

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки


Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів


МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

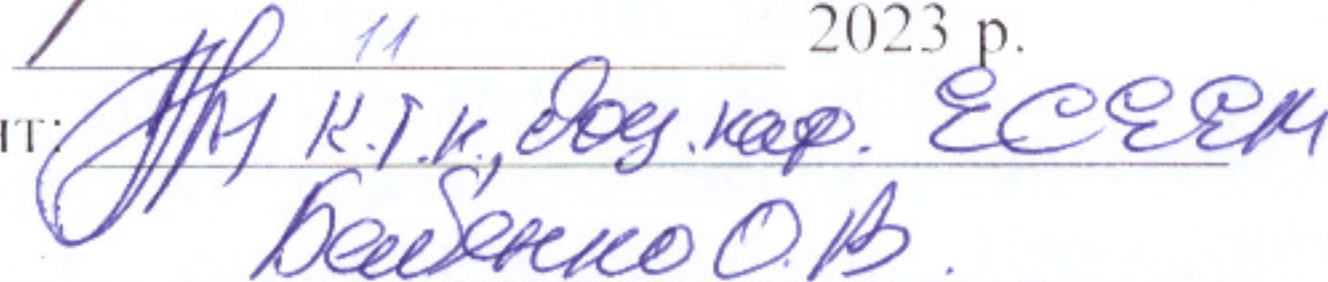
«Методи та засоби визначення ефективності роботи електричних приводів змінного струму. Комплексний показник енергетичної ефективності двигуна при роботі за певний час»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Чайки ІВАНА
(прізвище та ініціали)

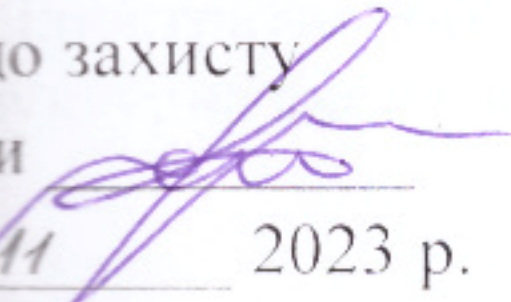
Керівник: д.т.н., проф. кафедри КЕМСК
 Микола МОШНОРИЗ
(прізвище та ініціали)

«21» 11 2023 р.

Опонент:  Бабенко О.В.
(прізвище та ініціали)

«11» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри 

«28» 11 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

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

Завідувач кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

.. .. 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чайці Івану Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Методи та засоби визначення ефективності роботи електричних приводів
однофазного струму. Комплексний показник енергетичної ефективності двигуна при роботі за
певний час

керівник роботи Мошноріз Микола Миколайович, к.т.н., доц. каф. КЕМСК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "18" 09 2023 року №

2. Термін подання студентом роботи 28.11.2023

3. Вихідні дані до роботи:

4. Зміст текстової частини: загальні відомості про ефективність роботи
електричного двигуна. Методи визначення статичних показників енергетичної
ефективності роботи електричних машин. комплексний підхід до оцінки
енергетичної ефективності роботи електричного двигуна за певний часовий
інтервал. Розробка структурної схеми засобу для визначення комплексного
показника енергетичної ефективності електричної машини, Проведення
експерименту і оцінка адекватності запропонованого підходу, Техніко-
еконімічне обґрунтування; Охорона праці; Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Структурна схема засобу для виміру ефективності

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к.т.н., доц. каф. КЕМСК Мошноріз М. М.	24.10.2023	21.11.2023
Економічна частина	Шулє Ю.А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	24.10.2023	21.11.2023
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	24.10.2023	21.11.2023


7. Дата видачі завдання _____

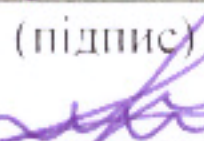
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	03.10.2023 р.	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	21.11.2023 р.	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	28.11.2023 р.	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.2023 р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	28.11.2023 р.	
6	Попередній захист МКР	28.11.2023 р.	
7	Нормоконтроль МКР	28.11.2023 р.	
8	Рецензування МКР	11.12.2023 р.	
9	Захист МКР	13.12.2023	

Студент

Керівник роботи


(підпис)


(підпис)

ГВАН ЧАЙКА
(прізвище та ініціали)

Мишора МОШНОРИ
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 621.314

Чайка І.А. Методи та засоби визначення ефективності роботи електричних приводів змінного струму. Комплексний показник енергетичної ефективності двигуна при роботі за певний час. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма – електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Вінниця: ВНТУ, 2023. 82 с.

На укр.мові. Бібліогр: 20 назв, рис:16 , табл 9

В магістерській кваліфікаційній роботі було запропоновано комплексний показник енергетичної ефективності тягового двигуна. В основній частині було розглянуто загальні основні параметри електричних асинхронних двигунів які характеризують їх ефективність. Проаналізовано їх вплив на ефективність, надійність та довговічність електричних машин. Проаналізовано різні режими роботи двигуна та їх особливості. Розглянуто та проаналізовано існуючі пристрої для виміру ключових параметрів електроприводу, їх недоліки та переваги. Розглянуто загальний підхід до розрахунку вимірюваних енергетичних параметрів та запропоновано власний метод розрахунку комплексного показника ефективності. Запропоновано структурну схему пристрою для виміру параметрів на основі яких розраховується комплексний показник енергетичної ефективності. Проведено моделювання в програмному забезпеченні MATLAB Simulink, при статичному режимі роботи та розгоні двигуна з різними системами керування, та проаналізовано адекватність оцінки комплексного показника ефективності.

Графічна частина складається з 16 рисунків

Ключові слова: Електричний двигун, ефективність, комплексний показник ефективності, ККД, електропривід, тяговий електричний двигун.

ANOTATION

Chaika I.A. A comprehensive indicator of the energy efficiency of the traction engine when working for a certain time. 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. 82 p.

In the Ukrainian language. Bibliography: 20 titles, figure:16 table 9

In the master's qualification work, a comprehensive indicator of the energy efficiency of the traction engine was proposed. In the main part, the general main parameters of electric asynchronous motors, which characterize their efficiency, were considered. Their influence on the efficiency, reliability and durability of electric machines is analyzed. Different modes of engine operation and their features are analyzed. The existing devices for measuring the key parameters of the electric drive, their disadvantages and advantages are considered and analyzed. The general approach to the calculation of the measured energy parameters is considered and the own method of calculating the complex efficiency indicator is proposed. A structural diagram of the device for measuring the parameters based on which the complex indicator of energy efficiency is calculated is proposed. Simulations were carried out in the MATLAB Simulink software, in the static mode of operation and acceleration of the engine with different control systems, and the adequacy of the assessment of the complex efficiency indicator was analyzed.

The graphic part consists of 16 figure

Key words: Electric motor, efficiency, comprehensive indicator of efficiency, efficiency, electric drive, traction electric motor.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА. МЕТОДИВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН.....	10
1.1 Загальні відомості	10
1.2 Показники ефективності.....	13
1.3 Визначення ефективності в різних режимах роботи.....	19
1.3 Визначення ефективності в певному режимі роботи	22
1.5 Висновки до розділу.	36
2 КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА ЗА ПЕВНИЙ ЧАСОВИЙ ІНТЕРВАЛ	37
2.1 Загальні підхід до розрахунку показника ефективності роботи двигуна	37
2.2 Метод визначення енергетичної ефективності за усередненими показниками.....	43
2.3 Висновки до розділу	48
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЗАСОБУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ.....	49
3.1 Розробимо схему пристрою для виміру усіх вище зазначених показників.	49
3.2 Висновок	50
4 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ І ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ПІДХОДУ	51
4.1 Промодельюємо нашу систему	51
4.2 Висновок до розділу	56
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ ОБРАХУНОК.....	57
5.1 Розрахуємо ціну двигуна.....	57
5.2 Висновок до розділу	61

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	61
6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання	62
6.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	62
6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	67
6.2.1 Мікроклімат	67
6.2.2 Склад повітря робочої зони	68
6.2.3 Виробниче освітлення	69
6.2.4 Виробничий шум.....	71
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	72
6.3.1 Дослідження стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії іонізуючих випромінювань	73
6.3.2 Дослідження стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	75
6.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електричного приводу в умовах надзвичайної ситуації.....	77
6.4 Висновок до розділу	79
ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
Додаток А	84
Додаток Б	88

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Людство з настанням промислової революції винайшло перші двигуни. Ці машини були малоефективними та не надійними. Інженери завжди шукали спосіб покращити ефективність механізмів, так з часом було винайдено двигуни внутрішнього згорання, та врешті решт електричні двигуни.

Електрична машина найбільш ефективна з точки зору ККД та використовується у багатьох галузях нашого життя починаючи з виробництва та транспорту та продовжуючи звичайними побутовими приладами якими ми користуємось кожного дня. Основним критерієм оцінки ефективності був та залишається ККД. Завдяки інженерним рішенням, кращим матеріалам, більш досконалим системам управління цей коефіцієнт зростав та покращував ефективність підприємств. Разом з тим росла і надійність електричних машин, що в свою чергу зменшувало витрати на обслуговування, ремонт, та інші витрати.

У нас час недостатньо покладатися лише на один ККД. Не можливо описати таке складне поняття як ефективність лише одним коефіцієнтом який опирається на затрачену та виконану роботу. З ускладненням механізмів, з впливом різноманітних факторів у тому числі і людському постає питання про вибір найбільш оптимального двигуна для виконання конкретної задачі. Оскільки з часом матеріали двигуна можуть деградувати, режими роботи змінюватись а обслуговування або ремонт не завжди бути якісними – параметри двигуна з часом так чи інакше теж будуть змінюватися в гіршу сторону. Постає питання, а як саме оцінити ефективність двигуна врахувавши усі фактори, та як обрати найбільш оптимальний під конкретний виробничий процес.

Мета: підвищити ефективність роботи електропривода за рахунок аналізу режимів його роботи за показником комплексної ефективності роботи.

Об'єкт дослідження:Об'єктом дослідження є процес розрахунку комплексного показника ефективності роботи електропривода протягом певного часу.

Предмет дослідження: Предметом дослідження є математичний апарат та технічне забезпечення для розрахунку комплексного показника економічної ефективності електропривода

Завдання дослідження

- аналіз відомих методів та засобів виміру параметрів ефективності асинхронних машин;
- створення структурної схеми пристрою для виміру показника ефективності;
- імітаційне моделювання на базі математичної моделі;

Особистий внесок Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи було отримано автором самостійно

Апробація результатів дослідження. За результатами дослідження, було проведено подальше дослідження теми, яке доповідалось та обговорювалось на всеукраїнської науково-практичної конференції «СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ»(25 – 27 жовтня 2023 року, м. Харків)

Публікації. За темою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій :

КОМПЛЕКСНИЙ ПОКАЗНИК ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

- ТЯГОВОГО ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ ЗА ПЕВНИЙ ЧАС / Мошноріз М.М, Чайка І.А. – Матерали конференції «СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ»(25 – 27 жовтня 2023 року[Електронний ресурс].

https://met.kname.edu.ua/images/kAFEDRA/DOC/Конференция_2023/Tezy_2023.pdf с. 202

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА. МЕТОДИВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

1.1 Загальні відомості

Перша згадка про перетворення електричної енергії на механічну за допомогою електромагнітного поля, представив у 1821 році, британський фізик М. Фарадей [10].

У 1820 році було відкрито магнітний ефект, створення струмом електромагнітного поля, це фундаментальне явище відкрив Ганс Крістіан Ерстед. Через рік Майкл Фарадей оприлюднив свою працю про «електромагнітне обертання». Він зробив пристрій суть якого полягала у провіднику, що обертася навколо магніту. Також був проведений протилежний експеримент де уже магніт обертася навколо провідника. У 1822 році Пітер Барлоу розробив колесо, що носило його фамілію і називалося колесо Барлоу. Британський вчений Вільям Стерджен винайшов ще один попередник двигуна у 1832 році. На європейському континенті Аньош Єдлік (1827) і Герман Якобі працювали над подальшим розвитком електродвигуна постійного струму. Паралельно ще у багатьох різних винахідників та ентузіастів створювались різні прототипи електричних двигунів. Деякі з цих прототипів були досить успішними і навіть мали практичну реалізацію та встановлювались на човни, що дозволяло перевозити до 20 людей [10].

У 1834 вчений Герман Якобі перший робочий прототип придатний для широкого використання, а 1888 року сербський винахідник відомий вчений Н. Тесла обґрунтував принцип побудови двофазного електродвигуна змінного струму. Відтоді електродвигун пройшов значний період розвитку та модифікацій і став одним із основних двигунів у

промисловості, щодобувши широке використання для підйому вантажів та як електропривід різних механізмів, а також у сферах транспорту та навіть у побуті. Це дозволило значно розширити можливості людства та надати новий поштовх до прогресу [10].

Першим, хто розробив асинхронний двигун, був Нікола Тесла, який у Будапешті навесні 1882 р. вирішив питання створення магнітного поля, що обертається за допомогою нерухомої обмотки, що складалася з кількох фаз змінного струму, а вже у 1884 року у Страсбургу представив робочу модель власного двигуна [10].

Внесок у розвиток асинхронних двигунів зробив Галілео Ферраріс, який 1885 року в Італії побудував зразок асинхронного двигуна потужністю 3 Вт. 1888 року він оприлюднив власні дослідження в статті для Королівської Академії Наук в Турині в якій виклав теоретичну основу роботи асинхронного двигуна. Заслуга ж Ферраріса полягала у тому, що, зробивши хибний висновок про невеликий ККД асинхронного двигуна і про недоцільність застосування систем змінного струму, він привернув увагу багатьох інших інженерів до питання вдосконалення асинхронних машин. Допис Галілео Ферраріса, оприлюднений в журналі «Атті ді Турині», передрукував англійський часопис і згодом він був прочитаний у липні 1888 року випускником Одеського реального училища (1878 року) та Дармштадтського Вищого технічного училища Михайлом Доливо-Добровольським. Уже 1889 року електротехнік польсько-російського походження Доливо-Добровольський отримав патент на трифазний асинхронний двигун зі сталевим циліндричним ротором (із закладеними по зовнішньому обрису мідними стрижнями), а 1890 року — патенти в Англії № 20425 та Німеччині № 75361 на трифазний асинхронний двигун з фазним ротором. Дані винаходи відкрили часи повсюдного промислового застосування електричних машин [10].

Попри те, що Westinghouse створив свій перший практичний асинхронний двигун 1892 року та розробив лінійку багатофазних 60-

герцових асинхронних двигунів у 1893 році, ці перші двигуни Westinghouse були двофазними двигунами з намотаним ротором, доки Бенджамін Ламме не розробив ротор з обертовими стрижнями.[1] Компанія General Electric (GE) почала розробку трифазних асинхронних двигунів 1891 року. 1896 року General Electric і Westinghouse підписали перехресну ліцензійну угоду на будову ротора зі стрижневою обмоткою, згодом названу короткозамкненим ротором. Артур Е. Кеннеллі був першим, хто виявив повне значення комплексних чисел (використовуючи j для представлення квадратного кореня з мінус одиниці) для позначення оператора повороту на 90° в аналізі задач змінного струму. Чарльз Штейнмец з GE значно розвинув застосування комплексних величин змінного струму, запропонувавши модель аналізу, яка зараз широко відома як еквівалентна схема Штейнмеца асинхронного двигуна [10].

Удосконалення індукційного двигуна, що впливає з цих винаходів та доробок, було таким, що асинхронний двигун потужністю 100 кінських сил на даний час (2010-і) має ті ж самі зовнішні розміри, що й двигун потужністю 7,5 кінських сил розробки 1897 року [10].

На даний час асинхронний двигун є найпоширенішим електродвигуном на Землі.

На сьогоднішній день існує безліч параметрів які впливають на ефективність двигуна. Це як конструктивні параметри які закладаються виробник залежно від призначення двигуна, так і параметри які з'являються під час експлуатацію будь то погодні умови чи аварійні режими роботи.

Звісно врахувати їх усі неможливо, але можна врахувати основні які найбільше впливатимуть на ефективність роботи а отже і на економічну вигідність того чи іншого асинхронного двигуна [10].

Асинхронні двигуни змінного струму.

Асинхронні двигуни поділяють на безколекторні (основний тип) та ті що мають щітко-колекторний механізм.

Асинхронні безколекторні двигуни випускаються у двох основних виконаннях: двигун який має короткозамкнений ротор, він ще носить назву біляча клітка, та фазний ротор, який містить у собі щітко колекторний механізм [11].

Незалежно від типу, будь-який двигун змінного струму складається з двох частин: нерухомої частини, називається статор, та рухомої частини, що обертається – ротор [11].

За числом фаз двигуни змінного струму бувають включені на три, дві та одну фазу.

Основні переваги асинхронного двигуна у порівнянні з іншими типами електричних двигунів є: простота та дешевина виготовлення, а також експлуатації, висока надійність роботи, досить високий ККД по сучасним стандартам.

Недоліками асинхронних двигунів є наступні речі: споживання індуктивного струму який не виконує роботи як такої. Неможливість плавного регулювання частоти обертання вала в широких межах, хоча слід зазначити, що з використанням сучасних засобів таких як частотни перетворювач ця проблема вже не є такою актуальною як і раніше, хоча такі засоби зазвичай коштують значну кількість грошей і не рідко дорожчі за сам двигун яким керують. Погані пускові характеристики у двигунів із короткозамкненим ротором, але цей недолік також компенсується сучасними методами пуску та регулювання частоти [11].

1.2 Показники ефективності

ККД

Будь який механізм та система характеризується ефективністю роботи. Однією з основних характеристикою що показує ефективність роботи є коефіцієнт корисної дії.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) — відношення виконаної роботи до загальних енергетичних затрат на її виконання [5]. Ця величина зазвичай

виражається у відсотках та має важливе значення у оцінці ефективності двигунів та механізмів.

Основне завдання електричного двигуна зводиться до перетворення електричної енергії в механічну. ККД визначає ефективність виконання цієї функції. Формула ККД електродвигуна виглядає наступним чином:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (1.1)$$

Де :

P_2 -корисна механічна потужність

P_1 - підведена електрична потужність.

Так виглядає розрахунок ККД електродвигуна. Електрична потужність визначається добутком струму на напруги . Механічна потужність визначається виконаною роботою механізму, будь то переміщення вантажу за допомогою стрічкового механізму чи підйом за допомогою крану за певний часовий проміжок.

Існують різноманітні фактори факт що впливають на ККД. Значна частина втрат йде на нагрівання двигуна та втрачається у самому провіднику, також відбуваються втрати у підшипникових механізмах або при терті щіток у двигунах постійного струму із щітко-колекторним механізмом.

На зменшення ефективності двигуна може впливати безліч факторів:

- 1)Механічне навантаження
- 2)Якість напруги живлення
- 3)Технічний стан
- 4)Умови навколишнього середовища
- 5)Якість технічного обслуговування

Та інші фактори які можуть зменшувати коефіцієнт корисної дії.

Коефіцієнт потужності

Наступним критерієм ефективності є коефіцієнт потужності який показує відношення активної потужності до повної. Оскільки двигун

складається з обмоток що генерують магнітні поля там відбуваються втрати на генерацію та підтримання електромагнітного поля , що призводить до втрат. Залежно від якості матеріалів та зазору між статором та ротором можна мінімізувати втрати на реактивну потужність, що в цілому вплине на енергоефективності двигуна.

Системи, що споживають змінний струм мають у своїй роботі індуктивну та ємнісну складову. Завдяки цьому кожні пів періода вони віддають у мережу якусь частину енергії.

Коефіцієнт потужності дорівнює відношенню потужності витрачену на безпосереднє виконання роботи до повної потужності яка була споживана з мережі. Активна потужність витрачається на безпосереднє здійснення роботи, наприклад підйом чи переміщення вантажу. Взагалі, повну потужність можна визначити як добуток чинних (середньоквадратичних) значень струму та напруги у колі. Як одиницю вимірювання повної потужності прийнято використовувати вольт-ампер (В•А) замість вата (Вт), це пов'язано із врахуванням не тільки корисної а й індуктивної потужності.

Коефіцієнт потужності з точки зору математики можна визначати як косинус кута між побудованими векторами струму та напруги. отже у випадку синусоїдальної мережі ця велечина показує різницю фаз між струмом та напругою.

В електроенергетиці та електромеханіці для позначення коефіцієнта потужності прийняті застосовувати $\cos \varphi$ (де φ означає зсув фаз між силою струму і напругою).

Коефіцієнт потужності рахується за наступною формулою

$$\cos f = \frac{P}{S} \quad (1.2)$$

де :

P – Корисна потужність

S – Повна потужність

Нелінійні спотворення струму

Несинусоїдність

Несинусоїдність — вид нелінійних спотворень напруги в електричній мережі, який пов'язаний з появою у складі напруги гармонік з частотами, що багаторазово перевищують основну частоту мережі. Вищі гармоніки напруги мають негативний вплив на роботу системи електропостачання, викликаючи додаткові активні втрати в трансформаторах, електричних машинах і мережах [5]. підвищену аварійність в кабельних мережах; зменшення коефіцієнта потужності за рахунок потужності спотворення, викликані протіканням струмів вищих гармонік; а також обмежене застосування батарей конденсаторів для компенсації реактивної потужності [5].

Джерелами вищих гармонік струму і напруги є електроспоживачі з нелінійними навантаженнями. Наприклад, потужні випрямлячі змінного струму, що застосовуються в металургійній промисловості і на залізничному транспорті, газорозрядні лампи та інше [5].

Температурний режим

Ще одним не менш важливим критерієм є температурний режим двигуна. При великому навантаженні чи частих запусках та зупинках у двигуні можуть протікати досить великі струми. При збільшенні температурного режиму від номінального може відбуватися перегрів обмотки двигуна, що призведе як до збільшення втрат у провіднику так і до зменшення часу експлуатації та життєздатності. В екстремальних випадках перегріву може відбуватися руйнування ізоляції та вихід машини з ладу.

При електромеханічному перетворенні енергії частина споживаної енергії завжди перетворюється у теплову. Різницю між споживаною електричною енергією та тією, що віддається у навколишнє середовище

називають втратами. Для зручності порівняння яка кількість енергії розсіюється у вигляді тепла її вимірюють у Вт або кВт.

Існує декілька видів втрат а саме:

- 1)Електричні
- 2)Магнітні
- 3)Вентеляційні
- 4)Додаткові.

Кожний вид втрат відбувається в певних елементах електричної машини. Електричні втрати відбуваються у провідниках та обмотці за рахунок опору цих матеріалів при проходженні електричного струму. Магнітні втрати відбуваються за рахунок вихрових потоків та так званого гістерезису. Механічні втрати відбуваються у різних елементів по типу підшипників чи інших елементів механізму, також спротив повітря. Вентеляційні втрати як такі не мають впливу на нагрівальний ефект електричного двигуна. Основна робота яку виконує вентилятор це обдув та переміщення повітряних мас навколо двигуна. Енергію такий вентилятор бере безпосередньо з самого двигуна кріплячись зазвичай на валу. Хоча можливі конструкційні варіанти незалежного вентиляювання двигуна. Додаткові втрати розуміють як втрати при холостому ході чи короткому замкненні.

Характер усіх вище перерахованих втрат і створюють нагрів електричного двигуна. Від кількості та частині кожного з виду втрат від загальних втрат залежить те як сильно нагріватиметься електричний двигун.

Особливістю електричних машин є тісне переплетення металевих та ізоляційних матеріалів які у свою чергу мають напрочуд різні теплові характеристики. В той час як метали можуть мати досить високі допустимі температури, в районі від 400 до 500 градусів за Цельсієм, без втрати своїх механічних властивостей. Ізоляційні ж матеріали мають значно нижчі

допустимі температури. Вони залежать в першу чергу від класу їх нагрівостійкості і коливаються в районі від 90 до 180 градусів за Цельсієм.

Також слід враховувати такий фактор як старіння ізоляційних матеріалів. З плином часу ізоляція погіршує свої характеристики, матеріал всихає, стає крихким та вразливим до механічного пошкодження, втрачає частину своїх ізоляційних властивостей. Цей процес називають старінням матеріалу. В першу чергу швидкість такого старіння буде залежати саме від температури ізоляції. Чим ця температура буде вища тим швидше матеріал буде старіти та погіршувати свої властивості та зменшуватиметься термін придатності цього матеріалу. Саме через цю причину клас нагрівостійкості електричної машини в першу чергу залежить від класу ізоляційних матеріалів.

Отже утримання температурного режиму в номінальних показник може бути не менш важливим як і інші показники його ефективності.

Для покращення охолодження можуть використовуватись як пасивні елементи у вигляді ребр тепловідводу так і активні у вигляді крильчатки що обдуватиме двигун повітрям для кращого тепловідведення.

Коефіцієнт навантаження

Четвертим показником енергоефективності є коефіцієнт навантаження двигуна. Він являє собою характеристику яка показує відношення навантаження на валу до номінального навантаження двигуна. При різному коефіцієнту навантаженості буде різний ККД двигуна. Якщо двигун недовантажений то ККД буде досить низьким, те ж саме може бути при перенавантаженні двигуна, що може призвести не тільки до неефективної роботи а і до зменшення довговічності електричної машини. При знаходженні оптимального навантаження на двигун можна досягти найвищого рівня ККД без перенавантаження та перегріву двигуна.

В більшості випадків оптимальне значення навантаженості буде в районі 80%. Однак в деяких двигунах це значення може відрізнятись.

1.3 Визначення ефективності в різних режимах роботи

У більшості випадків електричні двигуни керують різними виробничими механізмами котрі працюють з різною періодичність та навантаженням.

Нагрів конкретного електричного двигуна залежить від режиму його роботи (рисунок 1.1). Інакшими слова від співвідношення періодів роботи машини та пауз, від періодів з повним та частковим навантаження, від кількості включень та вимкнення за певний час.

Основними режимами які зустрічаються є :

1) Тривалий режим роботи – він характеризується довгим робочим періодом за який нагрів двигуна досягає свого стабільного стану [2].

2) Короткочасний режим роботи – він характеризується тим, що протягом робочого періоду нагрівання електродвигуна не досягає стабільного стану, а перерва в роботі настільки великий, що при відновленні її температура двигуна близька до температури навколишнього середовища [2].

3) Повторно-короткочасний режим роботи – характеризується тим що, за період роботи двигун не встигає повністю нагрітися, а за період зупинки - повністю охолонути [2].

4) Повторно-короткочасний режим роботи з впливом пускових процесів - послідовність однакових періодів роботи кожний з яких має достатньо тривалий час пуску який впливає на нагрівання самого двигуна, час роботи за статичного навантаження за який машина не встигає нагрітися до номінального показника температури, та час без роботи за який електричний двигун не встигає охолоджуватися до температури навколишнього середовища [2].

5) Повторно-короткочасний режим роботи з впливом пускових процесів та електричним гальмуванням - послідовність однакових періодів

роботи, у кожному з яких за час пуску, а також роботи з певним навантаженням електрична машина не досягає своєї усталеної температури, час швидкого електричного гальмування та час бездіяльності за який електричний двигун не встигає охолоджуватися до температури навколишнього середовища [2].

6) Режим роботи, що змінюється, - послідовність однакових періодів роботи, кожен з яких має як час роботи з постійним навантаженням так і час роботи на холостому ході, причому електрична машина не досягає своєї усталеної температури [2].

7) Переміжний режим із впливом пускових процесів та електричним гальмуванням - послідовність однакових періодів роботи, у якому присутні досить тривалий пуск, робота при певному навантаженні та швидке електричне гальмування, такий режим не має пауз у роботі [2].

8) Режим, що перемежовується, з частотою обертання, що періодично змінюється, - послідовність однакових періодів роботи, кожен з яких включає час роботи при незмінному навантаженні та незмінною частотою обертання, після чого слідує один або декілька періодів за інших статичних навантажень, кожному з яких відповідає своя швидкість обертання. Режим не містить пауз [2].

Як бачимо основною характеристикою режиму роботи двигуна є його температурний режим який являє собою також і один із критеріїв ефективності роботи електричного двигуна.

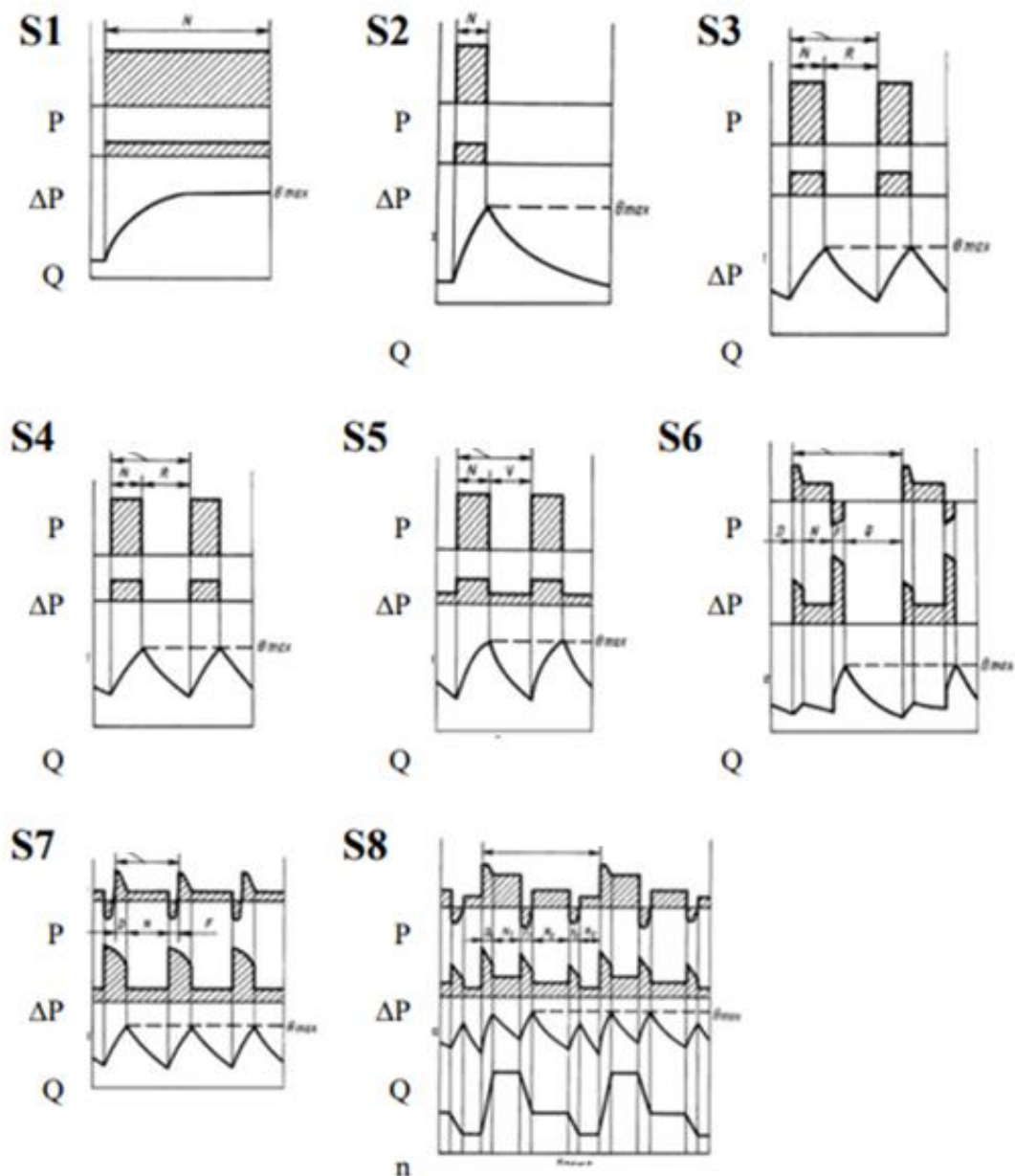


Рисунок.1.1 – Режимы работы электрического двигателя

При тривалому або короткочасному режимах роботи не виникає проблем з порівнянням ефективності того чи іншого двигуна. А ось при повторно-короткочасному режимі роботи потрібно визначати більш детально який двигун має більшу ефективність роботи. Для цього пропонується використовувати порівняння середніх показників вище описаних критеріїв де пріоритет буде віддаватися температурному режиму роботи, коефіцієнту корисної дії, коефіцієнту навантаження та коефіцієнту потужності двигуна. Більшість із цих характеристик взаємопов'язана але

якщо двигуни будуть ідентичними по деяким з них то можна зважати і на інші параметри ефективності. Для оцінення кожного з критеріїв пропонується використання наступної формули.

$$E = \frac{N_1 \cdot t_1 + N_2 \cdot t_2 + \dots + N_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (1.3)$$

де:

E – середнє значення з урахуванням часового проміжку

N – числове значення характеристики

t – час за який вимірюється усталене значення характеристики.

Оскільки розглядаються статичні показники двигуна, то такі параметри як ККД, коефіцієнт навантаження, коефіцієнт потужності будуть мати ступінчасту характеристику і розглядатимуться на кожному конкретному проміжку часу де їх характеристику можна розглядати як усталену і незмінну.

Температурний показник має нелінійну аналогову характеристику і змінюється у кожний конкретний момент часу. Для її заміру пропонується визначати температуру двигуна у кожний конкретний момент часу та знаходити середню температуру двигуна за цикл роботи. Окрім середньої температури слід також враховувати і максимальне значення якого досягає двигун за цикл роботи механізму який він приводить у рух. Це значення не повинно перевищувати допустимі норми.

1.3 Визначення ефективності в певному режимі роботи

Визначення параметрів струму підведеного до двигуна

Для визначення потужності підведеної до двигуна пропонується використовувати аналізатор мережі. Він показуватиме активну, реактивну та повну потужності а також такі параметри мережі як сила струму та напруга. Завдяки цим даним можна порахувати коефіцієнт потужності двигуна та порівняти отриманні данні з номінальними характеристиками або іншим двигуном. Для цього використовується наступна формула

$$\cos f = \frac{P}{U \cdot I} \quad (1.4)$$

При порівнянні декількох двигунів перевага надається тому у якого коефіцієнт потужності виявиться більшим і буде якомога ближче до 1.

Визначення параметрів температури

Пропонується використовувати температурний датчик який буде монтуватися як найближче до обмотки статора та передаватиме данні про температуру в реальному часі.

На цей параметр впливає багато факторів такі як : навколишнє середовище , аварійні режими роботи , кількість запусків та час охолодження двигуна , навантаження. Перевагу слід надавати тим двигунам які будуть на протязі усього циклу роботи матимуть найнижчу температуру. Перегрів двигуна ні в якому разі недопустимий у зв'язку із значним скороченням його терміну експлуатації.

Для визначення коефіцієнта потужності та навантаження

Для визначення коефіцієнта потужності та навантаження потрібно дізнатися або корисну потужність яку видає двигун , або навантаження на валу.

Пропонується кілька підходів для отримання даних які нас цікавлять

1) Вимір сировини

Для отримання корисної потужності на специфічних виробництвах та лініях пропонується визначати кількість сировини чи продукції яку переміщує двигун.

Для прикладу можна взяти підйомний механізм як ліфт чи лебідка які переміщують вантаж до гори та вниз. Встановивши ваги та знаючи висоту переміщення і час за який виконалась робота можна порахувати корисну потужність. У цьому варіанті слід враховувати різні проміжні механізми як от редуктора чи блоки, для врахування їх ККД. Для інших виробництв та механізмів таких як стрічковий конвеєр чи насос для качання води пропонується використовувати стрічкові ваги чи датчик

кількості рідини. Такі варіанти вважаються найбільш оптимальними оскільки забезпечують найбільшу точність та показують реальну корисну потужність яка йде на виконання роботи. До недоліків можна віднести те що потрібно враховувати проміжні механізми у яких відбуваються втрати на тертя чи інше. Такі втрати призводять до того що рахується не ККД двигуна а ККД двигуна плюс механізм, що може не до кінця об'єктивно показувати ефективність робочої машини.

Переваги:

1. Визначається ККД усієї системи
2. Простота виміру
3. Дешевизна
4. Достатньо висока точність виміру

Недоліки

1. Використання лише в специфічних механізмах
2. Потрібно враховувати проміжні ланки від двигуна до

механізму

Використання тензодатчика

Один з найбільш перспективних і поширених методів виміру крутного моменту через пружні деформації валу базується на використанні тензометричного моста. Основною проблемою при використанні тензометрів є надійність передача отримуваної інформації з обертового валу для можливості її подальшої обробки мікропроцесором. Для реалізації такої функції довгий час було прийнято використовувати індукційні, контактні та світлотехнічні, а також інші пристрої. Сучасні досягнення інтегральної електротехніки дозволяють максимально спростити передачу інформації і в той же час підвищити точність і надійність передачі та обробки даних за допомогою цифрових технологій. Дистанційна безконтактна та бездротова передача інформації з обертового валу електричного двигуна стала на сьогодні одним із основних напрямків вирішення даної проблеми. Один із основних варіантів пристрою, що

використовує в своїй основі тензометричні елементи та цифровий радіоканал, проілюстровано на рисунку 1.2. Бездротова передача сигналу з тензометричного датчику реалізована також практично у всіх промислових системах виміру крутного моменту [4].

Використання тензометричних датчиків для вимірювання пружних деформацій валу двигуна дозволяє отримати досить точні показники. В комплексі з успіхами та досягненнями в сучасній електроніці та мікропроцесорній техніці це дозволяє нам налагодити випуск високотехнологічних пристроїв, що забезпечать як високу точність вимірювання моменту у класі 0,1 так і швидкодію. Але ці системи вимірювання мають відносно високу ціну, яка іноді навіть може перевищувати вартість самої електричної машини. У той же час сучасний стан розвитку електроніки дозволяє конструювати системи виміру, що здатні конкурувати з промисловими аналогами при значному зменшенні їх вартості [4].

1.4 Практична реалізація пристроїв визначення параметрів двигуна

Сучасні засоби передачі інформації з обертового валу машини за допомогою технології Bluetooth дозволяють отримувати інформацію максимально зручно та просто [4].



Рисунок 1.2 . Загальний вид мікроконтролера на базі модулів Arduino

Для отримання цифрових даних використовувався 24-бітний АЦП, зібраний на мікросхемі НХ711. Ця мікросхема має у собі підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення, а також сігма-дельта АЦП. Вона була спеціально розроблена для застосування із тензOMETричними датчиками. У складі мікросхеми також присутній регулятор напруги для живлення тензодатчиків і два диференціальних канали що дозволяють підключення одночасно двох датчиків [4].

Використаний у розробленому пристрої модуль Bluetooth HC-06 представляє собою функціонально завершений пристрій, який можна встановити на одній платі із мікроконтролером. Модуль Bluetooth дозволяє підключати такі модулі як Arduino до телефонів, PDA, планшетів, , ноутбуків. смартфонів і будь-яких інших пристроїв, які мають функцію Bluetooth, що має можливість працювати у режимі master. Він надає змогу передавати дані на контролер через стандартний інтерфейс RS-232. Радіус його дії до 10 м, при прямій видимості можливий радіус складе до 30 м. Протокол зв'язку Bluetooth Specification v2.0+EDR, хост інтерфейс UART. Під час зв'язку споживається струм становить близько 30-40 мА, в можливому режимі очікування за для економії – 8 мА [4].

У якості керуючого процесора використаний мікроконтролер ATmega328 на основі Arduino IDE/ Для градуювання пристрою необхідно

штучно створити заздалегідь відомі значення деформації, а на виході фіксувати реакцію такої системи. Тарування надає змогу визначити чутливість тензометричної системи до вимірюваної величини та виконати перевірки роботи системи у всьому діапазоні її зміни, зокрема перевірити лінійність вимірювальної системи [4]. Таке механічне градування проводиться експериментальними методами, воно затратне по часу та досить трудомістке [4].

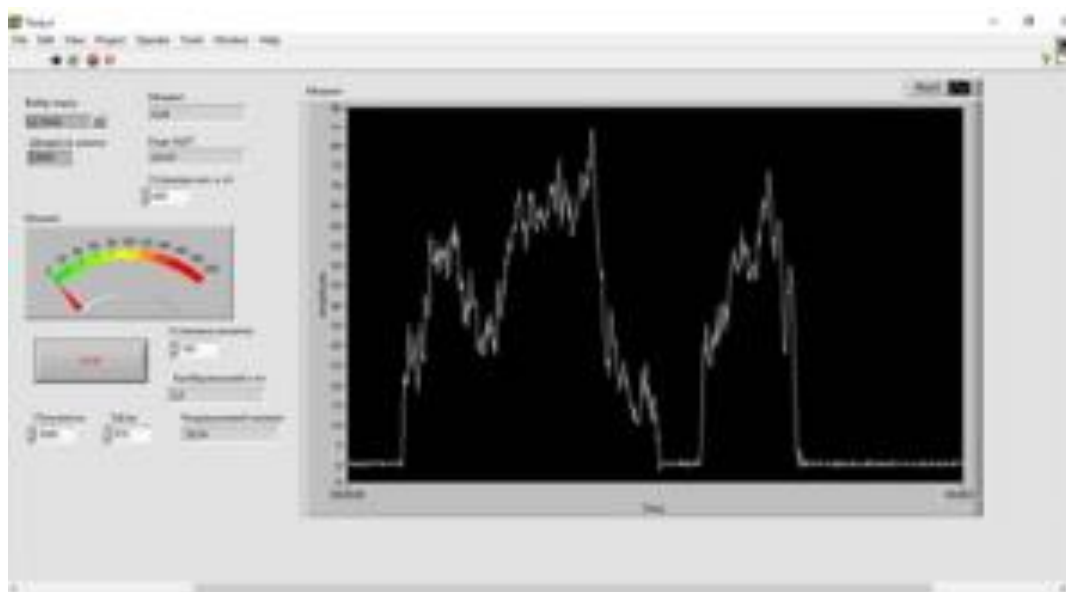


Рисунок 1.3 Загальний вигляд віртуального приладу для відображення сигналу

Для подальшої роботи з кодами АЦП була використана система LabVIEW – середовища розробки та платформи для виконання програм, що базується на графічній мові програмування «G» фірми National Instruments [4].

Універсальне та гнучке програмне забезпечення LabVIEW дозволяє інтегруватись з іншими текстовими та математичними процесорами, такими як Excel, Mathcad, MATLAB та ін. За допомогою готових програмних блок-діаграм розроблено просту програму, яка повторює роботу програми Termit та може фіксувати значення АЦП, отримані по каналу Bluetooth [4].

Переваги:

1. Визначення навантаження у складних режимах роботи
2. Універсальність
3. Дистанційне отримання інформації

Недоліки:

1. Дороговизна
- 3) Використання навантажувального генератора

Обертальний момент на валу двигуна дорівнює наступному рівнянню: вхідний момент генератора постійного струму, що складається з моменту втрат M_0 та електромагнітного моменту:

$$M_r = M_o + M_{em} = \frac{P_o}{\omega} + \frac{P_{em}}{\omega} \quad (1.4)$$

де P_0 та P_{em} – втрати потужності та електромагнітна потужність відповідно;

ω – кутова частота обертання.

Рівняння напруг генератора має вигляд:

$$U = U_n + \Delta U_a \quad (1.5)$$

де E – електрорушійна сила генератора; U_n – спад напруги на опорі навантаження;

Залежність $\Delta U_a = f(I_a)$ не є ідеальною лінійною залежністю через вплив нестабільного опору на щітковоколекторному механізмі.

Потужність на валу двигуна P_2 визначається непрямим способом через електричну потужність, яка генерується у внутрішньому та зовнішньому колі якоря генератора, через магнітні втрати в активному залізі ротора та механічні у тому числі і через аеродинамічні втрати [5].

Електрична потужність, яку розвиває генератор P_{el} , дорівнює електромагнітній і визначається як

$$P_{el} = E \cdot I_a = (U_n + \Delta U_a(I_a)) \cdot I_a \quad (1.6)$$

Величини U_n та I_a визначаються безпосереднім вимірюванням, а для визначення $\Delta U_a = f(I_a)$ належить здійснити окреме вимірювання спаду

напруги у внутрішньому електричному колі при умові вимкненого струму збудження та при нерухомому роторі генератора. Особливістю такого підходу є те, що електрорушійна сила, яка утворюється в самому генераторі, залежить лише від таких показників як потокозбудження Φ та частота обертання ротора [5].

$$E = c_e \cdot \Phi \cdot n \quad (1.7)$$

Такий підхід усуває проблематику зменшення потокозбудження Φ внаслідок впливу наступної реакції якоря при сталому струмові збудження, тобто $izb = \text{const}$.

Перед експериментальним визначенням залежності $\Delta U_a = f(I_a)$ належить нагріти внутрішнє коло двигун номінальним струмом до усталеної температури.

Для визначення магнітних та механічних втрат потужності в навантажувальному генераторі перед його з'єднанням з досліджуваним електричним двигуном проводять наступний дослід – дослід його неробочого ходу. Суть такого дослідження полягає у визначенні магнітних та механічних втрат. Оскільки прикладена до двигуна напруга є наступною: [5].

$$U = E + \Delta U_a \quad (1.8)$$

то споживана при цьому потужність визначається за формулою:

$$U \cdot I_o = E \cdot I_o + \Delta U_a \cdot I_o \quad (1.9)$$

Ця потужність є не що інше як втрати електричні та механічні плюс магнітні. Тому для розрахунку останніх необхідно знати ЕРС E і струм холостого ходу I_0 для різних швидкостей обертання ротора. Це досягається шляхом зміни напруги живлення U при підтримці того самого струму збудження, $izb = \text{const}$, який підтримується таким же чином, як коли досліджуваний генератор і двигун працюють разом у режимі навантаження. Згідно з визначенням $\Delta U_a = f(I_a)$, дослід необхідно проводити відразу, не чекаючи охолодження генератора. [5].

Вираз для визначення електричної, механічної та магнітної потужностей буде наступним:

$$P_{el} = E \cdot I_a + E \cdot I_o(n) = E \cdot (I_a + I_o(n)) = (U_n + \Delta U_a(I_a)) \cdot (I_a + I_o(n)) \quad (1.10)$$

Без стабілізації магнітного потоку $\Delta P_{дод}$ буде виведено остаточну формулу для оцінки потужності на валу досліджуваного двигуна P_2 з урахуванням додаткових втрат у генераторі навантаження, що становить:

$$\Delta P_{дод} = 0.01 P_n \left(\frac{I_a}{I_n} \right)^2 \quad (1.11)$$

де P_n , I_n – номінальні потужність та струм генератора. Остаточний вираз для обчислення потужності на валу досліджуваного двигуна

$$P_2 = (U_n + \Delta U_a(I_a)) \cdot (I_a + I_o(n)) + 0.01 P_n \left(\frac{I_a}{I_n} \right)^2 \quad (1.12)$$

У випадку дослідження асинхронного двигуна стандарт визначає потужність P_2 на валу як аргумент схеми з'єднання обмотки статора (Δ/Y), кількість пар полюсів (p) і робочі характеристики при живленні [5].

Вимірювальні прилади вимірюють потужність P_1 і струм I безпосередньо, а тахогенератор або визначають безпосередньо частоту обертання [5].

Навантажуючи зібране обладнання, яке складається з асинхронного двигуна, генератора постійного струму і тахогенератора, можна з'ясувати механічні властивості двигуна. Потім крутний момент можна розрахувати за формулою [5.]

$$M_o = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_2}{n} \quad (1.13)$$

Даний метод базується на підключенні до валу двигуна навантажувального генератора постійного струму та виміру його характеристик для визначення корисної потужності двигуна. Запропонований метод дозволяє визначити потужність на валу двигуна, а отж і обертовий момент за допомогою некаліброваного навантажувального генератора постійного струму з відсутньою стабілізацією магнітного потоку. Він ґрунтується на принципі непрямого визначення

електрорушійної сили, що є пропорційною магнітному потоку, завдяки чому відпадає необхідність його стабілізації завдяки цьому відбувається здешевлення та підвищується точність такого випробування [5].

Даний метод має свої недоліки:

Виміряти корисну потужність можна лише в лабораторних умовах не знімаючи характеристику двигуна безпосередньо під час роботи в звичайних умовах. Доцільно використовувати його лише в тих механізмах які мають тривалий чи короткочасний режими роботи[5].

Для зчитування та обробки параметрів пропонується використання програмованого логічного контролера , що забезпечить зчитування, обробку та зберігання даних для подальшого порівняння та визначення більш енергоефективного двигуна під конкретні задачі.

Переваги:

1. Дешевизна
2. Точність

Недоліки

1. Лише для режиму роботи S1
2. В лабораторних умовах

1.4 Вплив різноманітних факторів на ефективність

Під експлуатацією електричної машини розуміють сукупність таких робіт як:

- 1) підготовчі роботи
- 2) експлуатація за призначенням
- 3) технічне обслуговування
- 4) зберігання та транспортування

Основні задачі експлуатації – досягти безперебійної, надійної та якісної роботи електричного приводу, що забезпечить як умога кращі техніко-економічні показники. Важливою вимогою експлуатації є

підтримання робочої машини в справному технічному стані на протязі усього часу її роботи, а також забезпечення її економічності. Для забезпечення усіх цих умов необхідно проводити планові технічні огляди та здійснення ремонтних чи інших профілактичних робіт за для забезпечення надійного функціонування електричного двигуна та попередження виходу машини з ладу.

При експлуатації технічний стан машини погіршується в зв'язку з стиранням, зносом технічних деталей, відкручуванням кріплень через вібрації, втомленість матеріалів та ряду інших причин. Усі ці фактори можуть призвести до виведення з ладу електричного двигуна чи спрацюванню захисту. Планові перевірки та проведення ремонтних та профілактичних робіт можуть як попередити наслідки так і прибрати причини виникнення можливих несправностей. Отже важливим показником електричного двигуна є його надійність при експлуатації. Зазвичай показниками надійності виступають такі речі як ймовірність невідмовної роботи чи експлуатаційний термін.

Основні визначення

Аварія – порушення нормального режиму роботи об'єкту в результаті миттєвої відмови, що викликає несправність. В результаті аварії з'являється необхідність у проведенні ремонтних робіт по усуненню виникненої несправності.

Гарантійний термін – період під час якого виробник чи інша установа гарантує безкоштовний ремонт у разі виникнення несправності обладнання.

Довговічність – властивість об'єкту чи механізму зберігати свою функціональність на час після якого з'являється необхідність у проведенні ремонтних робіт.

Ремонтпридатність - якість об'єкту чи механізму яка характеризує його пристосованість до проведення ремонтних робіт.

Ремонт – комплекс робіт метою яких є відновлення роботоздатності об'єкту шляхом заміни його пошкоджених деталей та елементів.

Існує безліч факторів які впливають на ефективність електричного приводного двигуна. Більшість з цих факторів є технологічними і залежать від технологічного процесу . якості обслуговування та вчасній заміні пошкоджених елементів двигуна.

Деградація обладнання

З часом при довгій експлуатації електричних двигунів відбувається деградація металу та ізоляції електричної машини що в свою чергу призводить до погіршення параметрів двигуна, а отже і впливає на його ефективність. Цей процес відбувається поступово та повільно з часом експлуатації. Однак при використанні двигуна у непередбачених йому режимах, з перевантаженням, при неякісному обслуговуванні, деградація тих чи інших елементів машини може значно пришвидшуватись або взагалі виводити електричний двигун з ладу. Слід розуміти, що електрична машина старіє та деградує не рівномірно, в той час як елементи корпусу, ребра жорсткості та інші статичні елементи можуть виконувати свої функції десятиліттями, існують також і елементи підвищеного ризику. Такі елементи як ізоляційна обмотка, підшипники на валу, вал двигуна, а також система керування або додаткові електричні елементи можуть деградувати значно швидше. Особливо це стосується великих підприємств де приводний двигун може працювати цілодобово та безперервно ускладнюючи цим його безпосередню перевірку, чистку та проведенню якісного обслуговування до моменту критичних пошкоджень та виходу такої машини з ладу.

Тому за допомогою встановлення відповідних датчиків та контролерів оператор який слідкує за технологічним процесом зможе на основі отриманих даних, в тому числі і загальному коефіцієнту ефективності, попередити подальше пошкодження обладнання та провести вчасну технічну перевірку проблемного електричного приводу.

Навколишнє середовище

Не менш важливим фактором який впливатиме на ефективність та частоту обслуговування двигуна це навколишні умови в яких він здійснює свою роботу. До ускладнюючих факторів можна віднести знаходження двигуна на відкритому повітрі де на нього можуть впливати погодні умови такі як дощ, сніг, ранкова роса, спекотне сонце і тд. Усі ці погодні умови пришвидшуватимуть деградацію матеріалів двигуна, спричинятимуть корозію, збільшуватимуть вміст вологи у деталях двигуна що може призвести до погіршення параметрів та пришвидшенню старіння. Також до такого фактору можна віднести приміщення з поганою вентиляцією та великою кількістю забруднюючих матеріалів. Якщо з тих чи інших причин приміщення має великий вміст пилу, сипучих матеріалів та інших речей які можуть проникнути у деталі двигуна та погіршити його роботу то цей фактор також слід враховувати. Звісно сучасні двигуна мають різні ступені у тому числі захист від вологи та пилу, однак це не завжди забезпечує їх від проникнення небажаних частинок як у сам двигун так і осідання усього цього на поверхні. Банальне потрапляння пилу на поверхність двигуна, ребра жорсткості, вентиляційну решітку та лопасті вентилятоа значно погіршує його охолодження. При погіршенні температурного режимі однозначно погіршується і ефективність двигуна, а отже прискорюється деградація усіх інших матеріалів, провідників у самому двигуні.

Якість мережі

У вітчизняній енергетиці проблема викривлень електричної мережі споживачами досить специфічна. За кордоном такі споживачі підєднуються та мають певні вимоги по спотворенню мережі. При цьому сумарна потужність нелінійного навантаження, яке вводиться, не повинна перевищувати від 3 до 5% від потужності всього навантаження енергокомпанії. У нашій же країні такі споживачі підключають доволі хаотично. Це викликає певні занепокоїння якістю та спотвореннями

мережі. Широка розповсюдженість різноманітних пристроїв, що мають у своїй основі силову електроніку призводить до значних спотворень та природи струму [7].

Такі відхилення як наприклад відхилення по напрузі значно впливає на механічні характеристики електричних двигунів рисунок 1.4 [7].

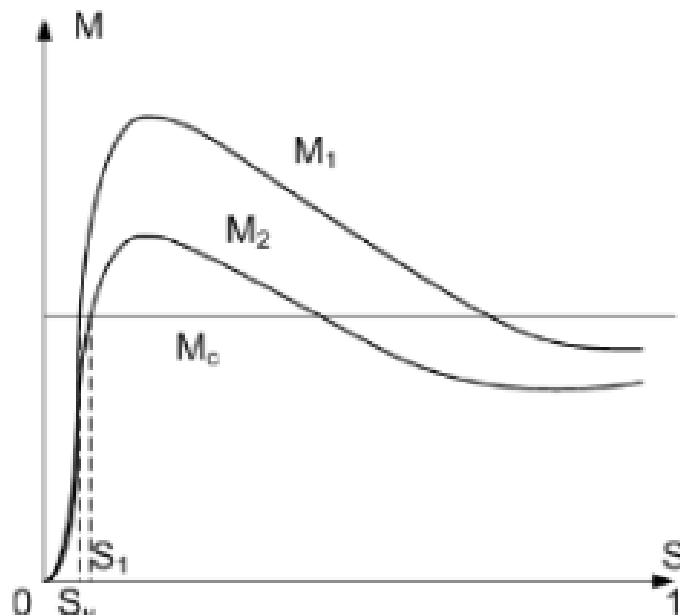


Рисунок 1.4 Механічна характеристика двигуна при номінальній (M_1) і зниженій (M_2) напругах

З достатньою точністю можна вважати, що обертовий момент двигуна пропорційний квадрату напруги на його затискачах. При зниженні напруги відбувається зниження обертового моменту а також зростає параметр ковзання двигуна, що призводить до погіршення характеристик [7].

Зниження напруги погіршує і умови пуску двигуна, це відбувається за рахунок зменшення пускового моменту. Це серйозно впливає на довговічність електричної машини та призводить до прискореного зносу ізоляції та значно зменшує термін служби.[7]

Тому з точки зору нагріву двигуна більш небезпечні в межах, що розглядаються, негативні відхилення напруги [7].

Умови нормальної роботи електродвигунів можуть порушуватися великими коливаннями напруги (більше 15%). Також можливо, що

контакти магнітних пускачів можуть відірватися, що призведе до відключення двигунів, які зараз працюють. Перетворювачі клапанів і батареї конденсаторів можуть вийти з ладу в результаті коливань напруги від 10% до 15% [7].

Несиметрія напруги викликається найчастіше наявністю несиметричного навантаження. Несиметричні струми навантаження, що протікають по елементах системи електропостачання, викликають в них несиметричні падіння напруги. Якісно відрізняється дія несиметричного режиму в порівнянні з симетричним для таких поширених трифазних електроприймачів, як асинхронні двигуни. Так, термін служби повністю завантаженого асинхронного двигуна, що працює при несиметрії напруги 4%, скорочується в 2 рази. При несиметрії напруги 5% наявна потужність двигуна зменшується на 5 -10% [7].

Жорсткі вимоги стандарту напруги живлення та частоти зумовлені великим впливом їх на характеристики та надійність електричного обладнання у тому числі і двигуна. Дослідженням з відхилення по частоті на 1 відсоток збільшує втрати на 2 відсотки і це ще мова не йде про зниження довговічності та строку служби такого двигуна [7].

Таким чином, якість електроенергії істотно впливає на надійність електропостачання, оскільки аварійність в мережах з низькою якістю значно вище, ніж в разі, коли показники якості електроенергії знаходяться в допустимих межах [7].

1.5 Висновки до розділу.

Було перелічено основні технічні параметри асинхронного приводного двигуна які впливають на його загальну ефективність в технологічному процесі. Методи їх виміру з урахування особливостей технологічного процесу та режимів роботи. Були перераховані переваги та недоліки різних підходів до виміру та їх доцільність з урахуванням технологічного процесу. А також вплив усіх цих параметрів на надійність та стабільність роботи.

2 КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА ЗА ПЕВНИЙ ЧАСОВИЙ ІНТЕРВАЛ

2.1 Загальні підхід до розрахунку показника ефективності роботи двигуна

Для оцінки ефективності роботи двигуна за певний часовий інтервал потрібно розбити кожний етап роботи двигуна на окремі статичні відрізки. Проаналізувавши окремі відрізки та розглянувши їх як статичний режим роботи, можна визначити ефективність двигуна в цей проміжок часу. Аналогічно потрібно проаналізувати та визначити ефективність роботи на усіх інших проміжках які нас цікавлять.

Для таких показників як ККД, коефіцієнти потужності та навантаженості визначається середнє значення з усіх проміжків роботи двигуна зважаючи на час роботи. Його можна виразити наступною формулою.

$$E = \frac{N_1 \cdot t_1 + N_2 \cdot t_2 + \dots + N_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (2.1)$$

Де:

E – середнє значення з урахуванням часового проміжку

N – числове значення характеристики

t – час за який вимірюється усталене значення характеристики.

Отримавши результати усіх відповідних характеристик ми можемо порівняти їх з такими ж характеристиками інших двигунів.

Такий параметр як температура визначається кожної миті, або наприклад раз у секунду, та визначається середній показник який і показуватиме ефективність охолодження двигуна.

Завдяки характеристикам асинхронного двигуна можна визначити оптимальні значення показників для його роботи, а порахувавши

відхилення дійсних значень з оптимальними можна дійти висновку наскільки двигун ефективний.

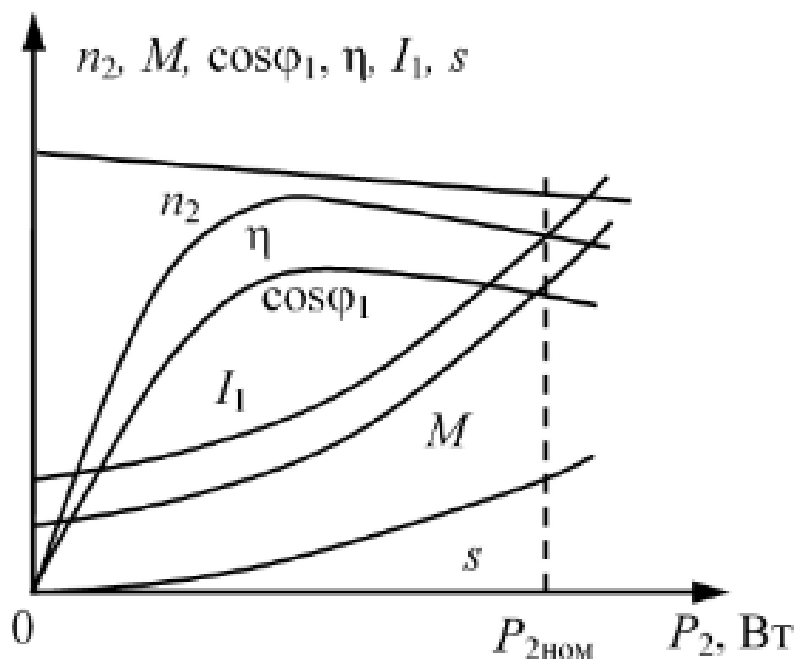


Рисунок 2.1 Робочі характеристики трифазного асинхронного двигуна

На рисунку ми бачимо робочі характеристики трифазного АД. Можна бачити що максимальна ефективність двигуна досягається не при номінальній потужності а дещо нижчій. При коефіцієнті навантаженості близькому до 0.8 досягаються оптимальні параметри які забезпечують як високий ККД так і не дозволять двигуну перегріватися. Потрібно додати що при такому рівні навантаженості забезпечується можливість двигуна короткочасно працювати не в штатних режимах, що позитивно впливає на його довговічність та надійність.

Слід також враховувати не тільки середні значення а і їх відхилення від оптимальних параметрів.

Для комплексного підходу до оцінювання ефективності потрібно аналізувати усі вище написані критерії. Проаналізуємо найбільш ефективні значення кожного із показників.

ККД

Чим ближчий цей показник до 100% тим ефективніше працює наш двигун. По сьогоднішнім стандартам клас ефективності електричного двигуна визначається за його показником ККД. Існує 4 класи які показують ефективність двигуна від меншого показника до більшого та маркуються наступним чином ІЕ1-ІЕ4. Саме за рахунок зменшення втрат в двигуні а отже і підвищенню енергоефективності зростає показник ККД.

Загальна втрата електроенергії складається з двох частин: номінальних втрат, такі втрати що визначаються умовами роботи при номінальних режимах і оптимальній системі параметрів електропостачання, і додаткових втрат, обумовлених відхиленням режимів роботи та параметрів від номінальних значень. Економія електроенергії в системі базується на мінімізації кожного виду втрат як умога більше.

Вибір заходу ефективного використання електричної енергії базується на одночсній мінімізації втрат, а також підвищенню часу служби та надійності такого пристрою.

За рахунок менших втрат формується клас енергоефективності двигуна.

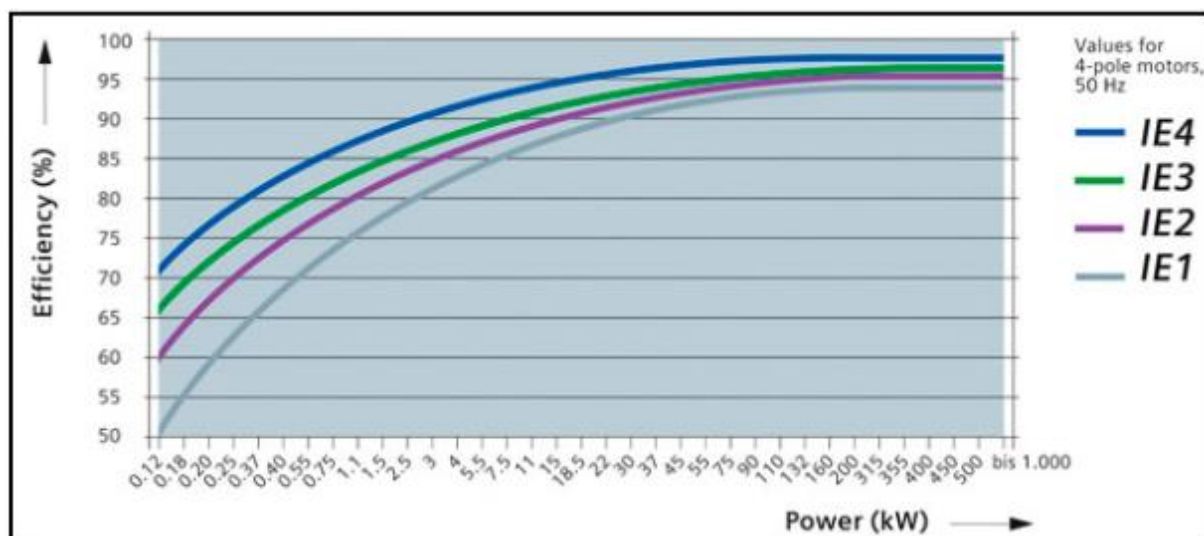


Рисунок 2.2 Залежність ефективності від потужності

Однак ККД не може в повній мірі забезпечити об'єктивну оцінку енергоефективності. Існують також супутні фактори які потрібно враховувати.

Коефіцієнт навантаження

Не завжди при номінальному навантаженні двигун має максимально ефективність. Як показують дослідження якщо двигун в малій мірі недовантажений то його характеристика ефективності вища а ніж у повністю завантаженого двигуна. Слід також зауважити що при роботі в режимі S3 недовантажений двигун матиме перевагу в надійності над двигуном який частину циклу працює перевантаженим а частину циклу з номінальним навантаженням. Отже покращатся його перевантажувальні характеристики. Слід досягнути таких параметрів коефіцієнта навантаження що б на протязі усього циклу роботи його навантаження на валу не перевищувало номінальних показників а в режимах недовантаження він працював як з умога більшим коефіцієнтом навантаженості , що забезпечить як надійність роботи двигуна так і його ефективність на протязі усього циклу роботи.

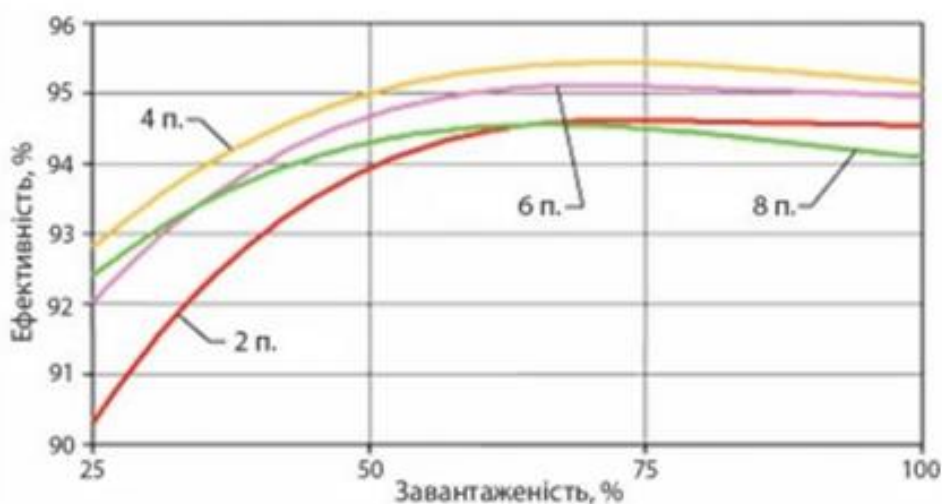


Рисунок 2.3 Ефективність електродвигуна в залежності від завантаженості

У порівнянні з номінальним режимом ККД двигуна істотно змінюється в залежності від прикладеного до нього відносного

навантаження (див. рис. 2.3). Емпіричні дослідження показують, що більшість АД зберігають лінійну ефективність до 50% зниження навантаження, а в деяких варіаціях ця ефективність досягає піку на 75%. Вони не можуть працювати при навантаженні нижче 20% від номінального і можуть працювати лише протягом коротких періодів часу при навантаженні нижче 50%. Отже, під час роботи АД визначення справжнього впливу відносного навантаження на двигун є вирішальним.

З даного графіка ми бачимо що задля забезпечення як перевантажувальної здатності так і ефективності роботи слід підбирати такий двигун що в середньому за один цикл роботи з урахування часових проміжків кожного окремого етапу буде в середньому мати коефіцієнт завантаженості близький до 75%.

Температурний режим

Двигун в процесі своєї роботи має значні втрати основні з яких йдуть на нагрівання обмоток двигуна. Залежно від втрат, розмірів двигуна, режиму роботи, перевантаження та навколишнього середовища двигун може нагріватися до різних температур. Показник температури не повинен перевищувати допустимих значень адже це значно зменшує термін експлуатації такого двигуна. Вважається що кожне перевищення номінальної температури скорочує термін роботи у двічі. Виходячи з цього критично важливо забезпечити виконання технологічного процесу без перегріву електричної машини. Для цього зазвичай використовують такі засоби як решітки тепловідводу та крильчатка що обдуває електричний двигун.

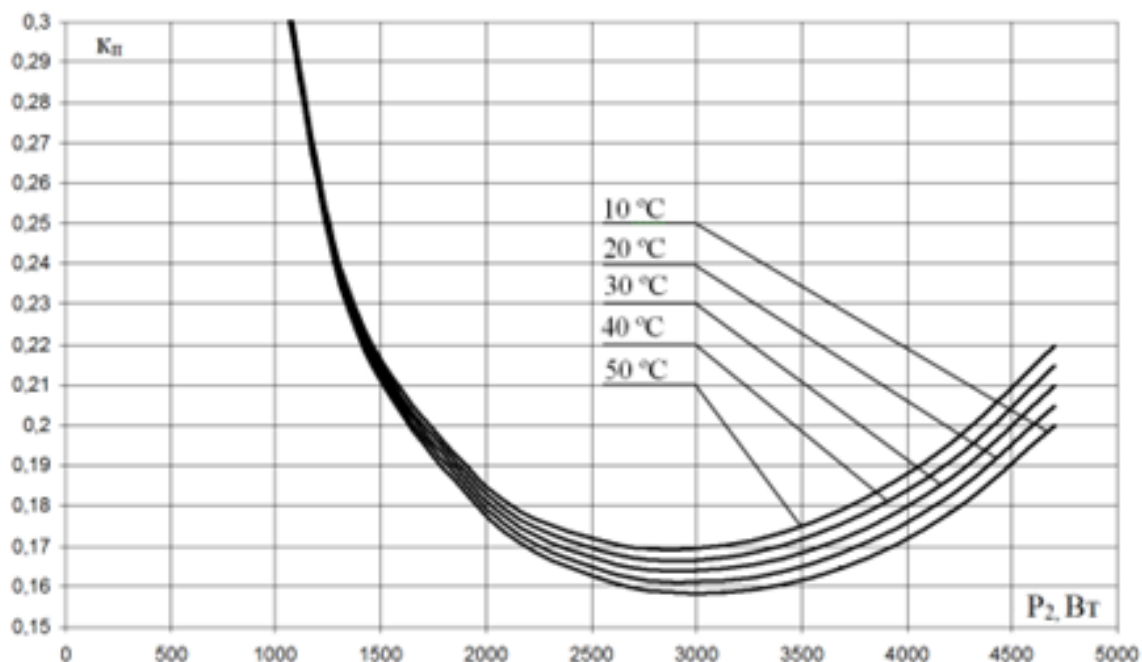


Рисунок 2.4 Зміна коефіцієнту втрат при зміні температури середовища.

На зображенні ми можемо побачити як змінюються коефіцієнт втрат при зміні навколишнього середовища. Слід зауважити що при збільшенні температури навколишнього середовища збільшуватиметься і швидкість нагрівання двигуна до певних температурних меж.

Для визначення ефективності роботи електроприводу потрібно заміряти температурний режим двигуна на протязі усього циклу роботи та побудувати графік. Проаналізувавши дані можна визначити наскільки ефективно працює двигун, чи перевантажується він у процесі роботи, ефективність охолодження і тд.

Для визначення який двигун більш ефективніший пропонується використовувати середнє та пікове температурні значення за цикл роботи. Середнє значення вказуватиме у якого двигуна кращий тепловідвід а отже і нижча температура роботи за весь час. Пікове значення температури покажуть чи не виходить двигун за межі номінальних температурних значень котрі негативно впливають на термін експлуатації.

Коефіцієнт потужності

Ця характеристика показує наскільки ефективно електричний двигун перетворює електричну енергію у механічну. Його визначення дозволяє оцінити характер роботи двигуна, зрозуміти яке навантаження на валу та які втрати відбуваються в обмотках при роботі. Це узагальнена характеристика яка доповнює усі інші у виборі більш ефективного двигуна для конкретного технологічного процесу. Цю характеристику слід використовувати у тих ситуаціях коли отримати значення ККД є важко здійсненим або узагалі неможливим.

Аналіз та порівняння пропонується проводити із середнім значення враховуючи часові інтервали кожного конкретного усталеного інтервалу роботи. У моменти переходу від одного режиму до іншого пропонується нехтувати значеннями у зв'язку їх коротко тривалості в порівнянні з тривалістю усього циклу роботи.

2.2 Метод визначення енергетичної ефективності за усередненими показниками

Оцінивши всі основні показники які впливають на енергетичну ефективність електричного двигуна потрібно проаналізувати та вивести узагальнений показник який характеризуватиме наскільки конкретний електричний двигун ефективно забезпечує виконання певного технологічного процесу за часовий інтервал який дорівнює одному циклу роботи.

Нами були визначенні основні критерії та спосіб їх заміру і розрахунку. В роботі пропонується рахувати відхилення вимірних показників від оптимальних. Відхилення для зручності порівняння

пропонується рахувати у відсотках як різницю середнього значення вимірної величини від ідеалізованого значення.

Так для прикладу побудуємо таблицю значень які вважатимемо ідеальними для виконання будь якого технологічного процесу.

Таблиця 2.1 Ідеалізовані значення двигуна

	ККД	Коефіцієнт потужності	Коефіцієнт навантаження	Темпера- тура
Ідеалі зоване значення	100%	100%	80%	Tn

Tn – вважатимемо значенням температури навколишнього середовища. Це значення вимірюватиметься в момент перед початком роботи з урахуванням що попередній цикл роботи був повністю завершеним і двигун встиг охолонути.

Температуру розглядатимем як додатковий фактор до ефективності, якщо двигун задовільняє номінальні показники температури то ми порівнюємо наш узагальний показник ефективності з іншим двигуном. Якщо ж ні то такий двигун одразу визнається неефективним і відкидається як можливий варіант для виконання технологічного процесу.

Розробимо узагальнюючий критерію енергетичної ефективності

Для початку розрахуємо основні показники які ми будемо використовувати.

ККД розраховується за уже відомою наступною формулою.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.2)$$

де :

P2 – Корисна механічна потужність

P1 – Підведена електрична.

Далі розрахуємо коефіцієнт потужності.

$$\cos\phi = P/S \quad (2.3)$$

де:

P – активна потужності

S – повна потужність.

Коефіцієнт навантаження

$$K_n = \frac{N}{N_n} \quad (2.4)$$

де:

N – це навантаження на валу

N_n – номінальне навантаження.

Для таких показників як ККД, коефіцієнти потужності та навантаженості визначається середнє значення з усіх проміжків роботи двигуна зважаючи на час роботи. Його можна виразити наступною формулою.

$$E = \frac{N_1 \cdot t_1 + N_2 \cdot t_2 + \dots + N_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (2.5)$$

де:

E – середнє значення з урахуванням часового проміжку

N – числове значення характеристики

t – час за який вимірюється усталене значення характеристики.

Отримавши результати усіх відповідних характеристик ми можемо порівняти їх з такими ж характеристиками нашого ідеалізованого двигуна.

Кожна таким чином отримана характеристика обраховується як різниця з відповідною характеристикою ідеалізованого двигуна.

Однак оскільки значення навантаження на валу ми приймаємо за 80% потрібно брати різницю цих величин по модулю.

Таким чином ми отримуємо значення яке показує наближеність дійсного навантаження на валу до необхідного. Слід зазначити що цей показник може перевищувати 100% тому що нами прийняте ідеалізоване навантаження у 80% хоча в дійсності двигун може працювати на 90% та

100% і навіть з переваженням що виходячи з нашої формули буде мати від'ємне значення. Щоб данні були більш коректними у цьому випадку слід шукати різницю чисел по модулю що дасть об'єктивний показник різниці дійсного значення від ідеалізованого. Це єдиний параметр двигуна який може мати нульову різницю з ідеалізованим показником.

Далі слід знайти середнє значення різниць наших відповідних параметрів. Отримане число і буде показником ефективності електричного двигуна у конкретному процесі. Чим це число ближче до нуля тим більш ефективний електричний двигун. При порівнянні декількох двигунів слід надавати перевагу тому у якого цей показник найнижчий при умові задовільного температурного режиму.

Метод визначення ефективності роботи електричного двигуна за параметрами ККД та температури.

Для попереднього методу використовується безліч параметрів частину з яких не практично вимірювати під час виконання технологічного процесу та які потребують лабораторних умов.

Тому ми будемо оперувати даними які є можливим виміряти без втручання безпосередньо в технологічний процес.

А саме проаналізуємо мережу до якої підключений двигун за допомогою аналізатора мережі.

Аналізатор мережі видає наступні параметри які нас цікавлять:

- 1)показує активну потужність по кожній фазі ($P_1, P_2, P_3, P_{\Sigma}$)
- 2)показує реактивну потужність по кожній фазі ($Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\Sigma}$)
- 3)Показує повну потужність і $\cos\phi$
- 4)показує мінімальне, максимальне і середнє значення напруги
- 5)показує ємнісну і індуктивне складові реактивної енергії
- 6)запис подій(максимальні/мінімальні/середні значення напруги/сили струму)

Також пропонується використовувати датчик температури для моніторингу температурних режимів двигуна.

Порівнюючи ці данні двох двигунів на основі того у якого з них менша температура при однаковому технологічному процесі ми будемо робити висновок який з двигунів ефективніший.

Для загального випадку з урахуванням самих важливих параметрів пропонується рахувати коефіцієнт ефективності як ккд поділене на значення температури у кожний момент часу.

$$K = \int \frac{\eta}{t} \quad (2.6)$$

У кожний момент часу відбуватиметься вимір комплексного показника ефективності за рахунок зчитування миттєвого значення температури та ККД. Відношення цих двох показників і буде показати на скільки ефективним є двигун в певній момент часу. Ці значення вноситимуться у блок запам'ятовування з можливістю подальшого зберігання та обробки отриманих значень за для оцінення ефективності на певному проміжку часу роботи, або циклу.

Алгорит роботи такої програми зображений на рисунку 2.5



Рисунок 2.5 . Цикл роботи програми розрахунку ефективності за ККД та температурою

2.3 Висновки до розділу

В даному розділі були розглянуті методи аналізу та обробки отриманих параметрів. Визначені декілька варіантів обрахунків кожного із параметрів та на їх основі обрахунку загального показника ефективності з урахуванням усіх отриманих даних.

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЗАСОБУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ

3.1 Розробимо схему пристрою для виміру усіх вище зазначених показників.

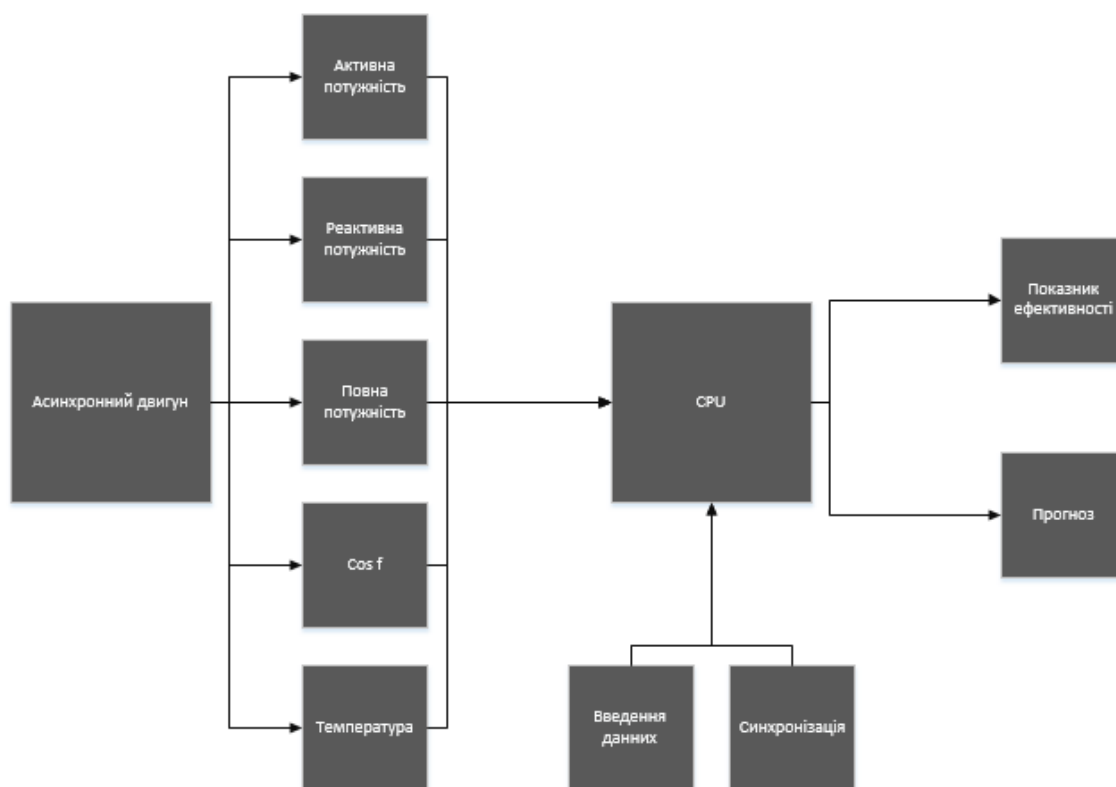


Рисунок 3.1 Структурна схема засобу для виміру ефективності

Її принцип роботи наступний. З асинхронного двигуна зчитуються усі показники та їх значення передаються у мікропроцесор який обробляє їх по заданим формулам. Також присутня можливість введення даних для корекції обрахунків якщо у цьому є потреба та синхронізація. Процесор повинен виводити загальний показник ефективності та прогнозувати ефективність в подальшому спираючись на отриманні данні.

Для виміру усіх основних показників будемо використовувати аналізатор мережі.

Основним обчислювальним приладом було вирішено використовувати аналізатор параметрів мережі ТРМ-01ESH.

Короткий перелік можливостей даного аналізатора електромережі:

- Вимірювання до 31-ої гармоніки струму і напруги
 - RS485, Modbus RTU
 - 3P4W під'єднання
 - 71,5x61,5 мм LCD
 - Екран показує активну потужність по кожній фазі (P1, P2, P3, PΣ)
 - показує реактивну потужність по кожній фазі (Q1, Q2, Q3, QΣ)
 - показує повну потужність і $\cos \phi$ по кожній фазі (S1, S2, S3, SΣ)
 - показує реактивну складову показує мінімальне, максимальне і середнє значення напруги (L-N і L-L)
 - показує ємнісні і індуктивні складові реактивної енергії($\Sigma kVA_{рч}$)
 - запис подій (максимальні / мінімальні / середні значення напруги / сили струму)
 - захист даних паролем 2 налаштованих виходу / один вхід
- діапазон виміру напруги: 5В-330кВ діапазон виміру струму 10мА-5.500А.

3.2 Висновок

У даному розділі було розглянуто варіант аналізатора мережі який надає можливість оцінки загального коефіцієнта потужності з урахуванням пари параметрів та можливим аналізом усіх інших цікавлячих параметрів. Також такий пристрій має функцію пам'яті, що дозволяє в подальшому аналізувати роботу електричного приводу за цикл роботи.

4 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ І ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ПІДХОДУ

4.1 Промодельюємо нашу систему у програмному забезпеченні Simulink

Був обраний асинхронний приводний двигун з наступними параметрами

Таблиця 4.1 Параметри асинхронного двигуна.

P _n	4 кВт
U _n	220 В
I _n	5,24 А
cosφ	0,84
ω _n	151,2 рад/с
η _n	0,84
J	0,108 кгм ²
p	2

Побудуємо схему для моделювання даного двигуна у Simulink на основі наступної математичної моделі.

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{di_{s\alpha}(t)}{dt} &= k \left[L_r (U_{s\alpha}(t) - R_s i_{s\alpha}(t)) + L_m (R_r i_{r\alpha}(t) + \omega_r(t) (L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t))) \right] \\
 \frac{di_{s\beta}(t)}{dt} &= k \left[L_r (U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) + L_m (R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t) (L_r i_{r\alpha}(t) + L_m i_{s\alpha}(t))) \right] \\
 \frac{di_{r\alpha}(t)}{dt} &= k \left[-L_m (U_{s\alpha}(t) - R_s i_{s\alpha}(t)) - L_s (R_r i_{r\alpha}(t) + \omega_r(t) (L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t))) \right] \\
 \frac{di_{r\beta}(t)}{dt} &= k \left[-L_m (U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) - L_s (R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t) (L_r i_{r\alpha}(t) + L_m i_{s\alpha}(t))) \right] \\
 \frac{d\omega_r(t)}{dt} &= \frac{p}{J} \cdot (M_e(t) - M_0(\omega_r(t))); \quad k = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2}; \\
 M_e(t) &= \frac{mp}{2} \cdot L_m (i_{s\beta}(t) i_{r\alpha}(t) - i_{r\beta}(t) i_{s\alpha}(t)),
 \end{aligned} \right\} (4.1)$$

де $U_{s\alpha}(t) = \sqrt{2} U_m \cos(\omega t)$;

$$U_{sp}(t) = \sqrt{2}U_m \sin(\omega t);$$

U_m - напруга мережі живлення;

ω - кругова частота мережі живлення.

Побудуємо за цим рівнянням модель у MATLAB.

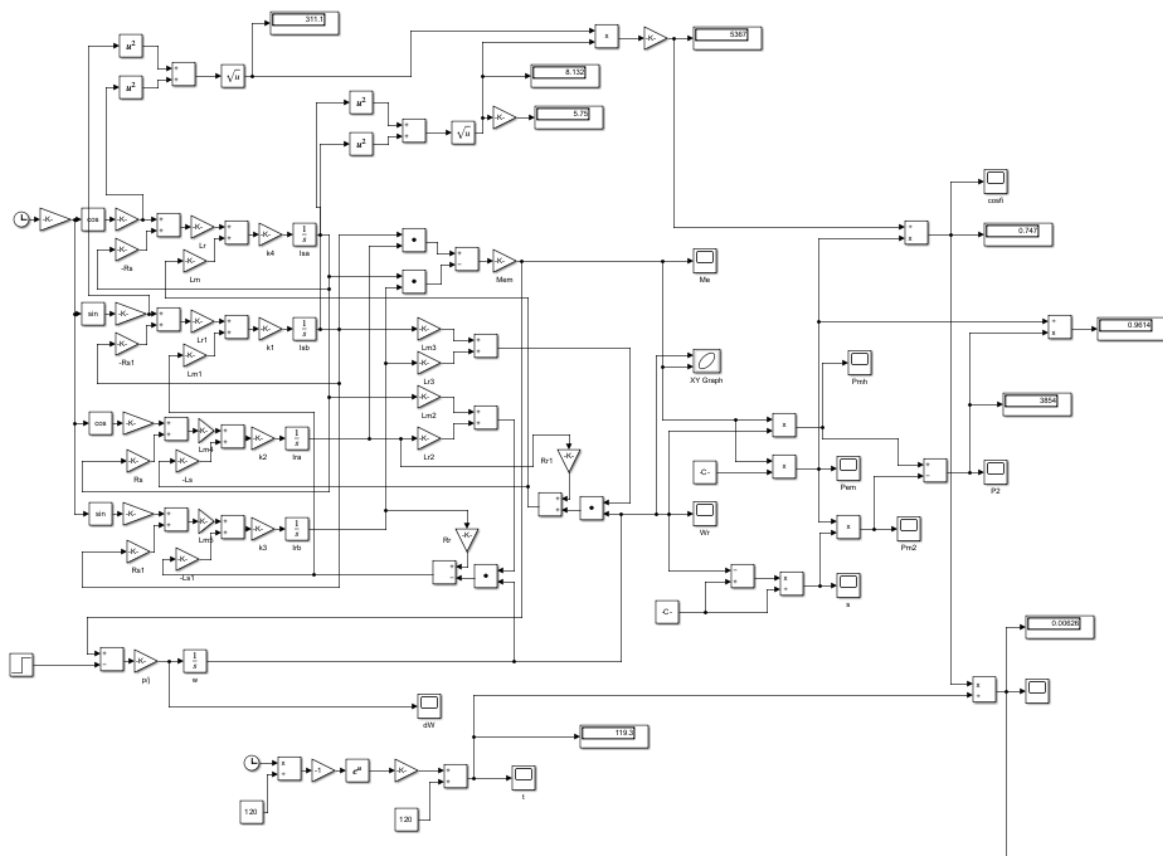


Рисунок 4.1 Схема для моделювання двигуна

В схему були введені потрібні параметри для симуляції.

Подивимось на графіки нагріву та ефективності. Та оціним на яку температуру нагрівається наш двигун.

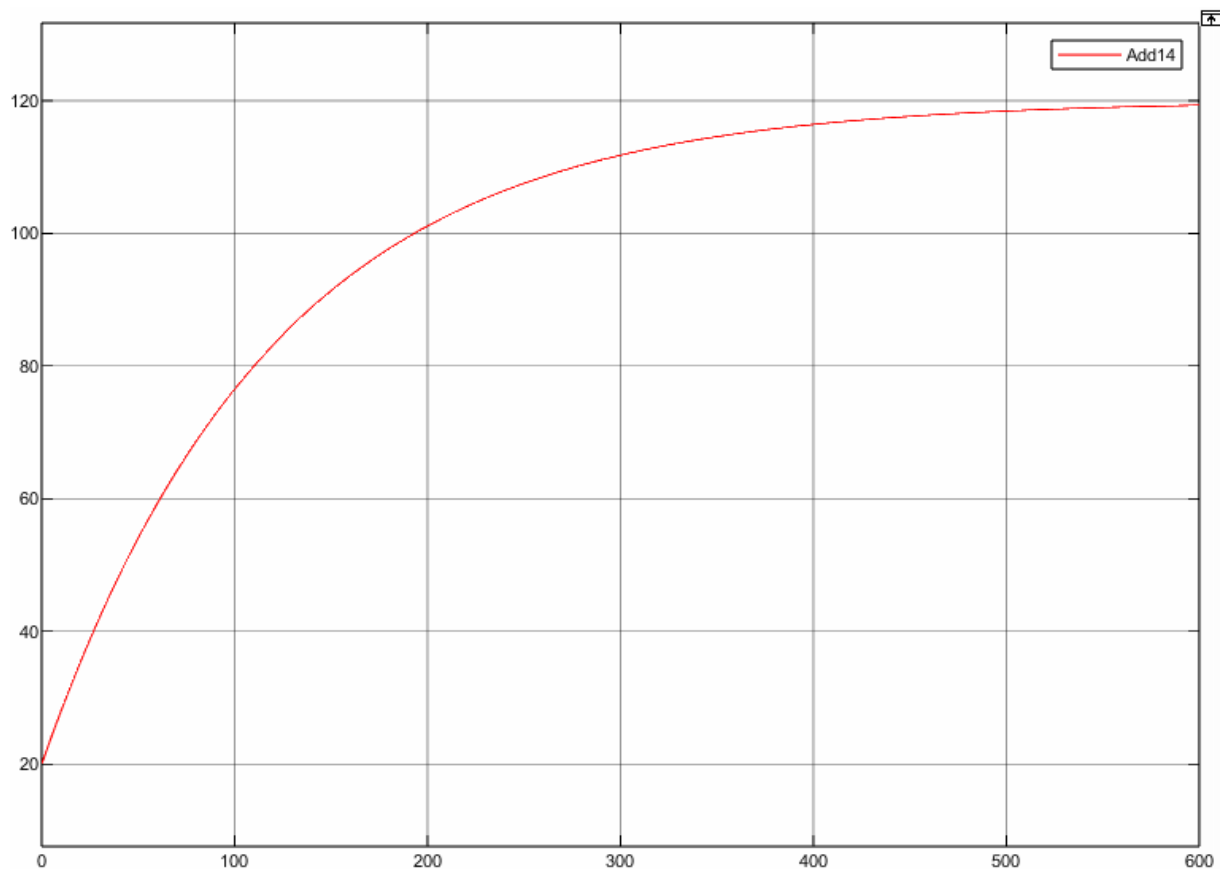


Рисунок4.2 Графік нагріву першого двигуна

Як бачимо двигун нагрівається до температури у 120 градусів за Цельсієм. Це прийнятна температура, вона є цілком нормальною для двигуна і забезпечує його надійну роботу.

Подивимось на графік ефективності цього ж двигуна розрахованою за вище вказаною формулою.

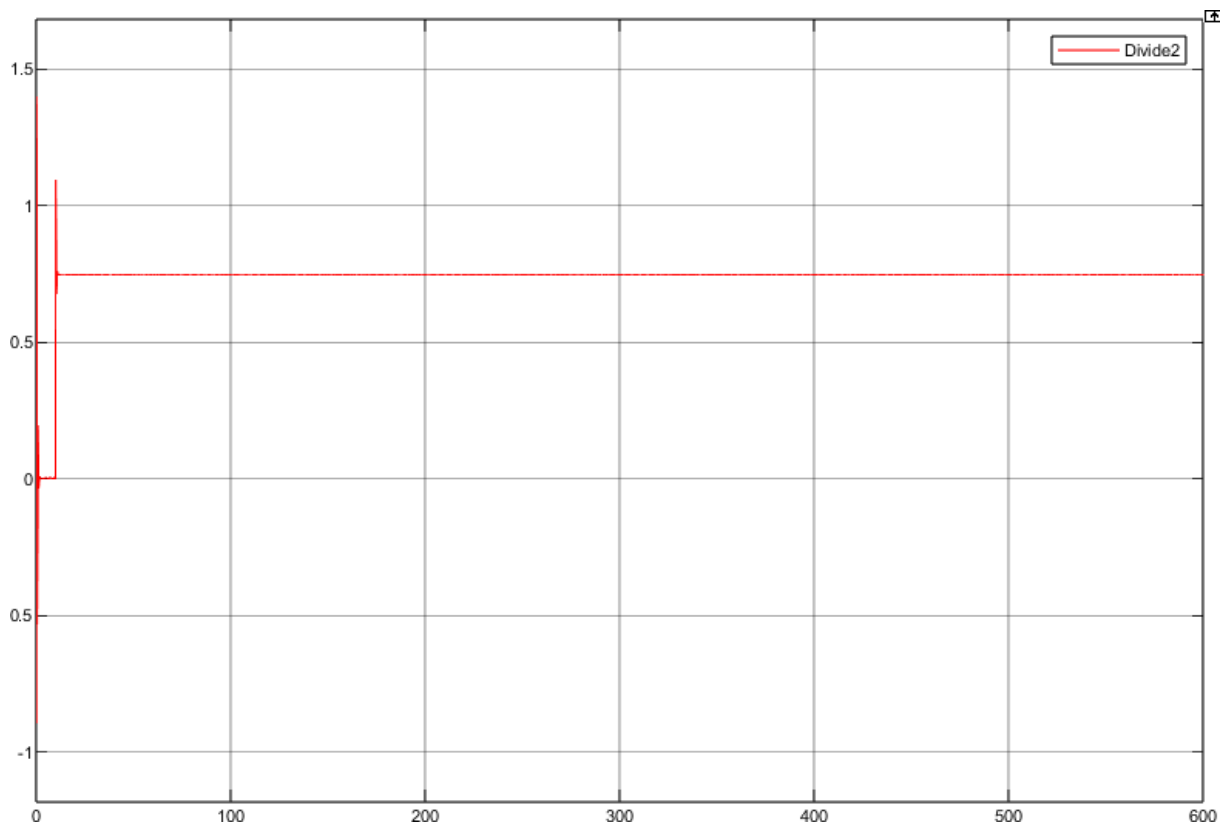


Рисунок 4.3 Графік ефективності двигуна

Як бачимо ефективність моделюється коректно, звісно присутні коливання на початку графіку які пояснюються розгоном двигуна та присутніми при цьому перехідними процсами. Система коректно визначає ефективність при усталеному режимі роботу або якщо перехід від одного режиму роботи до іншого є тривалим та не викликає значних збурень у системі.

Також протестуємо показник економічної ефективності враховуючи запуск двигуна при ступеневому та плавному розгонах. Оскільки завдяки цьому буде можливо оцінити ефективність тої чи іншої системи керування за нашим показником.

Побудуємо схему для цього

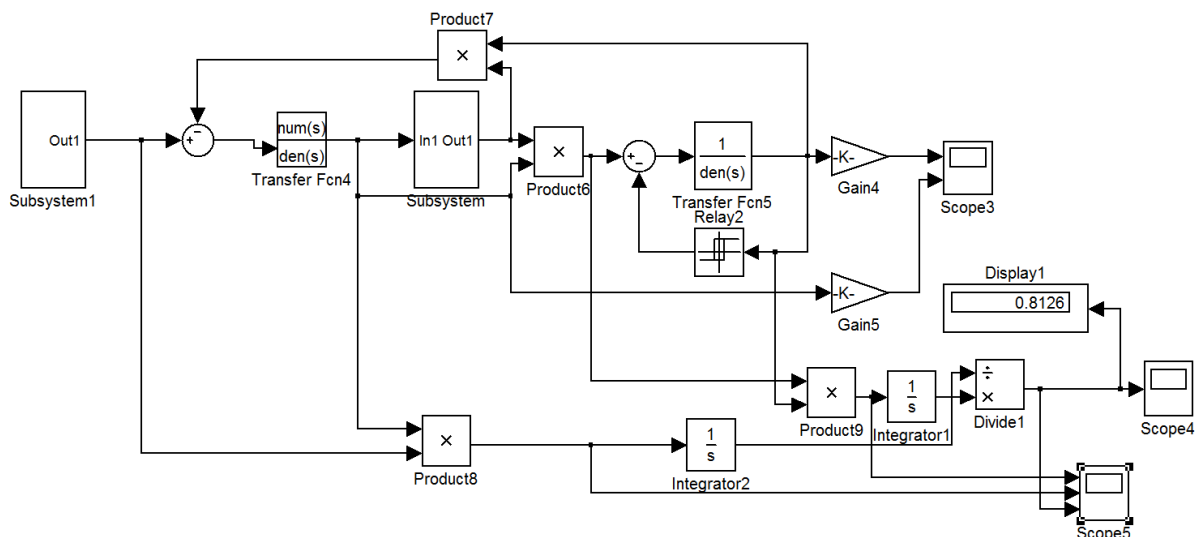


Рисунок4.4 Модель роботи тягового двигуна на номінальне навантаження при плавній зміні частоти напруги живлення

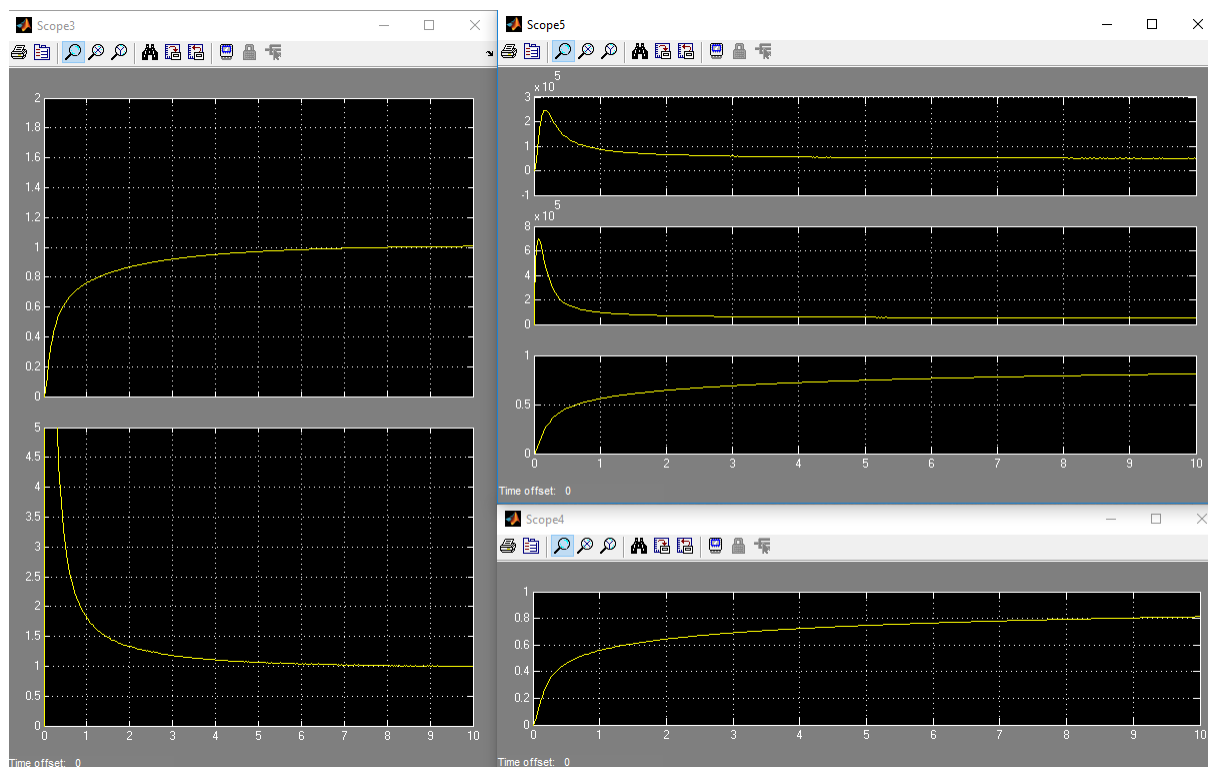


Рисунок4.5 Результати роботи двигуна при плавному розгоні
Тепер подивимось та порівняємо це зі ступеневим розгоном

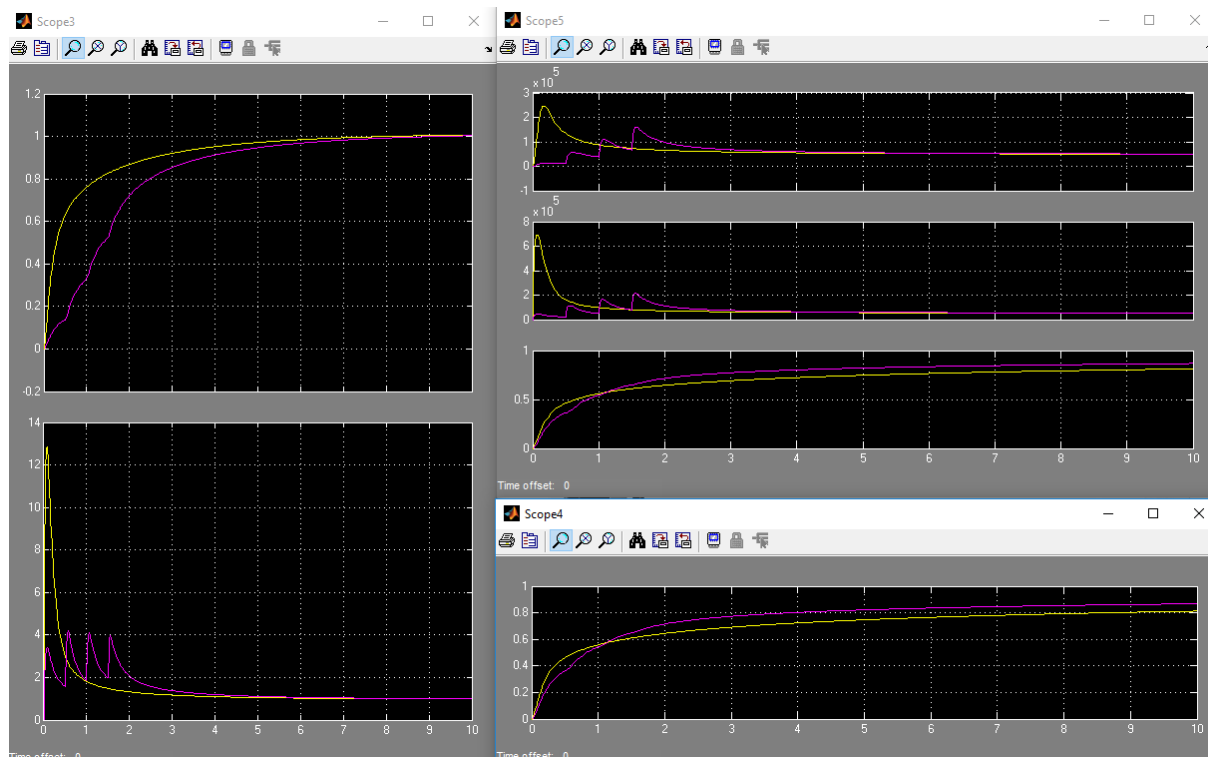


Рисунок 4.6 Результати моделювання роботи тягового двигуна при плавному розгоні (жовтий графік) і ступеневому пуску (фіолетовий колір графіків)

Як можна бачити завдяки даному коефіцієнту ефективність електричного двигуна можна оцінити і під час його розгону. З рисунка 4.6 чітко видно переваги однієї системи розгону над іншою.

4.2 Висновок до розділу

Було промодельовано два варіанти електроприводу. В першому випадку промодельовано динамічну модель, комплексний коефіцієнт ефективності показав адекватний та прогнозований результат на частинах сталого моменту роботи. Друга модель показувала роботу тягового двигуна на номінальне навантаження при плавній зміні частоти напруги живлення за допомогою чого наочно можна було оцінити ефективність плавного розгону двигуна у порівнянні зі ступеневим завдяки загальному коефіцієнту ефективності.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ ОБРАХУНОК

5.1 Розрахуємо ціну двигуна

Якщо говорити про асинхронні двигуни змінного струму (АД), то ним можна керувати за допомогою релейно-контакторної схеми (РКС), за допомогою встановлення фазного ротора (АД-ФР), за допомогою тиристорних перетворювачів (ТРН-АД) та за допомогою перетворювача частоти (ПЧ-АД). Розглянемо усі ці методи керування.

Система керування РКС-АД, є дешевою, та надійною, в плані стабільності роботи. Основна проблема такої системи є великі перехідні процеси під час регулювання, що є технічно не доцільно, для поставленої задачі.

Встановлення АД-ФР, потребує додаткових затрат на двигун, тому що, за часту, двигуни з фазним ротором коштують більше ніж звичайні асинхронні двигуни. Також, керування за допомогою ФР, передбачає тільки кілька ступенів швидкості двигуна, що є недоцільним з точки зору технічних вимог.

Тиристорні перетворювачі, являються досить актуальними, через нищу вартість керування ніж перетворювачі частоти. Але вони мають гірші технічні показники ніж ПЧ-АД, що робить їх високим конкурентом в цьому плані, але не змінює факту, що перетворювач частоти, являється кращим варіантом.

ПЧ-АД – це система керування, яка показала та доказала свої здібності в плані технічних вимог. Здатність до контролю швидкості в усьому діапазоні швидкості, високий коефіцієнт корисної дії (ККД) та малі затрати по енергетичним показникам, робить його найкращим в технічному плані. За ціновим показником, перетворювач частоти є вищим ніж у інших системах керування. Але за рахунок низьких витрат на

обслуговування та, як було вже сказано, високим ККД і низьким затратам енергетичних показників, робить його кращим за інші системи керування.

Оскільки нашим завданням не стоїть вибір системи керування, то ми обрахуємо вартість двигуна який працює у звичайному режимі без керування обертами

Загальні витрати визначаються за формулою:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (5.1)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності (приймається $E_n = 0,17$ 1/рік для усіх галузей промисловості);

K – капітальні затрати, грн;

C – загальні відрахування, грн/рік.

В свою чергу, капітальні затрати, визначаються, як сума двигуна та системи керування, оскільки системи керування у нас нема приймаємо її за 0

$$K = D + CK, \quad (5.2)$$

$$K = 6415 + 0 = 6415 \text{ (грн)}.$$

Загальні відрахування – це сума усіх відрахувань, які складаються з наступних частин:

$$C = C_A + C_p + C_D + C_o, \quad (5.3)$$

де C_A - відрахування на амортизацію, грн/рік;

C_p - відрахування на ремонт, грн/рік;

C_D - додаткові відрахування, грн/рік;

C_o - відрахування на обслуговування, грн/рік.

Відрахування на амортизацію, визначаються, як частка від капітальних затрат. За часту береться в середньому 10%, від капітальних витрат:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (5.4)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 6415 = 641,5 \text{ (грн/рік)}.$$

Ремонт, та відрахування на цю справу, приймають, також, як частку від капітальних затрат. Зазвичай, беруть 2% від капітальних затрат для відрахувань на ремонт:

$$C_p = 0,02 \cdot K, \quad (5.5)$$

$$C_p = 0,02 \cdot 6415 = 128,3 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, включають в себе витрати на електроенергію, та перехідні режими роботи двигуна:

$$C_D = C_{D1} + C_{D2}, \quad (5.6)$$

де C_{D1} - витрати електроенергії на двигун за рік:

$$C_{D1} = \Delta W_D \cdot c, \quad (5.7)$$

ΔW_D - кількість втраченої електроенергії в двигуні за рік;

c - вартість електроенергії для промисловості, одного кіловату потужності за годину ($C=5,30$ грн/кВт · год).

$$\Delta W_D = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{пер}}) \cdot k_z \cdot \Phi, \quad (5.8)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ - втрати потужності двигуна, при номінальному режимі роботи двигуна, кВт;

$\Delta P_{\text{пер}}$ - втрати потужності двигуна, при перехідних режимах роботи двигуна, кВт;

k_z - коефіцієнт завантаження по потужності (приймається рівним 0.8);

Φ - дійсний фонд часу роботи системи електропривода за рік.

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (5.9)$$

де $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність вибраного двигуна ($P_{\text{ном}} = 4$ кВт);

$\eta_{\text{ном}}$ - номінальний коефіцієнт корисної дії, при $P_2 = P_{\text{ном}} = 4$ кВт
($\eta_{\text{ном}} = 0,84$)

$$\Delta P_{ном} = 4 \cdot \frac{1-0,84}{0,84} = 0,762 \text{ (кВт)}.$$

Витрати двигуна на перехідні процеси, приймають за стандартами, як 10% від витрат при номінальному режимі роботи двигуна:

$$\Delta P_{пер} = 0,1 \cdot \Delta P_{ном}, \quad (5.10)$$

$$\Delta P_{пер} = 0,1 \cdot 0,762 = 0,076 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи системи електропривода, визначається за наступною формулою:

$$\Phi = \frac{ТВ\%}{100\%} \cdot Z_{рд} \cdot Z_{рз} \cdot t_{рз}, \quad (5.11)$$

де ТВ% - тривалість ввімкнення електродвигуна (береться за стандартом 40%);

$Z_{рд}$ - кількість робочих днів за рік ($Z_{рд} = 250$);

$Z_{рз}$ - кількість робочих змін ($Z_{рз} = 2$);

$t_{рз}$ - тривалість робочої зміни ($t_{рз} = 8$ год).

$$\Phi = \frac{40}{100\%} \cdot 250 \cdot 2 \cdot 8 = 1600 \text{ (год)}.$$

$$\Delta W_{д} = (0,762 + 0,0762) \cdot 0,8 \cdot 1600 = 1073 \text{ (кВт)}.$$

$$C_{д1} = 1073 \cdot 2,64 = 5686 \text{ (грн/рік)}.$$

Обслуговування є важливою частиною в циклі роботи кожного електричного апарату. Відрахування на обслуговування, зазвичай виділяють, з суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових відрахувань, в вигляді 5% від суми.

$$C_o = 0,05 \cdot (C_A + C_D + C_p), \quad (5.12)$$

$$C_o = 0,05 \cdot (641,5 + 128,3 + 5686) = 322,772 \text{ (грн/рік)}.$$

З усього цього, можна підрахувати загальні відрахування за формулою:

$$C = 641.5 + 128.3 + 5686 + 322.772 = 6778 \text{ (грн/рік)}.$$

Та відповідно, загальні витрати будуть становити, по :

$$Z = 0,17 \cdot 6778 + 3782 = 7869 \text{ (грн/рік)}.$$

5.2 Висновок до розділу

Ціна та загальні витрати на наш розрахований двигун ефективність якого ми оцінюємо склала 7869 грн на рік без урахування системи керування.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі випускної магістерської дипломної роботи запропоновані методи та засоби визначення ефективності роботи електричних приводів змінного струму, зокрема комплексний показник енергетичної ефективності двигуна при роботі за певний час. В процесі виконання досліджень на інженерний проєктний персонал впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори :

1) фізичні: підвищена запиленість повітря робочої зони; підвищена та знижена температура повітря робочої зони; підвищена та знижена рухомість повітря; підвищена та знижена вологість повітря; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень інфразвукових коливань; підвищений рівень ультразвуку; небезпечне значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини; підвищений рівень статичної електрики; нестача природного освітлення; недостатнє освітлення робочої зони; підвищена яскравість світла; знижена контрастність; прямий і відбитий блиск; підвищена пульсація світлового потоку;

2) психофізіологічні: фізичні перевантаження (статичні); нервово-психічні перевантаження (розумові перенапруги, монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

6.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Конструкція робочого місця інженера-проєктувальника повинна відповідати сучасним вимогам ергономіки та Гігієнічної класифікації 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 [1], характеру виконуваної роботи та 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). Площа одного робочого місця інженера обладнаного ПК, повинна складати не менше 6 м^2 , а об'єм – не менше 20 м^3 .

Живлення силового обладнання проєктної організації та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – без підвищеної небезпеки.

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, площина екрана при цьому має бути перпендикулярною нормальній лінії зору користувача.

Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПВЕ. У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних комп'ютерів, на помітному та

доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Комп'ютери та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог ПВЕ та Правил пожежної безпеки в Україні. Електромережу штепсельних розеток для живлення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 комп'ютерів, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з

негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Під час монтажу та експлуатації необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію. Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися Правил пожежної безпеки в Україні. Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється.

Є неприпустимими: експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками; застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок; застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання; користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання; підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами); використання

електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції. Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

6.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

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) 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 додаткові 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.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.2.1 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. При цьому потрібно розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

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.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони [6]. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні для виконання проєктних робіт наведено в таблиці 1.

Таблиця 6.1 – Нормування параметрів мікроклімату для постійних робочих місць

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

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату [7] на робочому місці інженера передбачається: в холодну пору року використання калорифера; в літню пору застосування вентиляторів обдува; провітрювання приміщення.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [6]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 2.

Таблиця 6.2 – 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

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [7]: провітрювання приміщення; цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи; встановлення пиловловлюючих засобів.

6.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності [8].

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в».

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 6.3 – 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		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	середній	середній	400	200	4	2,4

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.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості. При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

6.2.4 Виробничий шум

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» [9] (таблиця 4).

Шум порушує нормальну роботу шлунку, 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 6.4 – 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
Творча діяльність, конструювання і проєктування, програмування	86	71	61	54	49	45	42	40	38

Для зниження шуму в приміщенні потрібно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття

стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

В умовах сучасності, питання стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій, загострене. Загрозливі чинники в теперішніх умовах можна поділити на такі типи:

- Загрозливі чинники природнього характеру;
- Загрозливі чинники техногенного характеру;
- Загрозливі чинники пов'язані з військовими діями.

Так, до природніх загрозливих чинників, можна віднести, землетруси, урагани, тайфуни, сонячний електромагнітний імпульс та інші. На сьогоднішній день, природні загрозливі чинники, є передбачуваними за допомогою технологій, але зупинити їх важко, а в деяких випадках, не можливо. Тому під впливом природніх катаклізмів, потрібно розраховувати стабільність роботи всіх процесів на підприємстві, особливо, якщо це важлива ланка в житті кожної людини, як генерація електроенергії.

Техногенні загрозливі чинники – це загрозливі чинники, створені технологіями та самими людьми. До них можна віднести: викид хімікатів, викид радіаційних частинок, викид шкідливих газів та інші. Ці загрозливі чинники, не можливо передбачити, що робить їх особливо небезпечними.

Загрозливі чинники пов'язані з військовими діями, є одні з найнебезпечніших, при роботі підприємства, або будь-якого технологічного процесу. Зважаючи, на сучасний стан справ, не можливо передбачити, що буде застосовуватись на війні далі, як і не можливо,

передбачити наступний рух противника. Так, наприклад, використання ЕМІ, вважається гуманним.

Досліджуючи ці всі фактори, постає питання в дослідженні та розрахунку стійкості роботи електричного приводу змінного струму, в умовах дії усіх цих загрозованих чинників.

6.3.1 Дослідження стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії іонізуючих випромінювань

Для дослідження стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії іонізуючих випромінювань, використовують поняття допустимою дози радіації, $D_{\text{доп}}(P)$, або поняття граничного рівня радіації, $P_{\text{гр}}(P/\text{год})$, при яких система буде працювати стабільно.

Для цього, потрібно дослідити, які граничні допустимі дози опромінення, $D_{\text{гр}}$, має кожен елемент системи. Дані граничних доз опромінення кожного елемента наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.5 – Граничні значення експозиційних доз електричного приводу змінного струму

Елементи системи електричного приводу		$D_{\text{гр},i}, P$	$D_{\text{гр}}, P$
Блок керування	Акумулятор	10^9	10^4
	Транзистори	10^4	
	АЦП	10^5	
	ЦАП	10^5	
	Конденсатори	10^7	

Продовження таблиці 6.6

Блок вимірювання	Аналізатор мережі ТРМ-01Е	10^3	10^3
Пам'ять запису даних	Кварц	10^{10}	10^3
	Мікросхема	10^3	

Граничне значення стійкості системи, визначається по мінімальному значенню допустимої дози в елементній базі. Проаналізувавши таблицю 6.1, можна зробити висновок, що самою уразливою ланкою в системі, є блок вимірювання, з мінімальною допустимою дозою $D_{гр} = 10^3$ (Р).

Можлива доза опромінення визначається за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{п}})}{k_{осл}}, \quad (6.1)$$

де P_1 - максимальне значення опромінення радіацією ($P_1 = 5,17$ Р/год);

t_k - мінімальний час наробітки елементів системи на відказ ($t_k = 3 \cdot 355 \cdot 24 = 25560$ год.);

$t_{п}$ - час з початку опромінення ($t_{п} = 1$ год.);

$k_{осл}$ - коефіцієнт ослаблення радіації деякими умовами ($k_{осл} = 1$).

$$D_m = \frac{2 \cdot 5,17 \cdot (\sqrt{25560} - \sqrt{1})}{1} = 1652 \text{ (Р)}.$$

Порівнюючи, значення по (6.1) з мінімально допустимою дозою, виходить:

$$D_m > D_{гр} \quad (1652 > 10^3).$$

Отже, можна зробити висновок, що електричний привод змінного струму, є не стійким в умовах дії іонізуючого випромінювання. Оскільки, усі блоки системи електричного приводу змінного струму, знаходяться в одному приміщенні, то розрахунок допустимого часу роботи, проведемо тільки для одного найслабшого блоку, а саме для блоку вимірювання:

$$t_D = \left(\frac{D_{гр} \cdot k_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{t_{п}}}{2 \cdot P_1} \right)^2, \quad (6.2)$$

$$t_D = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 5,17 \cdot 1}{2 \cdot 5,17} \right)^2 = 9458 \text{ (год)}.$$

6.3.2 Дослідження стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії електромагнітного імпульсу

Для оцінки впливу дії електромагнітного імпульсу, потрібно брати до уваги, що ЕМІ має горизонтальну і вертикальну складові напруженості електричного поля, що означає, що потрібно визначати значення напруги, як по горизонтальній так і по вертикальній ділянках ліній.

Оскільки, живлення двигуна проводиться мережею 220В, а живлення блоків вимірювання та пам'яті запису даних – мережею постійної напруги 24В, то проведемо окремо розрахунок стійкості для обох мереж живлення.

Напруга, по горизонтальній струмопровідній частині визначається:

$$U_{\Gamma} = E_{\text{в}} \cdot l_{\Gamma}, \quad (6.3)$$

де $E_{\text{в}}$ - напруженість електромагнітного імпульсу ($E_{\text{в}} = 10,09$ кВ/м);

l_{Γ} - довжина горизонтальної струмопровідної частини ($l_{\Gamma} = 3$ м).

$$U_{\Gamma} = 10,09 \cdot 3 = 30,27 \text{ (кВ)}.$$

Напругу по вертикальній струмопровідній частині, можна визначити:

$$U_{\text{в}} = \frac{E_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}}}{1000}, \quad (6.4)$$

де $l_{\text{в}}$ - довжина вертикальної струмопровідної частини ($l_{\text{в}} = 1,5$ м).

$$U_{\text{в}} = \frac{10,09 \cdot 1,5}{1000} = 15,135 \text{ (В)}.$$

Допустиме коливання мережі:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{м}} + \frac{U_{\text{м}}}{100} \cdot N, \quad (6.5)$$

де $U_{\text{м}}$ - напруга мережі;

N – допустиме відхилення мережі в відсотках ($N = 5$ %).

Для кола живлення двигуна ($U_{\text{м}} = 220$ В):

$$U_{\text{доп}} = 220 + \frac{220}{100} \cdot (\pm 5) = \frac{231}{209}.$$

Для кола вимірювання ($U_M = 24 \text{ В}$):

$$U_{\text{доп}} = 24 + \frac{24}{100} \cdot (\pm 5) = \frac{25,2}{22,8}.$$

Визначимо коефіцієнт безпеки, за наступною формулою:

$$K_B = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{\text{доп.мін}}}{U_{\text{ЕМІ}}}\right), \quad (6.6)$$

де $U_{\text{доп.мін}}$ - мінімальне відхилення за (6.5).

Для кола живлення двигуна, по горизонтальній струмопровідній лінії:

$$K_{\text{БГ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{209}{30270}\right) = -43,217 \text{ (дБ)}.$$

А по вертикальній струмопровідній лінії:

$$K_{\text{БВ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{209}{15,135}\right) = 22,803 \text{ (дБ)}.$$

Коефіцієнт безпеки, для кола вимірювання, по горизонтальній струмопровідній лінії:

$$K_{\text{БГ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{22,8}{30270}\right) = -62,462 \text{ (дБ)}.$$

А по вертикальній струмопровідній лінії:

$$K_{\text{БВ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{22,8}{15,135}\right) = 3,559 \text{ (дБ)}.$$

Оскільки, для обох мереж живлення: $K_{\text{БГ}} < 40 \text{ дБ}$, $K_{\text{БВ}} < 40 \text{ дБ}$, то обладнання не буде працювати стійко. Отримані результати занесемо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.7 – Результати обчислення стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії ЕМІ

Напруга мережі	I_{Γ}	$I_{\text{в}}$	$K_{\text{БГ}}$	$K_{\text{БВ}}$	Стійкість
Двигун, 220 В	3	1,5	-43,2	22,8	Нестійка
Блок вимірювання, 24 В	3	1,5	-62,5	3,6	Нестійка

Попередньо, можна дійти висновку, що для підвищення стійкості, потрібно застосувати екранування.

6.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електричного приводу в умовах надзвичайної ситуації

В ході аналізу і розрахунків, було виявлено, що система в умовах дії іонізуючого випромінювання, є нестійкою. Отже, потрібно застосувати екранування, або покриття блоків з малим гранично допустимою дозою опромінення спеціальним матеріалом. Для стійкості системи, достатньо посилення коефіцієнта ослаблення в 2 рази, тобто $k_{\text{осл}} = 2$.

Також, для захисту від ЕМІ, потрібно застосувати екран певної товщини. Для розрахунку товщини екрану, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = K_{\text{Б.ном}} + K_{\text{Б.мін}}, \quad (6.7)$$

де $K_{\text{Б.ном}}$ - номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{\text{Б.ном}} = 40$ дБ);

$K_{\text{Б.мін}}$ - мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунку.

Для кола живлення 220 В:

$$A_{220\text{В}} = 40 + 43,2 = 83,2 \text{ (дБ)}.$$

Для кола живлення 24 В:

$$A_{24\text{В}} = 40 + 62,5 = 102,5 \text{ (дБ)}.$$

Товщина захисного екрану знаходиться за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (6.8)$$

де f – найбільша частота при ЕМІ ($f = 15$ кГц).

Для кола живлення 220 В:

$$t = \frac{83,2}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,131(\text{см}).$$

Для кола живлення 24 В:

$$t = \frac{102,5}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,161(\text{см}).$$

Для подальшого захисту від ЕМІ, можна застосувати наступні методи:

1. Екранування за допомогою металевих конструкцій, розрахованої товщини, або більшої. За допомогою екранування, буде відбуватись стікання струму, через заземлені конструкції, тому ЕМІ не буде завдавати шкоди, апаратурі, яка знаходиться в середині екрану.

2. Прокладання кабельних ліній в траншеях під землею. Якщо немає можливості провести кабельні лінії в траншеї під землею, то потрібно укласти їх в сталеві коробки, які заземляються.

3. Використання апаратів захисту, як плавкі запобіжники, термічні запобіжники та інші. Це допоможе не пошкодити мікроелектроніку в системах керування електричним приводом змінного струму, разом з блоком вимірювання та блоком запису інформації.

4. Встановлення грозозахисних пристроїв.

Отже, при проведенні розрахунків на стійкість роботи електричного приводу змінного струму, було знайдено, що при дії іонізуючого випромінювання в 5,17 Р/год, система буде не стійкою, та потребує додаткових заходів покращення стійкості.

Заходами для покращення стійкості системи від іонізуючого випромінювання, можуть бути екранування, переміщення системи в приміщення з більшим коефіцієнтом послаблення, або покриття плівкою, найслабших елементів системи, задля покращення коефіцієнту

послаблення. Загалом, досить покращити коефіцієнт послаблення, до значення, $k_{осл} = 2$.

Також, було проведено розрахунки стійкості системи в результаті ЕМІ. Було знайдено, що система в випадку ЕМІ напруженістю 10,09 кВ/м, є нестійкою, та потребує додаткового захисту.

Для захисту від ЕМІ, пропонується використовувати екранування металевими конструкціями товщиною 0,16 см, або 1,6 мм, оскільки уся система знаходиться в одному приміщенні, то відокремлювати екранування для двигуна, і кіл вимірювання – не потрібно. Також, було проведено, які можливі додаткові методи захисту від ЕМІ, а саме: захист кабельних ліній в траншеях, або заземлених сталевих коробах; захист апаратури за допомогою плавких запобіжників; встановлення грозозахисних пристроїв.

6.4 Висновок до розділу

В даному пункті ми розглянули охорону праці до приміщення в якому буде знаходитися наш лабораторний стенд та визначили що лабораторний стенд для аналізу енергетичних параметрів електричної машини є стійким при ЕМІ.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Методи та засоби визначення ефективності роботи електричних приводів змінного струму. Комплексний показник енергетичної ефективності двигуна при роботі за певний час» було запропоновано рішення щодо оцінки ефективності роботи тягових двигунів на певному проміжку часу або за цикл роботи. Отримані такі результати:

1. Розглянуто ключові параметри для оцінки комплексного показника ефективності та їх вплив на цей показник з урахуванням різних режимів роботи та їх особливостей.

2. Запропоновані методи для обрахунку показника ефективності з урахуванням особливостей технологічного процесу та представлено структурну схему приладу аналізатор мережі для зняття та обробки відповідних показників.

3. Проведено ряд моделювань, що підтверджують доцільність використання методу та дають змогу об'єктивно оцінити ефективність електричного приводу як за певний проміжок часу, так і ефективність при використанні різних методів керування. Це дає змогу оцінювати позитивний ефект від майбутніх впроваджень у енергетиці та оцінити їх доцільність.

4. Визначено основні положення щодо безпечної експлуатації електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Узагальнений показник енергетичної ефективності електропривода. / О.О. Закладний, В.В. Прокопенко, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
2. Режими роботи електродвигунів та їхній вибір // <https://wikipage.com.ua/1x2797.htm>
3. Розробка системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна / С. О. Квітка, О. Ю. Вовк, кандидати технічних наук А. А. Волошина, доктор технічних наук О. А. Стребков, аспірант Таврійський державний агротехнологічний університет
4. Система безконтактного виміру моменту на валу електродвигунів в умовах експлуатації. / С.Т. Толмачов., д-р техн. наук, І.М. Бурчак, магістр Криворізький національний університет
5. Непряме визначення обертового моменту досліджуваного електродвигуна // <http://emepe.khpi.edu.ua/article/view/135205>
6. Сучасні підходи до підвищення ефективності роботи асинхронних двигунів. / Я.В. Опольський, А.С. Васюра
7. Наліз впливу якості електроенергії на роботу струмоприймачів // <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/42/17>
8. Терморезистори і їх застосування. // Шашков А. Г.
9. https://www.radioradar.net/hand_book/documentation/terpara.html // термопари та їх використання
10. Енергетика. Історія, сучасність і майбутнє. // <http://energetika.in.ua/ua/books/book-2/part-3/section-9/9-1>
11. Конструкція асинхронних двигунів: Навчальний посібник для студентів старших курсів напрямку «Електромеханіка» спец.

- «Електричні машини та апарати» / В. В. Попічко; Національний університет «Львівська політехніка».
12. Асинхронні двигуни // <http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/326/560.html>
13. Електричні машини і апарати / Яковенко В.В.; Діордієв В.Т.; Горбуліч О.М
14. Коефіцієнт потужності асинхронного двигуна - від чого залежить і як змінюється // https://jak.koshachek.com/articles/koeficient-potuzhnosti-asinhronnogo-dviguna-vid.html#google_vignette
15. Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті // <https://met.kname.edu.ua/en/nauka/konferentsiyi-kafedry/konferentsiya-2023>
16. Електричні машини та апарати // В.В. Шевченко, Т.П. Павленко, А.М. Масленніков. За редакцією В.І. Мілих
17. Розводюк М. П. Розрахунок і конструювання трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Курсове проектування [Текст] : навчальний посібник / М. П. Розводюк.
18. Грабко В. В. Електричні машини. Розрахунок експлуатаційних характеристик. Курсове проектування [Текст] : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ
19. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини [Текст] : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький, М. О. Казак. – Вінниця : ВНТУ
20. Кухарчук В.В. Метрології та електричних вимірювань. Частина I : ВНТУ, 2020. – 148 с.
21. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
22. 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. 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->.

23. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945.
24. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
25. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

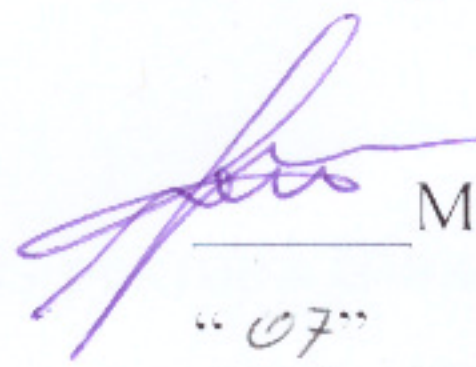
Додаток А

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

« 07 » 11 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

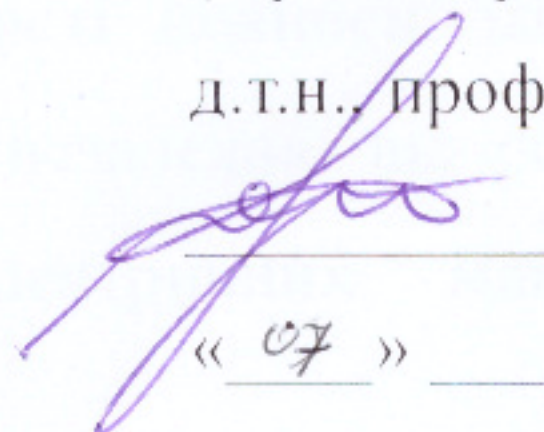
на магістерську кваліфікаційну роботу

**Методи та засоби визначення ефективності роботи
електричних приводів змінного струму. Комплексний
показник енергетичної ефективності двигуна при роботі за
певний час**

08-24.МКР.021.00.000 ТЗ

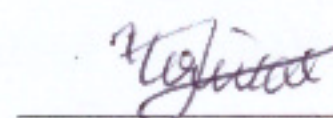
Керівник роботи

д.т.н., проф.

 Микола МОШНОРИЗ

« 07 » 11 2023 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-22м

 Іван Чайка

« 07 » 11 2023 р.

Вінниця ВНТУ 2023

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Методи та засоби визначення ефективності роботи електричних приводів змінного струму. Комплексний показник енергетичної ефективності двигуна при роботі за певний час».

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

Досліджування узагальненого показника енергетичної ефективності є дослідженням, покладеним на підвищення якості оцінки електричних машин. Мікропроцесорні засоби вимірювання забезпечують точний та надійний розрахунок відповідних параметрів.

4 Вимоги до розробки

Вимір показника ефективності повинен забезпечувати об'єктивну оцінку технологічних параметрів незалежно від режиму роботи з метою підвищення якості оцінки електричних машин при виконанні технологічних процесів.

5 Комплектація роботи

Мікропроцесорні засоби вимірювання включають в себе: аналізатор мережі, мікропроцесор для обрахунків даних, дисплей.

6 Джерела розробки

- 1) Узагальнений показник енергетичної ефективності електропривода. / О.О. Закладний, В.В. Прокопенко
- 2) Система безконтактного виміру моменту на валу електродвигунів в умовах експлуатації. / С.Т. Толмачов., д-р техн. наук, І.М. Бурчак
- 3) Сучасні підходи до підвищення ефективності роботи асинхронних двигунів. / Я.В. Опольський, А.С. Васюра
- 4) Конструкція асинхронних двигунів: Навчальний посібник для студентів старших курсів напрямку «Електромеханіка» спец. «Електричні машини та апарати» / В. В. Попічко;

7 Технічні характеристики

Параметри двигуна: $P_n = 4 \text{ кВт}$, $U_n = 220 \text{ В}$, $I_n = 5,24 \text{ А}$ $\cos \phi = 0,84$,
 $\omega_n = 151,2 \text{ рад/с}$, $J = 0,108 \text{ кгм}^2$, $p = 2$.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементна база

Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, аналізатор мережі, мікропроцесор для обрахунків даних, дисплей.

10 Конструктивне виконання

Дослід виміру уомплексного показника енергетичної ефективності проводиться у відповідності до вимог електробезпеки у пиловологозахищеному виконанні.

11 Показники технологічності

Аналізатор мережі, мікропроцесор для обрахунків даних, дисплей., виконуються на сучасній елементній базі, їх монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

13 Живлення системи

Живлення електромеханічного двигуна відбувається від мережі 200В

13 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИВОДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ.
КОМПЛЕКСНИЙ ПОКАЗНИК ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ ЗА ПЕВНИЙ ЧАС**

***Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки***

**Комплексний показник енергетичної ефективності
тягового двигуна при роботі за певний час**

Іван ЧАЙКА – магістрант II-го курсу за ОПП «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Керівник: Микола МОШНОРИЗ, к.т.н, завідувач, доц. кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів ВНТУ

- Мета роботи: підвищити ефективність роботи тягового електропривода за рахунок аналізу режимів його роботи за показником комплексної ефективності роботи.
 - Об'єктом дослідження є процес розрахунку комплексного показника ефективності роботи електропривода протягом певного часу.
 - Предметом дослідження є математичний апарат та програмне забезпечення для розрахунку комплексного показника економічної ефективності електропривода.
-

Загальні відомості про ефективність роботи електричного двигуна

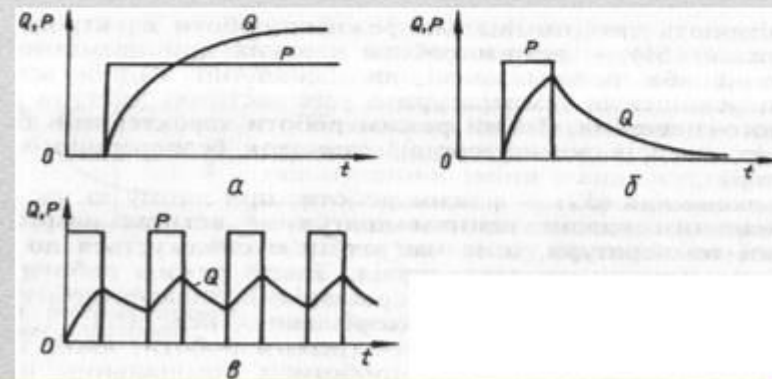
- Існує декілька основних енергетичних показників які характеризують ефективність роботи електричного двигуна, а саме:
- ККД - відношення виконаної роботи до загальних енергетичних затрат на її виконання. Безрозмірна величина, яка вимірюється у відсотках. Є важливою характеристикою машин та двигунів.
- Коефіцієнт потужності - показує відношення активної потужності до повної.
- Температура – характеризує нагрів двигуна.
- Коефіцієнт навантаження - характеристику яка показує відношення навантаження на валу до номінального навантаження двигуна.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Режими роботи та чим вони характеризуються

- У більшості випадків електричні двигуни керують різними виробничими механізмами котрі працюють з різною періодичністю та навантаженням. Основними режимами які зустрічаються є :
- Тривалий режим роботи – він характеризується довгим робочим періодом за який нагрів двигуна досягає свого стабільного стану.
- Короткочасний режим роботи – він характеризується тим, що протягом робочого періоду нагрівання електродвигуна не досягає стабільного стану, а перерва в роботі настільки великий, що при відновленні її температура двигуна близька до температури навколишнього середовища.
- Повторно-короткочасний режим роботи – характеризується тим що, за період роботи двигун не встигає повністю нагрітися, а за період зупинки - повністю охолонути.
- Як бачимо основною характеристикою режиму роботи двигуна є його температурний режим який являє собою також і один із критеріїв ефективності роботи електричного двигуна



Засоби для визначення параметрів

- Для оцінки температури можуть використовуватись різноманітні засоби такі як термопара , цифровий термометр чи термодетектор.
- Для визначення коефіцієнта потужності потрібно дізнатися потужність на валу. Для цього пропонується використовувати декілька методів.
- Навантажувальний двигун для виміру потужності на валу окремо від механізму. Для специфічних механізмів таких як стрічковий конвеєр чи шнековий механізм можна використовувати ваги які мірятимуть яку кількість матеріалу двигун перемістив, знаючи його оберти можна визначити потужність.
- Використання тензодатчика на валу.



- Для оцінки таких параметрів як потужність яка споживається з мережі чи коефіцієнт потужності пропонується використовувати аналізатор мережі які дасть нам наступні параметри.
- 1)показує активну потужність по кожній фазі ($P_1, P_2, P_3, P_{\Sigma}$)
- 2)показує реактивну потужність по кожній фазі ($Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\Sigma}$)
- 3)Показує повну потужність і $\cos\phi$
- 4)показує мінімальне, максимальне і середнє значення напруги
- 5)показує ємнісну і індуктивне складові реактивної енергії
- 6)запис подій(максимальні/мінімальні/середні значення напруги/сили струму)

Комплексний підхід до оцінки енергетичної ефективності роботи електричного двигуна за певний часовий інтервал

- Маючи вимірні дані потрібно їх обробити та визначити комплексний показник ефективності.
- Спочатку обробляються усі основні показники які були описані вище.
- Для врахування режиму роботи електричного двигуна пропонується використовувати наступну формулу за для оцінки середнього значення кожного з показників з урахуванням часового проміжку на протязі якого значення було незмінним.

$$|E = \frac{N_1 \cdot t_1 + N_2 \cdot t_2 + \dots + N_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

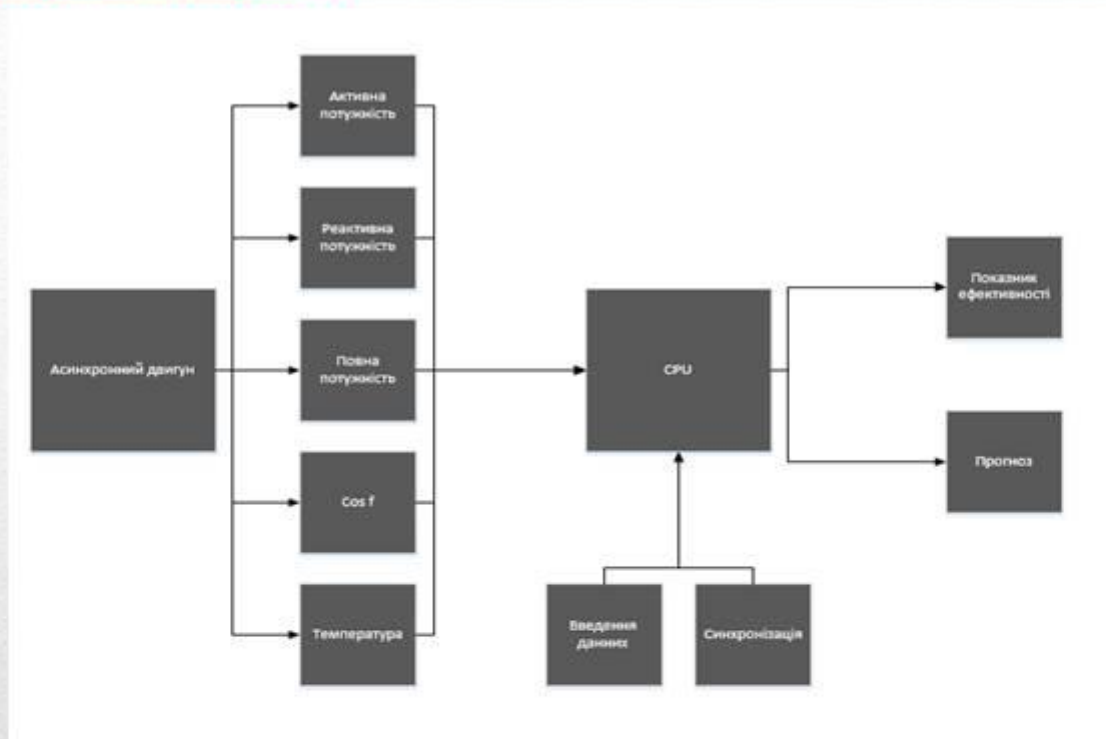
- Де:
 - E – середнє значення з урахуванням часового проміжку
 - N – числове значення характеристики
 - t – час за який вимірюється усталене значення характеристики.
-

- Дізнавшись середні значення кожного з показників ми можемо приступити до порівняння цих значень з умовним ідеалізованим двигуном.
- Під поняттям ідеалізованого двигуна пропонується використовувати такий двигун який своїми характеристиками забезпечуватиме найбільш оптимальне виконання технологічного процесу.
- Слід розуміти що такий двигун навмисно має майже недосяжні параметри для того що б показник ефективності ніколи не міг досягти ідеального значення.

α	ККД α	Коефіцієнт потужності α	Коефіцієнт навантаження α	Температура α
Ідеалізоване значення α	100% α	100% α	80% α	<u>T_n</u> α

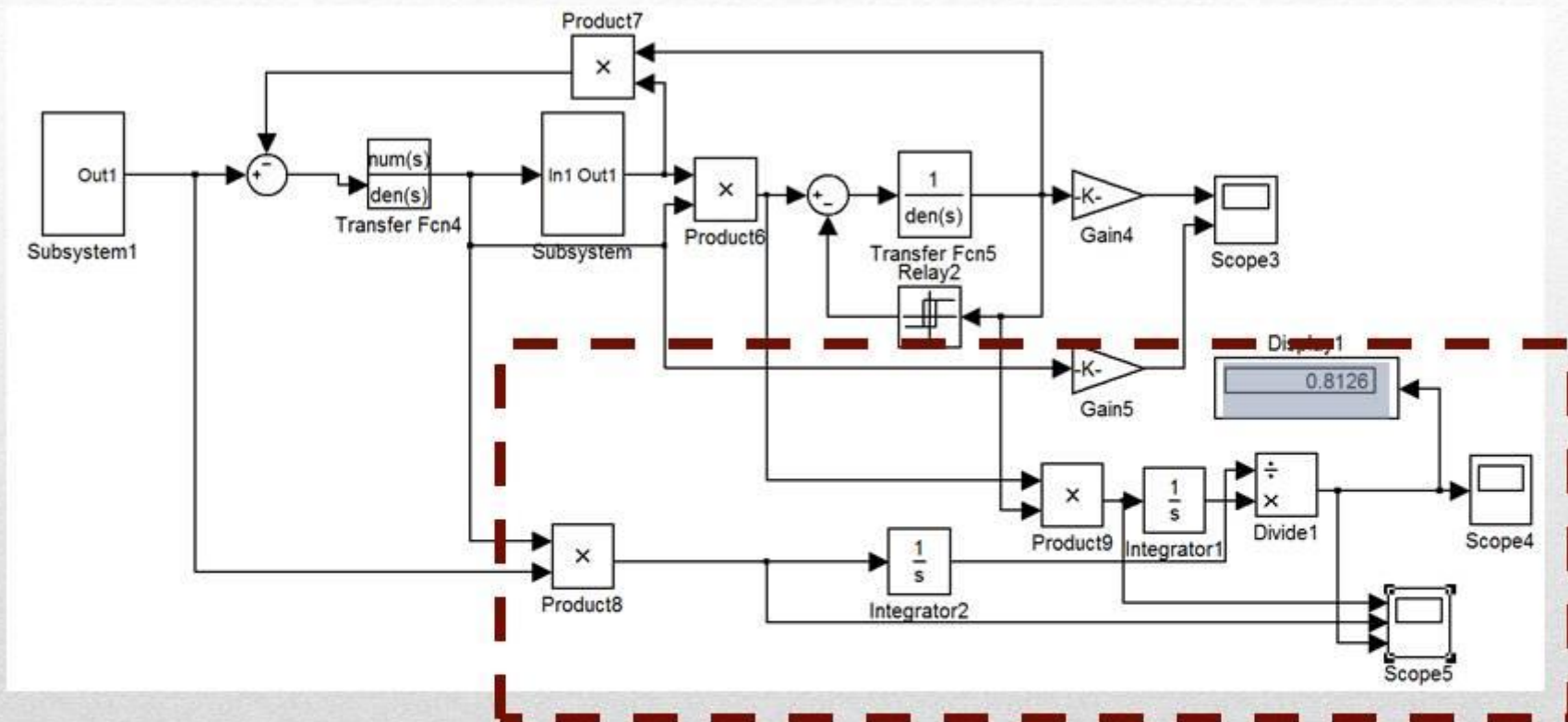
- Коефіцієнт навантаження оберається таким з урахуванням того що при такому значенні технологічний процес матиме не тільки високий ККД а й можливість до тимчасового перенавантаження. Температура T_n – це температура навколишнього середовища.
- Порівнявши кожне значення вимірюваного двигуна з ідеалізованим ми отримаємо ряд відношень у відсотках які пропонується додати та розділити на кількість наших показників отримавши середню розбіжність по значенням.

Структурна схема апарату



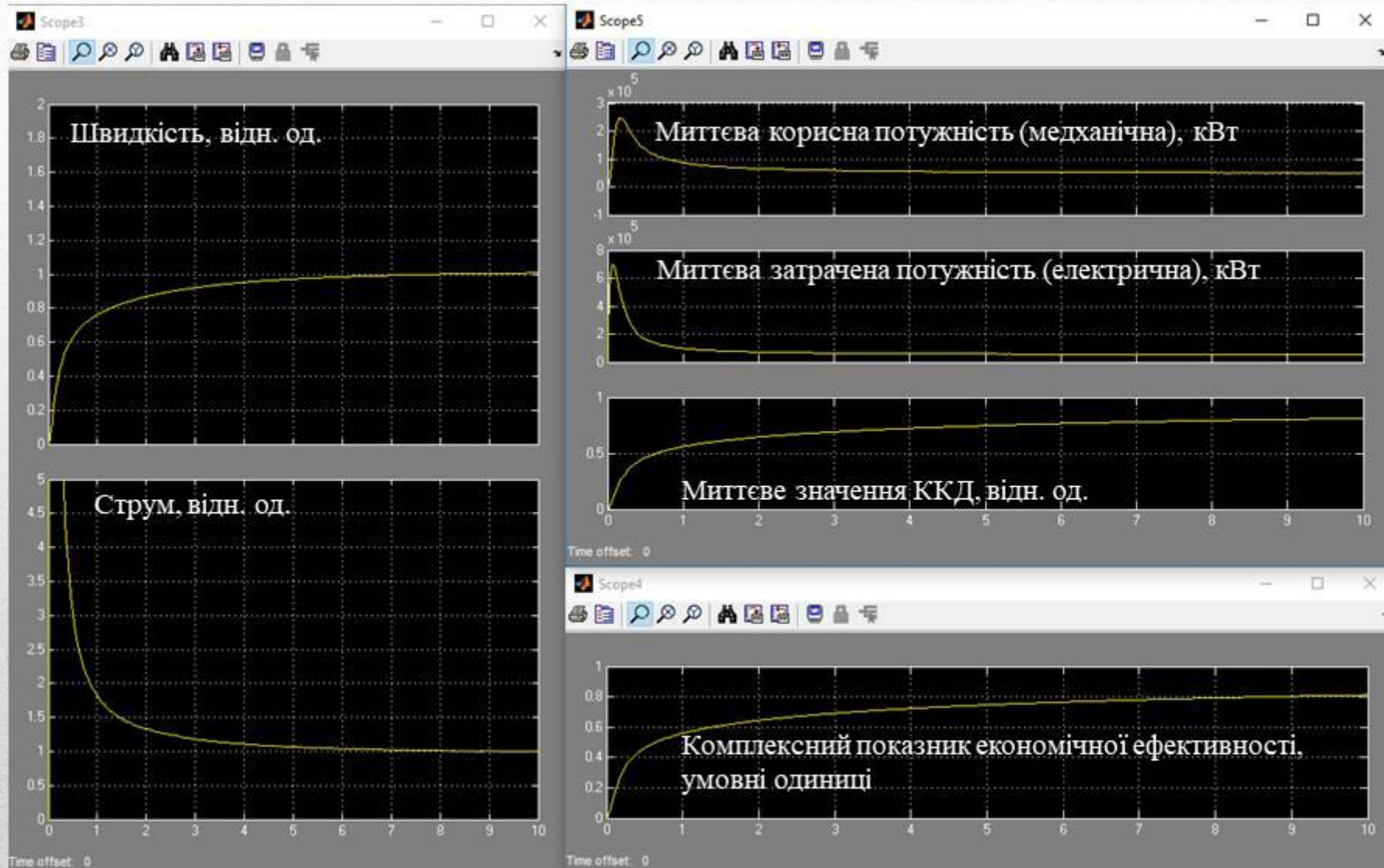
- Її принцип роботи наступний. З асинхронного двигуна зчитуються усі показники та їх значення передаються у мікропроцесор який обробляє їх по заданим формулам. Також присутня можливість введення даних для корекції обчислень якщо у цьому є потреба та синхронізація. Процесор повинен виводити загальний показник ефективності та прогнозувати ефективність в подальшому спираючись на отриманні данні.
- Основним обчислювальним приладом було вирішено використовувати аналізатор параметрів мережі TPM-01ESH.

Моделювання роботи двигуна

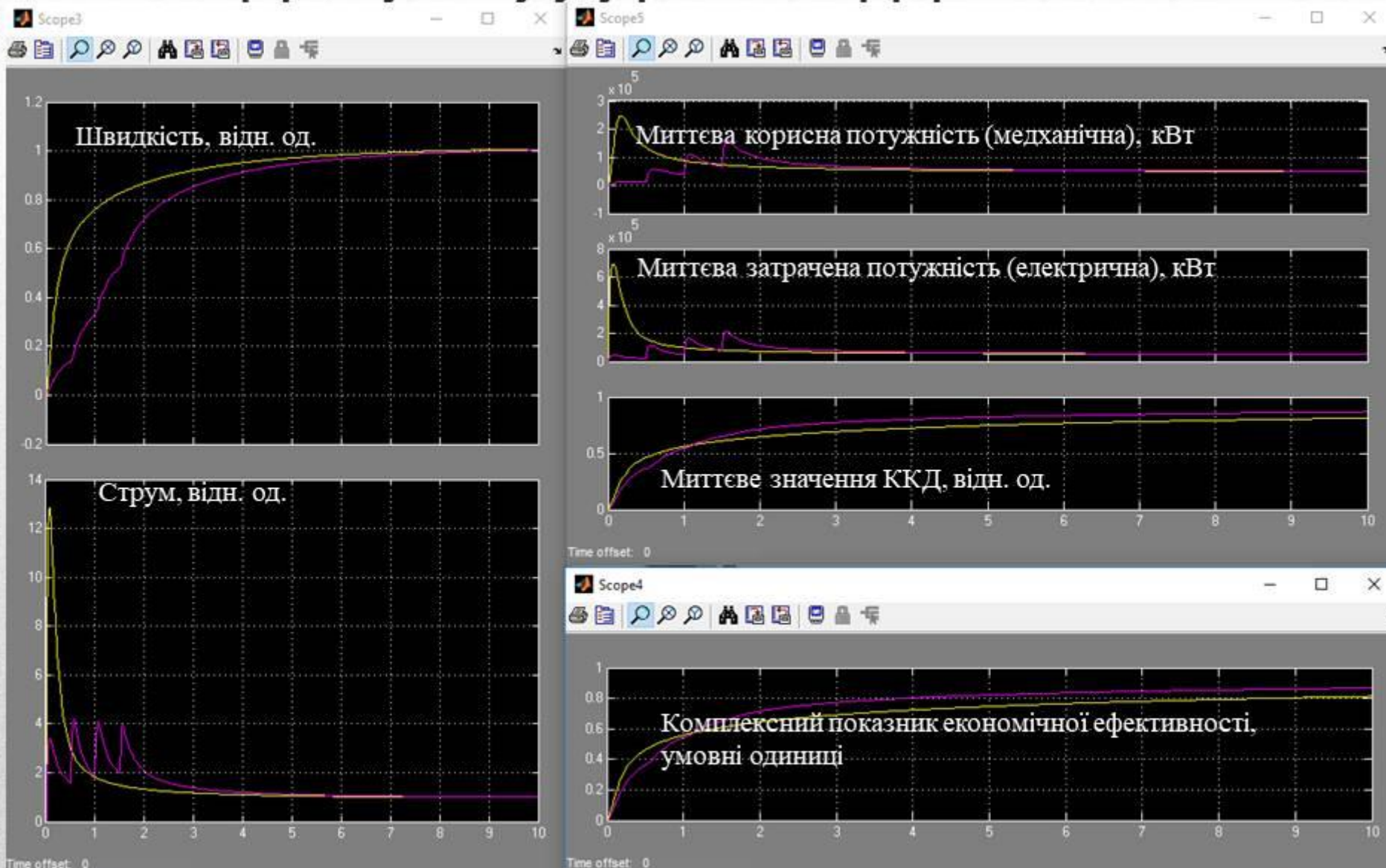


- Модель роботи тягового двигуна на номінальне навантаження при плавній зміні частоти напруги живлення (виділено область пристрою розрахунку комплексного показника економічної ефективності в умовних одиницях за час роботи протягом 10с)

Результати моделювання роботи тягового двигуна при плавному розгоні на номінальне навантаження



Результати моделювання роботи тягового двигуна при плавному розгоні (жовтий графік) і ступеневому пуску (фіолетовий колір графіків)





Висновки:

- 1. Отримав подальший розвиток метод визначення ефективності роботи електропривода за певний час, який на відміну від відомих базується на використанні інтегрального показника ефективності роботи привода, що дозволяє оцінити роботу привода за певний час.**
- 2. Запропонований підхід до оцінки ефективності роботи тягового електропривода дозволяє оцінити економічний ефект від впровадження новітніх технологій, нового обладнання, новітніх методик керування тощо.**

Дякую за увагу

08-24.МКР.021.00.000 Е2

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Методи та засоби визначення ефективності роботи електричних приводів змінного струму Комплексний показник енергетичної ефективності двигуна при роботі за певний час	Лист	№	№
Розробив.		Чайка І. А.	<i>Чайка І. А.</i>	21.11.23				
Перевірив		Мошноріз М. М.	<i>Мошноріз М. М.</i>	27.11.23				
Т. контр.								
Реценз.		<i>Мошноріз М. М.</i>	<i>Мошноріз М. М.</i>	11.12.23				
Норм. кон.		<i>Мошноріз М. М.</i>	<i>Мошноріз М. М.</i>	20.11.23				
Затверд.		Мошноріз М. М.	<i>Мошноріз М. М.</i>	28.11.23				

ВНТУ, гр. ЕІН

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Методи та засоби визначення ефективності роботи електричних приводів змінного струму. Комплексний показник енергетичної ефективності двигуна при роботі за певний час

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-22м

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

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність	91,7%
Схожість	8,3%

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

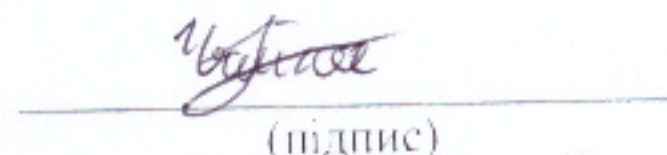

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

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

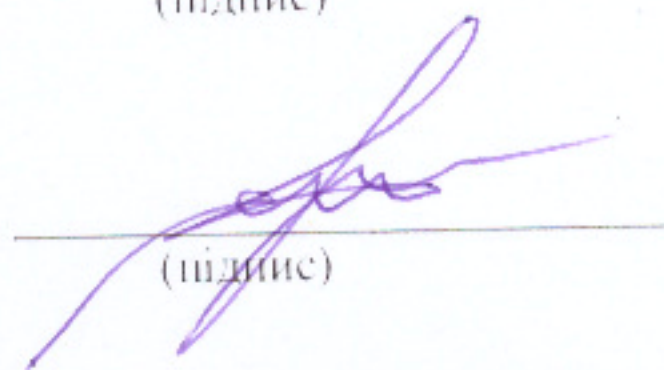
Автор роботи


(підпис)

Чайка І.А.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Мошнорізі М.М.

(прізвище, ініціали)