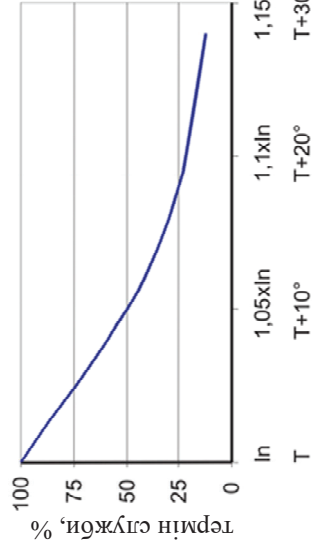
Причини пошкоджень асинхронних двигунів через якість електроенергії



Погіршення параметрів двигуна відносно дисбалансу напруги живлення

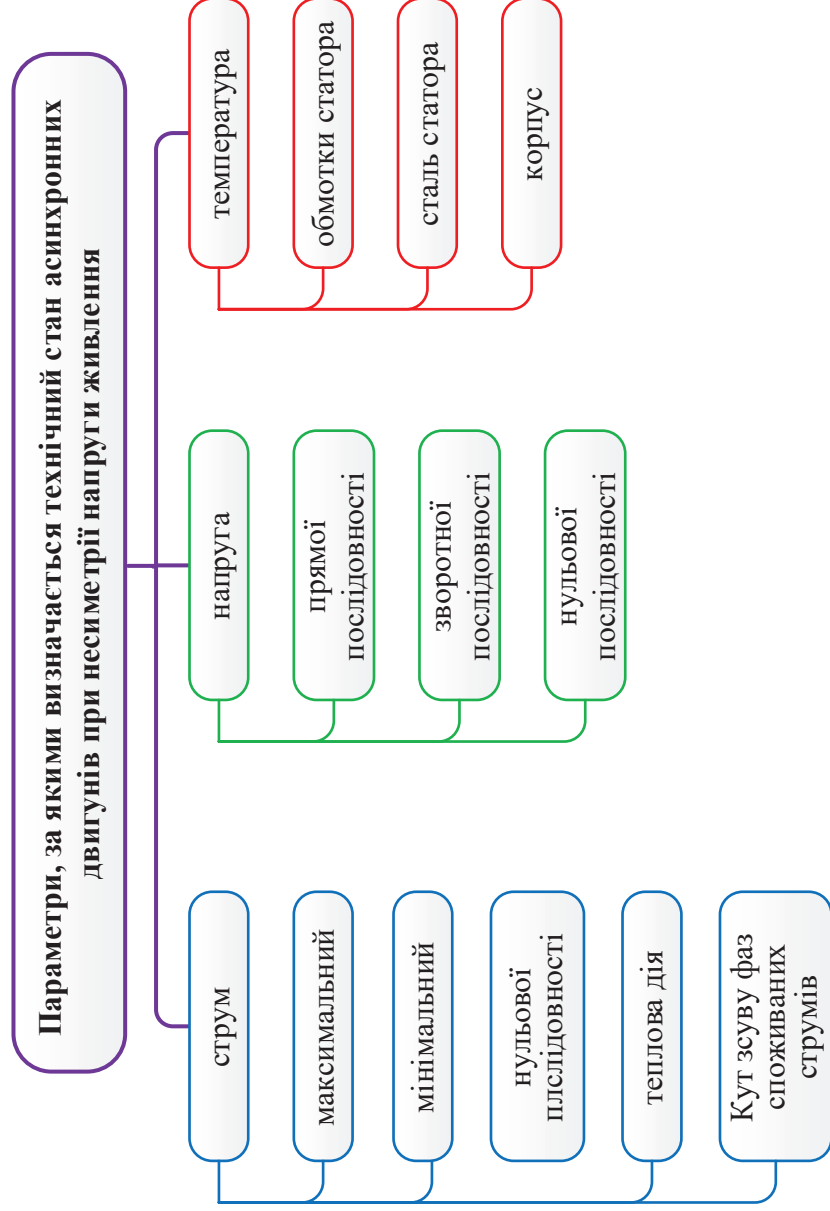


Залежність опору ізоляції від температури

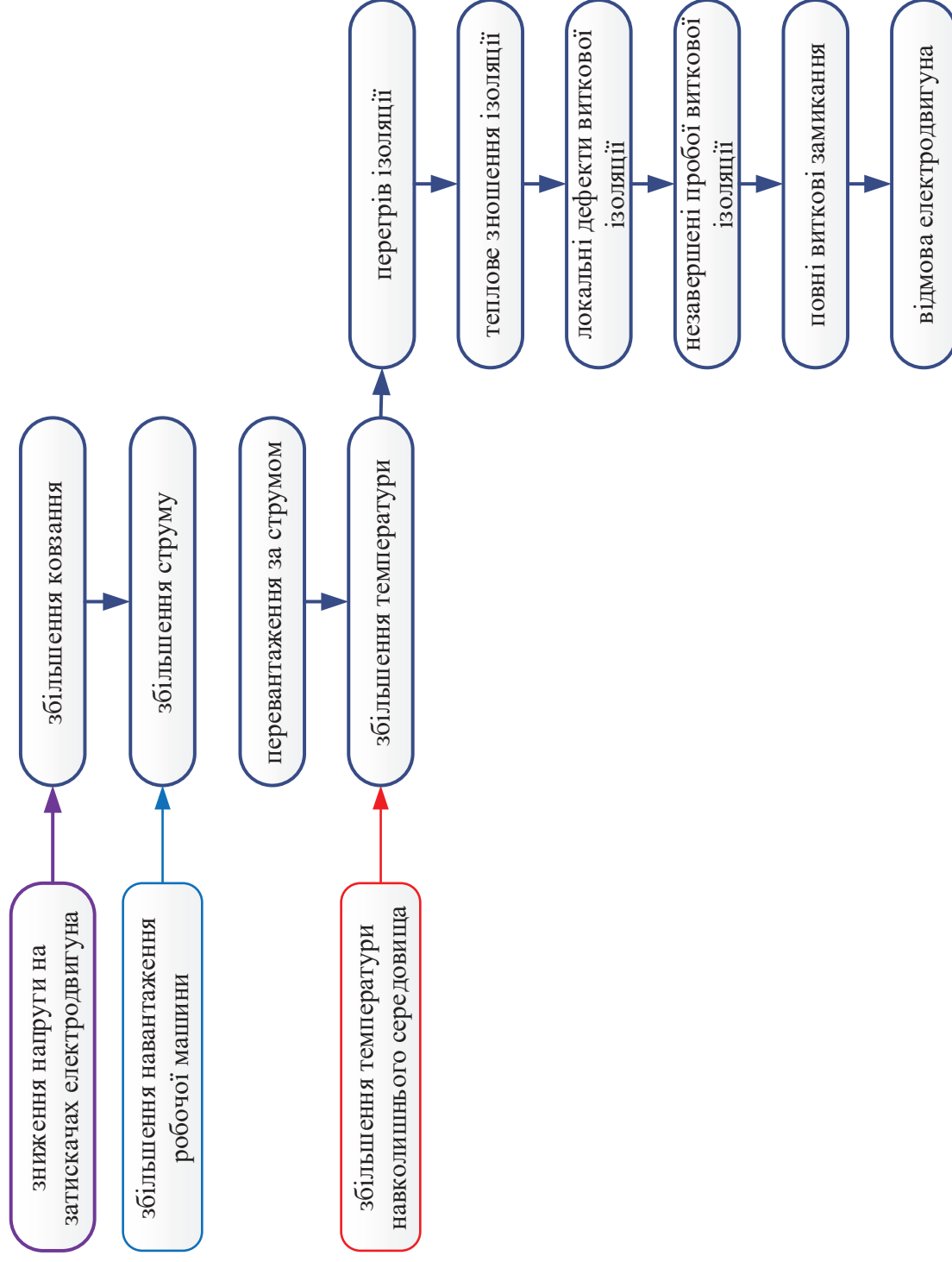


Залежність терміну служби ізоляції від перевантаження і перегріву

Параметри, за якими визначається технічний стан асинхронних двигунів при несиметрії напруги живлення



Пошкодження асинхронних двигунів при зниженні напруги



Математична модель впливу зниженої напруги живлення на ізоляцію обмотки статора асинхронного електродвигуна

Тепловий баланс для ізоляції обмотки:

$$C \frac{dt}{dt} = P_0(1 + \alpha t) \quad (1)$$

де C – теплоємність обмотки;

P_0 – втрачена активна потужність обмотки статора при температурі навколишнього середовища;

α – температурний коефіцієнт опору матеріалу провідника обмотки;

t – перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища;

При $T_n = \frac{C}{\alpha P_0}$,

$$(1) \text{ матиме вигляд: } T_n \frac{dt}{dt} - t = \frac{1}{\alpha} \quad (2)$$

Поточне перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища:

$$t = \left(\frac{1}{\alpha} + \tau_{пов} \right) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{1}{\alpha} \quad (3)$$

Максимальне перевищення температури при завершенні розгону асинхронного двигуна:

$$\tau_t = \left(\frac{1}{\alpha} + \tau_{пов} \right) \cdot e^{-\frac{3\omega_0 \Pi}{C}} - \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

де τ_t – максимальне перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища;

t_n – час розгону електродвигуна.

При $\Pi = \int_0^{t_n} I_n^2 dt$,

$$\tau_t = \left(\frac{1}{\alpha} + \tau_{пов} \right) \cdot e^{-\frac{3\omega_0 \Pi}{C}} - \frac{1}{\alpha} \quad (5)$$

Температура після пуску двигуна:

$$t = \tau_n \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + \tau_e e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6)$$

де τ – поточне перевищення температури обмотки;

τ_n – номінальне перевищення температури обмотки;

T – постійна часу нагрівання електродвигуна.

$$\vartheta = \vartheta_n e^{-\frac{t}{\tau_n} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + \tau_e e^{-\frac{t}{\tau}} + \tau_{ср} + 273} \quad (7)$$

Швидкість теплового зношення ізоляції в післяпусковий період:

де ϑ_n – номінальна швидкість теплового зношення ізоляції;

B – параметр, який характеризує клас ізоляції;

θ_n – абсолютна номінальна температура ізоляції;

$t_{ср}$ – температура навколишнього середовища.

Додаткове теплове зношення ізоляції в післяпусковий період:

$$E_{дод} = \int_0^{kT} 9 \delta t - k T \vartheta_n \quad (8)$$

Температура обмоток двигуна в функції несиметрії напруги ε_i :

$$\tau_{пер} = \tau \cdot (1 + 2(\varepsilon_u)^2) \quad (9)$$

Термін служби ізоляції:

$$R = \frac{R_{ном}}{K_U} \quad (10)$$

де $R_{ном}$ – термін служби ізоляції двигуна при номінальній нарузі та навантаженні;
 K_U – коефіцієнт, що залежить від значення та знаку відхилення напруги, а також від коефіцієнта завантаження двигуна k_s :

$$\begin{cases} K_U = (47\delta_U^2 - 7,55\delta_U + 1) \cdot k_s^2, & \text{при } -0,2 < \delta_U < 0; \\ K_U = k_s^2, & \text{при } 0,2 \geq \delta_U > 0; \end{cases} \quad (11)$$

Перегрів обмоток двигуна при несинусоїдальному вигляді напруги живлення:

$$\Delta \tau_{пер} = \frac{280}{b} \cdot \left(1,55\varepsilon_u^2 + 1,39 \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \right) \quad (12)$$

Відносне значення тривалості служби ізоляції Z асинхронного двигуна:

$$Z = \exp \left[-280 \cdot \left(1,55\varepsilon_u^2 + 1,39 \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \right) \right] \quad (13)$$

Встановлена температура обмотки асинхронного двигуна з врахуванням втрат та зміни параметрів матеріалу провідника:

$$\Delta t = \Delta t_{ном} \cdot \frac{a + k^2}{1 + a - \alpha \Delta t_{ном} (k^2 - 1)} \quad (14)$$

Кратність робочого струму по відношенню до номінального:

$$k = \frac{I}{I_{ном}} \quad (15)$$

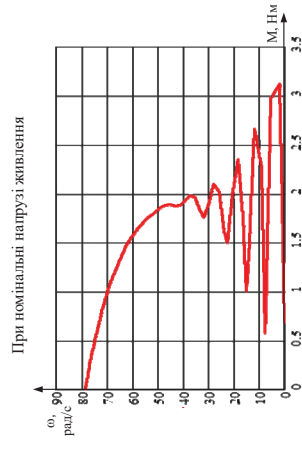
де I – поточне значення струму, що протікає по обмотках;

$I_{ном}$ – номінальне значення струму, що викликає номінальне нагрівання двигуна.

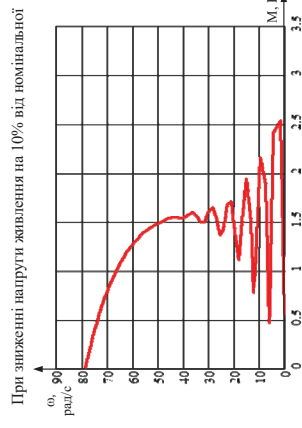
Після перетворень отримаємо:

$$\Delta t = \Delta t_{ном} \cdot \frac{a + \left(\frac{I}{I_{ном}} \right)^2}{1 + a - \alpha \Delta t_{ном} \left(\left(\frac{I}{I_{ном}} \right)^2 - 1 \right)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} + \Delta t_{пов} e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad (16)$$

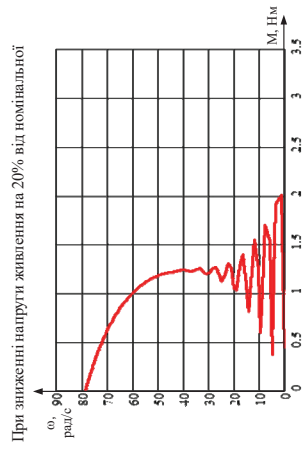
Дослідження впливу зниженої напруги живлення на асинхронний електродвигун



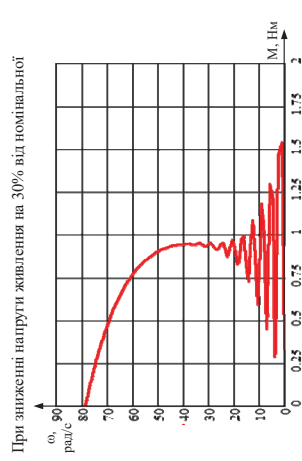
При номінальній напрузі живлення



При зменшенні напруги живлення на 10% від номінальної

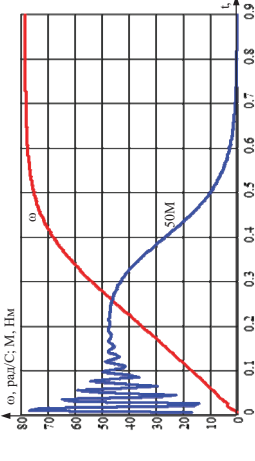
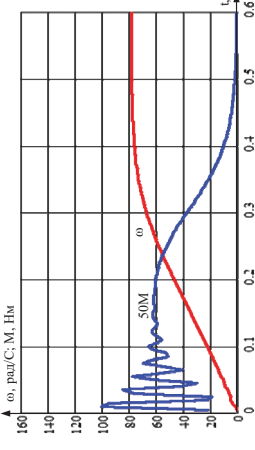
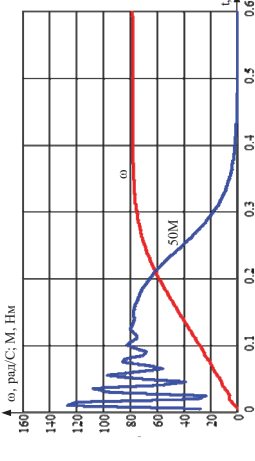
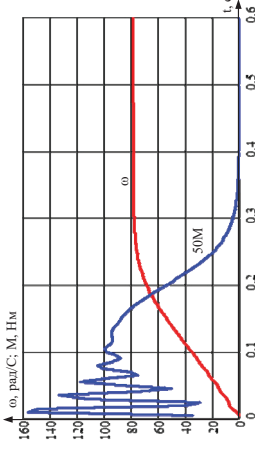


При зменшенні напруги живлення на 20% від номінальної

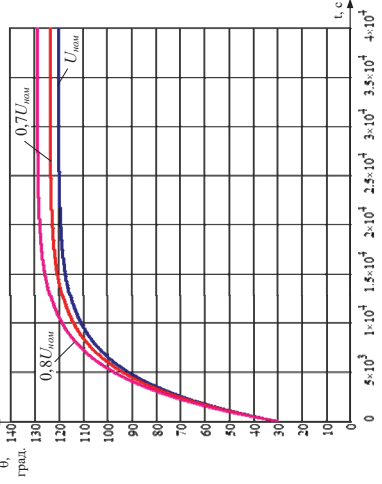


При зменшенні напруги живлення на 30% від номінальної

Механічні характеристики асинхронного двигуна



Динамічні характеристики кутової швидкості та моменту асинхронного двигуна

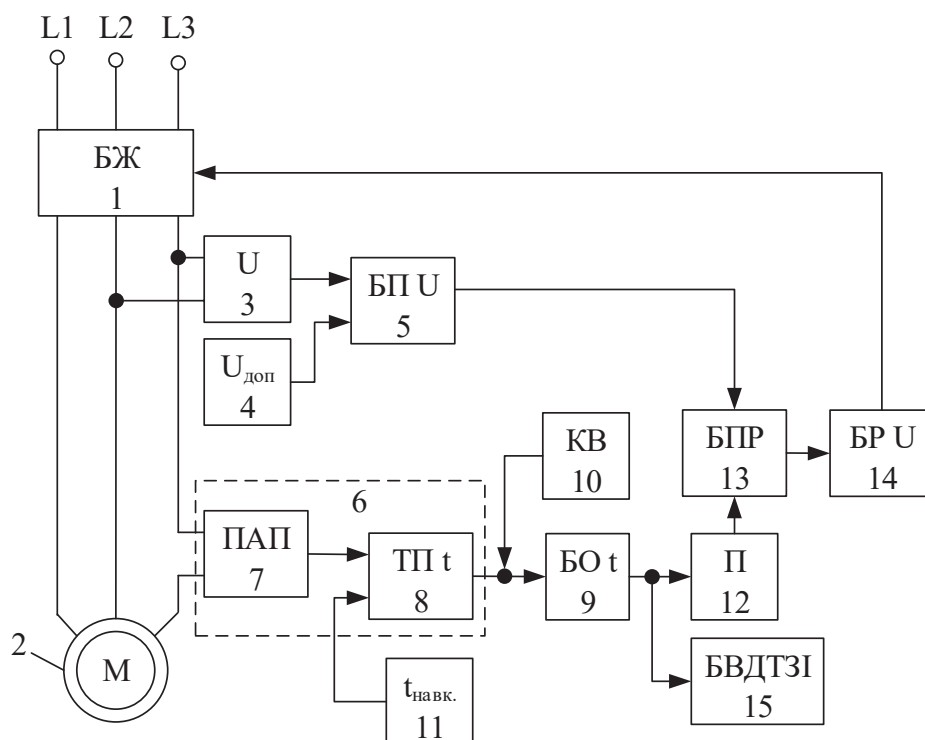


Залежність температури від часу розгону при різних значеннях напруги живлення асинхронного двигуна

Параметр	Напруга живлення, В		
	$U_{ном}$	$0,9U_{ном}$	$0,8U_{ном}$
Максимальний момент, Н·м	3,1	2,55	2,01
Час перехідного процесу, с	0,31	0,38	0,49
			$0,7U_{ном}$
			1,52
			0,73

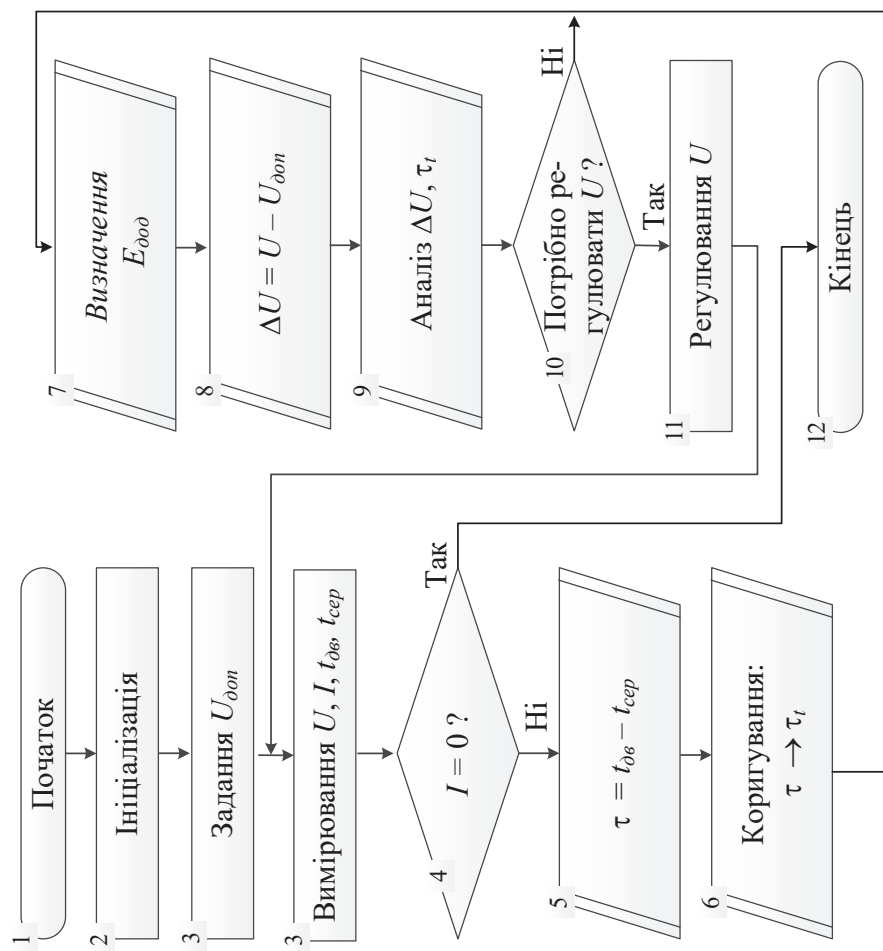
Параметр	Напруга живлення, В		
	$U_{ном}$	$0,9U_{ном}$	$0,8U_{ном}$
Максимальний момент, %	100	82,3	64,8
Час перехідного процесу, %	100	122,6	158,1
			$0,7U_{ном}$
			49
			235,5

Структурна схема пристрою для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного двигуна



- 1 – блок живлення;
- 2 – асинхронний електродвигун;
- 3 – сенсор напруги;
- 4 – блок задання мінімально допустимої напруги;
- 5 – блок порівняння напруги;
- 6 – блок вимірювання температури, який містить перетворювач активної потужності 7 та термоелектричний перетворювач температури 8;
- 9 – блок обробки температури;
- 10 – компенсаційний вузол;
- 11 – сенсор температури навколишнього середовища;
- 12 – підсилювач;
- 13 – блок прийняття рішення;
- 14 – блок регулювання напруги;
- 15 – блок визначення додаткового теплового зношення ізоляції.

Алгоритм роботи пристрою для визначення додаatkового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна



Новизна та практичне значення одержаних результатів.

Апробація результатів

Новизна одержаних результатів:

– запропоновано пристрій, який дозволяє контролювати надлишкове виділення температури в обмотці статора асинхронного двигуна та додаткове теплове зношення її ізоляції при зatoryжних або нездійснених пусків двигуна в умовах зниження напруги та полегшувати умови його запуску, який, на відміну від існуючих, дозволяє вимірювати напругу мережі живлення електродвигуна, температуру навколишнього середовища, що підвищує точність регулювання напруги.

Практичне значення одержаних результатів:

– використання запропонованого пристрою забезпечить захист асинхронних електродвигуна від додаткового теплового зношення ізоляції в післяпусковий період при зниженій нарузі за рахунок полегшення умов запуску електродвигуна.

Апробація результатів:

– основні положення та результати, виконаних у магістерській кваліфікаційній роботі досліджень, доповідалися та обговорювались на ЛІІ Науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ (2023 рік).

Основний зміст роботи опубліковано в 1 тезі:

Розводюк М.П., Розводюк К.М., Ризванюк Б.П., Кушнір С.В. Пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна. Тези доповідей ЛІІ Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (2023), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 21-23 червня 2023 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feem/all-feem-2023/paper/view/17661>

Подано заявку №и202301728 від 17.04.2023р. на отримання патенту України на корисну модель:

«Пристрій для визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна» / Розводюк М.П., Розводюк К.М., Ризванюк Б. П., Кушнір С.В. Номер заявки № и202301728 від 17.04.2023 р.

08-24.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна. Об'єкт та предмет дослідження	Літ.	Мас.	Вис.
Розробив		Ризванюк Б.П.		05.06.23			у	
Перевірів		Розводюк М.П.		05.06.23	Аркуш 1			
Т. контр.								
Реценз.		Рудакенко О.С.		09.06.23		ВНТУ, гр. ЕІА-200		
Норм.кон.		Бомбич В.С.		01.06.23				
Затверд.		Молчанов М.М.		07.06.23				

Додаток В

(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Визначення додаткового теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-21мз

Науковий керівник: к.т.н., доц. Розводюк М.П.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

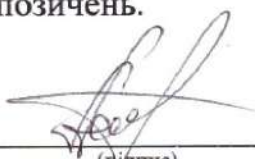
Оригінальність	85,5%
Схожість	14,5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Паянок О.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Ризванюк Б.П.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Розводюк М.П.
(підпис) (прізвище, ініціали)