

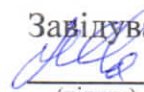
Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТЕМ

 /Андрій МУХА/
(підпис)

Дата 01.06.2023

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом»

за освітньою програмою: «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»


зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент
групи «ЕП20120»


(підпис студента)

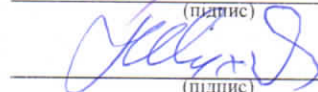
/Володимир ЯРЕМЕНКО/
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

/доц. Олексій БАЛІЙЧУК/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:


(підпис)

/доц. Оксана КАРЗОВА/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

(назва розділу)

(підпис)

//

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

//

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

//

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

//

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Дніпро – 2023 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Management of energy and economic processes»

Department «Electrical engineering and electromechanics»

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic: «Study of operations characteristics of an asynchronous motor by the way of analytical method»

according to educational curriculum «Electromechanical automation systems and electric drive»

in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics»

Done by the student of the group ЕП20120: /Volodymyr YAREMENKO/

Scientific Supervisor: /Oleksii BALIICHUK/

Normative controller: /Oksana KARZOVA/

Supervisors

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| <hr/> | // |
| (Chapter title heading) | (position, name, surname) |
| <hr/> | // |
| (Chapter title heading) | (position, name, surname) |
| <hr/> | // |
| (Chapter title heading) | (position, name, surname) |
| <hr/> | // |
| (Chapter title heading) | (position, name, surname) |

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра: «Електротехніка та електромеханіка»

Рівень вищої освіти: бакалавр

Освітня програма: «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студенту Яременко Володимир Анатолійович

1. Тема роботи: «Дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом»

Керівник роботи: Балійчук Олексій Юрійович, доцент

затверджені наказом № 1083 ст від 24.10.2022

2. Строк подання студентом роботи: 29.05.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Теорія роботи асинхронних трифазних машин, методика проведення випробувань електричних машин

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Опис аналітичного методу визначення робочих характеристик асинхронного двигуна, опис г-подібної спрощеної схеми заміщення асинхронного двигуна, опис досліду неробочого ходу і короткого замикання асинхронного двигуна

4.2 Основна частина: Результати практичного виконання досліду неробочого ходу і короткого замикання асинхронного двигуна, визначення величин, необхідних для подальшого розрахунку. Розрахунок і побудова робочих характеристик асинхронного двигуна типу АК-51/4

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях при виконанні випробувань електричних машин

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна. 2. Практичні результати виконання досліду неробочого ходу і короткого замикання асинхронного двигуна типу АК-51/4. 3. Результати розрахунку робочих характеристик асинхронного двигуна. 4. Побудова робочих характеристик асинхронного двигуна типу АК-51/4.

6. Консультанти розділів роботи:

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Завдання видав: (підпис консультанта, дата) | Завдання прийняв: (підпис студента, дата) |
|--------|---|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1 | Вступ | 06.02.2023 | 5% |
| 2 | Розділ 1. Опис аналітичного методу визначення робочих характеристик асинхронного двигуна | 20.02.2023 | 20% |
| 3 | Розділ 2. Результати практичного виконання дослідів неробочого ходу і короткого замикання асинхронного двигуна типу АК-51/4 | 06.03.2023 | 20% |
| 4 | Розділ 3. Розрахунок і побудова робочих характеристик двигуна типу АК-51/4 | 03.04.2023 | 40% |
| 5 | Розділ 4. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях при виконанні випробувань електричних машин | 17.04.2023 | 10% |
| 6 | Висновки і рекомендації | 24.04.2023 | 5% |
| 7 | Подання кваліфікаційної роботи до кафедри | 29.05.2023 | 100% |
| 8 | Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії | 27.06.2023 | |

Студент


(підпис)

Володимир ЯРЕМЕНКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

доц. Олексій БАЛІЙЧУК
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

| № рядка | Формат | Позначення | Назва | Кільк. арк. | № екз. | Прим |
|---------|--------|-----------------|--------------------------------|-------------|--------|------|
| 1 | | | <u>Документація загальна</u> | | | |
| 2 | | | Заново розроблена | | | |
| 3 | A4 | 6.141.200119.ПЗ | Пояснювальна записка | 41 | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | Запозичена | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | <u>Графічна частина</u> | | | |
| 8 | | | Заново розроблена | | | |
| 9 | A4 | 6.141.200119.01 | Г-подібна схема заміщення | | | |
| 10 | | | асинхронного двигуна | 1 | | |
| 11 | A4 | 6.141.200119.02 | Практичні результати виконання | | | |
| 12 | | | дослідження неробочого ходу і | | | |
| 13 | | | короткого замикання | 1 | | |
| 14 | A4 | 6.141.200119.03 | Результати розрахунку робочих | 1 | | |
| 15 | | | характеристик асинхронного | | | |
| 16 | | | двигуна | | | |
| 17 | A4 | 6.141.200119.04 | Побудова робочих характери- | 1 | | |
| 18 | | | стик асинхронного двигуна | | | |
| 19 | | | АК-51/4 | | | |
| 20 | | | | | | |
| 21 | | | Запозичена | | | |
| 22 | | | | | | |
| 23 | | | <u>Електронна частина</u> | | | |
| 24 | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------------|------|---------------|--------|-------|--|------|---------|
| | | | | | 6.141.200119.ВР | | |
| Зм.. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розробив. | | Яременко В.А. | | 09.06 | | | |
| Керівник | | Балійчук О.Ю. | | 09.06 | | | |
| Консульт | | | | | | | |
| Н. Контр. | | Карзова О.О. | | 09.06 | | | |
| Зав.кафед. | | Муха А.М. | | 09.06 | | | |
| | | | | | Відомість кваліфікаційної роботи | | |
| | | | | | Літ. | Арк. | Акрушів |
| | | | | | | 5 | 50 |
| | | | | | МОН України. УДУНТ Кафедра ЕТЕМ, група ЕП20120 | | |

РЕФЕРАТ

Дипломна кваліфікаційна робота на тему: «Дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом» яка складається з 4 розділів в якому містить: 41 с., 15 рис., 8 табл., 2 додатки, 9 джерел.

Об'єкт розробки — Робочі характеристики асинхронного двигуна з фазним ротором типу АК-51/4.

Мета роботи — ознайомлення та розроблення методів розрахунку робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом з огляду на дослідження режимів КЗ та ХХ.

В розділі 1 представлений опис та визначення робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом в якому показано основні фактори як: аналітичний режим, г-подібна спрощеної схема заміщення, і також процес КЗ та ХХ.

В розділі 2 з отриманих даних після дослідження даного асинхронного двигуна АК-51/4 проведено розрахунок та побудовано графіки залежності досліду короткого замикання та холостого ходу.

В розділі 3 від отриманих даних від попереднього розділу цей розділ присвячений розрахунку і побудові робочих характеристик двигуна АК-51/4.

В розділі 4 надані рекомендації з приводу охорони праці і безпеки надзвичайних ситуаціях при виконанні випробувань електричних машин.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, ХОЛОСТИЙ ХІД, АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД, РОБОЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ДВИГУН З ФАЗНИМ РОТОРОМ, СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ.

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-----------------|------|
| | | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 9 |
| РОЗДІЛ 1 ОПИС АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА | 11 |
| 1.1 Визначення експлуатаційних характеристик..... | 11 |
| 1.2 Опис аналітичного методу | 13 |
| 1.3 Опис г-подібної спрощеної схеми заміщення асинхронного двигуна | 14 |
| 1.4 Опис процесу холостого ходу і короткого замикання | |
| 1.5 асинхронного двигуна | 15 |
| РОЗДІЛ 2 РЕЗУЛЬТАТИ ПРАКТИЧНОГО ВИКОНАННЯ ДОСЛІДУ НЕРОБОЧОГО ХОДУ І КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТИПУ АК-51/4 | 20 |
| 2.1 Паспортні дані досліджуваного двигуна типу АК-51/4..... | 20 |
| 2.1.1 Дослідження асинхронного двигуна в режимі КЗ..... | 20 |
| 2.1.2 Дослідження асинхронного двигуна в режимі ХХ | 22 |
| 2.2 Побудова характеристик КЗ і ХХ для двигуна типу АК-51/4..... | 24 |
| 2.3 Висновки до другого розділу | 26 |
| РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА ТИПУ АК-51/4..... | 28 |
| 3.1 Розрахунок аналітичного методу робочих характеристик АД | 28 |
| 3.2 Побудова робочих характеристик | 32 |
| РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ | |

| | | | | | | | | | |
|------|------|---------------|--------|-------|--|---|------|---------|----|
| | | | | | Пояснювальна записка | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом | Літ. | Маса | Масштаб | |
| | | Яременко В.А. | | 01.06 | | | | | |
| | | Балійчук О.Ю. | | 01.06 | | | 1 | 1 : 1 | |
| | | | | | | Арк. | 7 | Аркушів | 50 |
| | | | | | | 6.141.200119.ПЗ | | | |
| | | | | | | МОН України. УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕП20120 | | | |
| | | Карзова О.О. | | | | | | | |
| | | Муха А.М. | | | | | | | |

СИТУАЦІЯХ ПРИ ВИКОНАННІ ВИПРОБУВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ

| | |
|---|----|
| МАШИН..... | 34 |
| 4.1 Правила електробезпеки при виконанні робіт з електроустановками..... | 34 |
| 4.2 Правильне використання методів захисту працівників від можливих небезпек..... | 35 |
| 4.3 Проведення інструктажів з безпеки для працівників, які беруть участь у випробуваннях електричних машин..... | 36 |
| 4.4 Виконання вимог законодавства про охорону праці та безпеку відповідно до виконуваних робіт..... | 37 |
| ВИСНОВКИ..... | 39 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 40 |
| СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ..... | 41 |
| ДОДАТКИ..... | 42 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВСТУП

Асинхронні двигуни є одними з найбільш поширених типів електродвигунів, що використовуються в різних галузях промисловості. Вивчення їх експлуатаційних характеристик є важливою частиною електротехніки, оскільки дозволяє визначити такі важливі параметри, як потужність, ККД і коефіцієнт потужності.

Такий підхід дозволяє знизити витрати на проектування та експлуатацію електромеханічних систем і забезпечити їх оптимальне використання.

Однією із основних задач при дослідженні робочих характеристик асинхронного двигуна є визначення різних параметрів, які впливають на його роботу. До таких параметрів належать напруга живлення, потужність, частота обертання ротора, коефіцієнт корисної дії та інші. Для аналізу цих параметрів можуть використовуватись різні методи, такі як метод скінченних елементів, метод оберненої динаміки та інші [2].

Однією з основних переваг аналітичного методу дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна є те, що він дозволяє знайти рішення без необхідності проведення фізичного експерименту безпосереднього навантаження машини, що забезпечує значну економію часу та коштів. Крім того, аналітичний метод дозволяє враховувати різноманітні параметри та умови, що дозволяє отримувати точні та повні дані про роботу асинхронного двигуна в різних режимах його роботи.

Одним з найбільш поширених методів аналізу асинхронних двигунів є метод складових струмів, який використовується для визначення таких параметрів двигуна, як струм, напруга, потужність, ККД і коефіцієнт потужності. Цей метод дозволяє визначити експлуатаційні характеристики двигуна за допомогою математичних формул і рівнянь [6].

Іншим методом аналізу є метод кругових діаграм, який використовується для визначення експлуатаційних характеристик асинхронних двигунів у векторній формі. Цей метод дозволяє визначити

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

6.141.200119.ПЗ

параметри двигуна за допомогою певних геометричних побудов, що представляють фізичні процеси в двигуні.

Аналітичний метод використовується для розрахунку характеристик двигуна при його проектуванні, а також може бути використаний при експлуатації.

Використання аналітичного методу для вивчення експлуатаційних характеристик асинхронного двигуна може допомогти знизити витрати на проектування і виробництво, а також забезпечити більш ефективне використання електроенергії під час роботи. Однак застосування аналітичного методу вимагає відповідних знань та досвіду в галузі електротехніки та математики, тому його застосування може бути обмежене для неспеціалістів.

В даний час також існують програмні пакети, які використовують метод аналізу для вивчення робочих характеристик асинхронного двигуна. Ці пакети можуть допомогти скоротити час і зусилля, необхідні для проведення досліджень, а також для виконання обчислень з високою точністю і швидкістю.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 1

ОПИС АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

1.1 Визначення експлуатаційних характеристик

Розрахунок робочих характеристик можна проводити за допомогою кругової діаграми або аналітичними методами. Побудова кругової діаграми більш інтуїтивно зрозуміла, але менш точна, оскільки вона потребує графічних побудов, що знижує точність методу. Аналітичний метод більш загальний, дозволяє враховувати варіацію окремих параметрів у різних випадках і легко перекладати їх на мову програмування при використанні комп'ютера для розрахунків. Робочі характеристики визначають робочі властивості асинхронного двигуна (АД). Робочими характеристиками асинхронного двигуна називаються залежності частоти обертання (або ковзання) ротора n , коефіцієнта корисної дії η , коефіцієнта потужності $\cos\varphi$, струму статора I_1 , моменту на валу M_2 від потужності P_2 , або коефіцієнта навантаження $P_2 / P_{2н}$ при постійній напрузі ($U_1 = const$) і частоті ($f_1 = const$) на статорі. Прикладом робочих характеристик асинхронного двигуна можуть бути залежності, наведені на рис. 1.1.

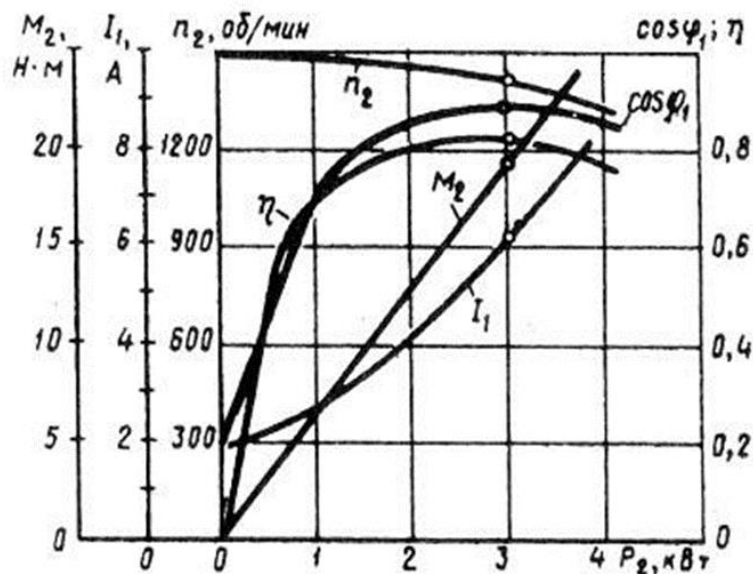


Рис. 1.1 Робочі характеристики асинхронного двигуна.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

Для зменшення втрат потужності в роторі та підвищення ККД двигун розроблено з малим номінальним ковзанням. Тому швидкісна характеристика, є жорсткою (рис. 1.1).

Тому при переході від холостого ходу до номінального навантаження частота обертання ротора знижується (на 2...6%) [2].

Співвідношення ККД і коефіцієнта потужності має такі ж характеристики, як і для трансформаторів, тобто максимальний ККД відповідає 70...85% від номінального навантаження. Крива $\cos\varphi = (P_2 / P_{2н})$ також має невеликий максимум. Через низький коефіцієнт потужності робота асинхронних двигунів при малих навантаженнях енергетично не вигідна. Максимальний коефіцієнт потужності асинхронного двигуна:

- малої і середньої потужності (1... 100 кВт) — 0,7...0,9;
- великої потужності (понад 100 кВт) — 0,9...0,92.

Обертаючий момент на валу входить у співвідношення:

$$P_2 = M_2 \cdot \omega_2$$

Оскільки швидкісна характеристика є жорсткою, крива обертаючого моменту майже лінійна. Струм статора I_1 — це струм, який споживає двигун від живлячої мережі. Залежності $I_1 = f(P_2 / P_{2н})$ майже лінійні [2].

Моментна характеристика змінює свій вигляд при збільшенні ефективного опору ротора. Максимальний крутний момент залишився колишнім, але зміщується у бік критичних ковзань [9].

Для створення можливості введення в коло активного опору ротора двигун виконано з фазним ротором. Обмотки фазного ротора мають таке ж число фаз, як і обмотки статора (як правило $m_2 = 3$). Початки фаз обмотки ротора з'єднані з контактними кільцями, а при пуску - з пусковим реостатом через щіточні контакти.

Критичне ковзання. Якщо поступово збільшувати навантаження на двигун, то ковзання буде збільшуватися (ротор буде все далі відставати від

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

поля, що обертається), і струм, що наводиться в роторі, буде збільшуватися пропорційно ковзанню, а крутний момент - пропорційно йому, при низькому навантаженні можна припустити, що крутний момент пропорційний ковзанню. Але зі збільшенням ковзання збільшуються активні втрати в роторі, що зменшує струм ротора, тому крутний момент зростає повільніше, ніж ковзання, і крутний момент досягає максимуму при певному ковзанні, і потім починає знижуватися.

Коефіцієнт потужності асинхронних двигунів на холостому ходу зазвичай не перевищує 0,2. У міру збільшення навантаження на вал двигуна активна складова струму I_1 збільшується і коефіцієнт потужності, досягає більш високого значення (0,80-0,90) при навантаженні, близькому до номінального. Подальше збільшення навантаження на вал двигуна супроводжується зменшенням $\cos\phi_1$ це пов'язано з ростом індуктивного опору ротора через збільшення ковзання, а як слід, і частоти струму в роторі. Щоб збільшити коефіцієнт потужності асинхронних двигунів, дуже важливо, щоб двигун завжди працював з навантаженням, близьким до номінального, або, принаймні, більшу частину часу. Наприклад, в двигунах, в яких робочою схемою з'єднання обмотки статора є трикутник, можливе з'єднання обмотки статора в зірку, за рахунок чого фазна напруга знижується в кілька разів. В цьому випадку магнітний потік статора, а як наслідок і струм намагнічування зменшуються приблизно в кілька разів. Крім того, активна складова струму статора дещо збільшується. Все це сприяє збільшенню коефіцієнта потужності двигуна [4].

1.2 Опис аналітичного методу

Аналітичний метод розрахунку робочих характеристик асинхронних двигунів з використанням побудови кругової діаграми - Діаграмний аналіз має очевидний недолік: необхідність побудови цієї діаграми та неминучі неточності при побудові та подальшому використанні, на відміну від розрахункових циклів з додатковими структурами, сегментними

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

вимірюваннями, і т. і. Метод аналізу властивостей не передбачає графічних побудов і вимірювань за ними, а деяке збільшення обсягу математичних розрахунків не викликає труднощів, якщо використовуються сучасні методи обчислень та комп'ютерні програмні засоби.

Більш докладно з чисельним прикладом аналітичний метод описано в третьому розділі роботи.

1.3 Опис г-подібної спрощеної схеми заміщення асинхронного двигуна

Методи розрахунку характеристик засновані на системі рівнянь струмів і напруг асинхронної машини, якій відповідає Г-подібна схема заміни (рис.1.2.). Активні та індуктивні носії схеми заміни є параметрами машини [3].

Коефіцієнт c_1 представляє відношення вектора фазового напруги, взяте зі зворотним знаком U_1 до вектора ЕРС E_1 при синхронному обертанні машини з урахуванням фазового зсуву цих векторів.

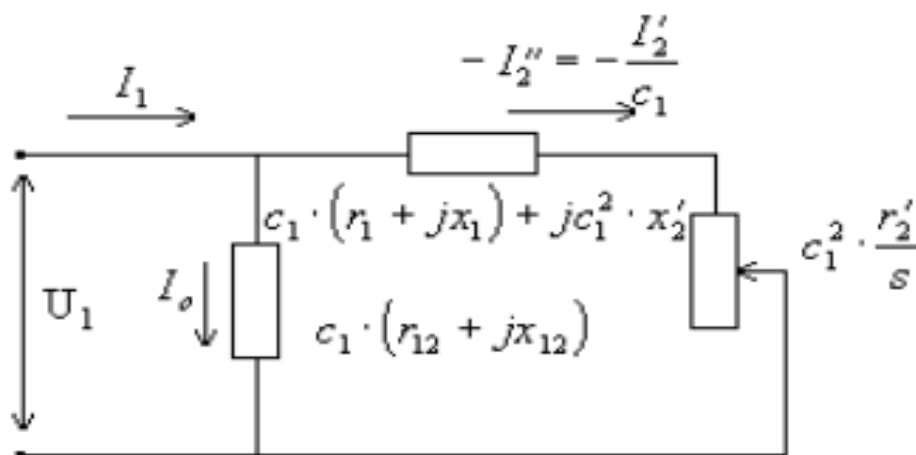


Рис. 1.2. Перетворена Г-подібна схема заміщення наведеної асинхронної машини

1.4 Опис процесу холостого ходу і короткого замикання асинхронного двигуна.

Дослідження холостого ходу. Живлення асинхронного двигуна на холостому ходу здійснюється через індукційний регулятор напруги (ІР) (рис. 1.3) або регульований автотрансформатор, який дозволяє змінювати напругу в широких межах. При цьому вал двигуна повинен бути вільний від механічного навантаження.

У режимі холостого ходу (ХХ) можна прийняти $p_{e2} \approx 0$, тому $S \approx 0$, $n_{20} = n_1$.

У міру збільшення навантаження на вал втрати струму в роторі збільшуються p_{e2} зростають, ковзання S збільшується, n зменшується. У міру збільшення активного опору обмотки ротора r_2 кут нахилу до осі абсцис на кривій $n_2 = f(P_2)$ збільшуватиметься, зі збільшенням електричних втрат у роторі p_{e2} .

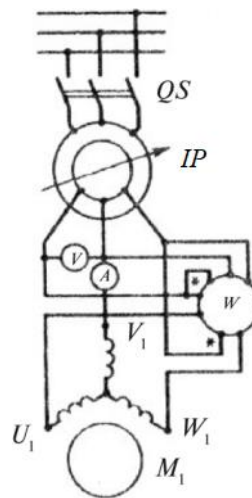


Рис. 1.3. Принципова схема трифазного асинхронного двигуна при випробуваннях на холостому ходу і короткому замиканні

Коефіцієнт потужності $\cos\phi_1$ АД менше одиниці, так як струм статора I_1 має реактивний компонент, необхідний для створення магнітного поля статора.

У режимі холостого ходу $\cos\varphi_1$ найменший, так як струм I_0 при будь-якому навантаженні постійний і має реактивний (індуктивний) характер, через те що зсув по фазі між I_1 та φ_1 великий, тобто, $\varphi_1 \approx 90^\circ$ а $\cos 90^\circ = 0$.

При збільшенні навантаження збільшується активна складова струму I_1 та при навантаженні близькому до номінального $\cos\varphi_1 = 0,8 - 0,9$ тобто найбільший [4].

За подальшого збільшення навантаження $\cos\varphi_1$ зменшується, так як збільшується індуктивний опір обмотки ротора, що обертається X_{1S} через збільшення ковзання, тобто при:

$$\uparrow P_2 \rightarrow n \downarrow \rightarrow s \uparrow \rightarrow \uparrow f_2 = f_1 s \rightarrow \uparrow X_{2S} = 2\pi f_2 L_\sigma.$$

Ваттметр W вимірює активну потужність P_0 , що споживається двигуном у режимі ХХ, що включає електричні втрати в обмотці статора:

$$P_{e1} = m_1 I_0^2 r_1,$$

магнітні втрати в осерді статора P_m і механічні втрати P_{mex} (Вт):

$$P_0 = m_1 I_0^2 r_1 + P_m + P_{mex}.$$

Тут r_1 - активний опір фази статора обмотки (Ом), виміряне безпосередньо після відключення двигуна від мережі, щоб обмотка не встигла охолودитися.

Сума магнітних та механічних втрат двигуна (Вт):

$$P_0 = P_m + P_{mex} = P_0 - m_1 I_0^2 r_1.$$

Коефіцієнт потужності режиму ХХ:

$$\cos\varphi_0 = P_0 / (m_1 U_1 I_0).$$

Досвід починають із підвищеної напруги $U_1 = 1,15U_{ном}$, знижуючи його поступово до $0,4U_{ном}$.

За результатами вимірювань та обчислень будують характеристики ХХ I_0 , P_0 , і $\cos\varphi_0 = f(U_1)$, на яких відзначають значення величин $I_{ном}$, $P_{ном}$, і $\cos\varphi_0$, відповідних номінальній напрузі $U_{ном}$ (рис. 1.3). Якщо графік

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$P_0 = f(U_1)$ продовжити до перетину з віссю координат $U_1 = 0$, то отримаємо величину втрат $P_{мех}$.

Цей поділ магнітних і механічних втрат полягає в тому, що з постійної частоти мережі f_1 частота обертання двигуна як ХХ n_0 , отже, і механічні втрати $P_{мех}$ незмінні. У той самий час магнітний потік Φ прямо пропорційний ЕРС статора E_1 . Для режиму ХХ $U_1 \approx E_1$, тому при $U_1 = 0$ і магнітний потік $\Phi = 0$, отже, і магнітні втрати $P_{м} = 0$. Визначивши величину механічних втрат $P_{мех}$, можна обчислити магнітні втрати (Вт): $P_{м} = P_0 - P_{мех}$ [5].

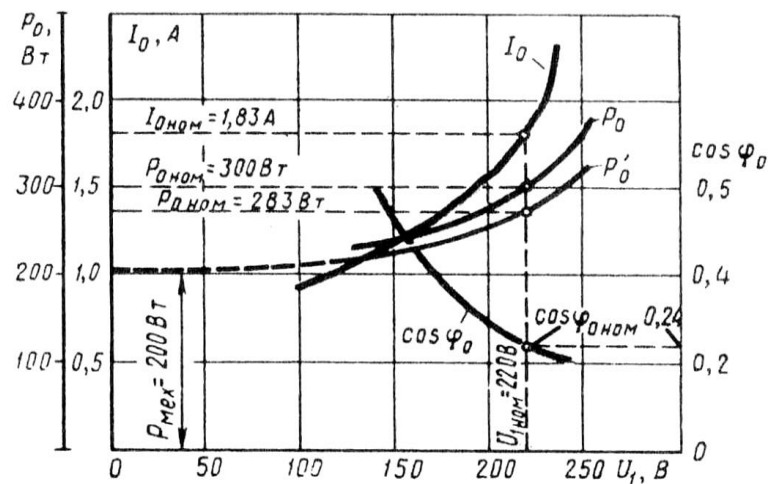


Рис. 1.4. Приклад вигляду характеристик холостого ходу трифазного асинхронного двигуна, що має параметри 3,0 кВт, 220/380 В, 1430 об/хв

Для асинхронних двигунів з фазним ротором дослідження на холостому ході використовується для визначення коефіцієнта перетворення напруги між обмотками статора і ротора. Цей коефіцієнт може бути визначений з достатньою точністю в термінах середніх арифметичних лінійних (розділових фазних напруг) напруг статора по відношенню до аналогічних напруг ротора.

Дослідження короткого замикання. Принципова схема асинхронного двигуна зберігається при перевірці короткого замикання (КЗ), як і при

перевірці холостого ходу (див. рис. 1.3). Однак при цьому вимірювальні прилади повинні бути обрані відповідно до обмежень вимірювання струму, напруги і потужності. Для цього на двигун подається невелика напруга, і ротор повільно повертається, щоб стежити за показаннями амперметра, стрілка якого коливається в залежності від положення ротора двигуна. Пояснюється це взаємним усуненням зубчастих зон ротора і статора, що призводить до коливань індуктивних опорів обмоток двигуна. Межа струму статора для дослідження КЗ встановлюється виходячи з допустимої струмового навантаження мережі живлення і можливості

проведення експерименту в найкоротші терміни, щоб не викликати небезпечного перегріву двигуна. Для двигунів потужністю до 1 кВт можна проводити випробування, починаючи з номінальної напруги $U_k = 0,1U_{ном}$.

У цьому випадку граничний струм $I_k = (1,5 \div 2,5) \cdot I_{ном}$. Для двигунів більшої потужності сила граничного струму $I_k = (2,5 \div 5) \cdot I_{ном}$. За виконання дослідів к.з. у навчальних цілях можна обмежитися граничним струмом $I_k = (1,5 \div 2,5) \cdot I_{ном}$. За виконання дослідів КЗ бажано з'єднання статора обмотки виконувати зіркою.

Визначивши діапазон зміни струму статора при досліді КЗ, дослід починають із граничного значення цього струму, встановивши на індукційному регуляторі відповідну напругу КЗ U_k . Потім поступово знижують цю напругу до значення, при якому струм I_k досягне нижньої межі встановленого діапазону його значень. При цьому знімають показання приладів для 5-7 точок, одна з яких повинна відповідати номінальному струму статора $I_k = I_{ном}$.

Тривалість досліджень має бути мінімально можливим. З цією метою вимірюють лише одне лінійне напруга (наприклад, $U_{кВА}$), оскільки деяка несиметрія лінійної напруги при досвіді КЗ не має значення. За розрахункове значення струму КЗ приймають середнє арифметичне цих двох значень.

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-----------------|------|
| | | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | | 18 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

Після зняття останніх показань приладів двигун слід відключити і відразу ж виміряти активного опору фази обмотки статора r_1 , щоб визначити температуру обмотки. Лінійні напруги та струми перераховують на фазні U_k та I_k . Ваттметр W вимірює активну потужність КЗ P_k . За отриманими значеннями напруги U_k , струмів I_k і потужностей P_k обчислюють такі параметри:

1. Коефіцієнт потужності при КЗ: $\cos \varphi_k = P_k / (m_1 U_k I_k)$;

2. Повний опір к.з. (Ом): $z_k = U_k / I_k$;

3. Активні та індуктивні складові цього опору (Ом):

$$r_k = z_k \cos \varphi_k; \quad x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}.$$

Виміряні та обчислені величини заносять до таблиці, а потім будують характеристики короткого замикання (рис. 1.5): I_k ; P_k ; $\cos \varphi_k = f(U_k)$.

При досліді КЗ обмотки двигуна швидко нагріваються до робочої температури, оскільки при нерухомому роторі двигун не вентилюється.

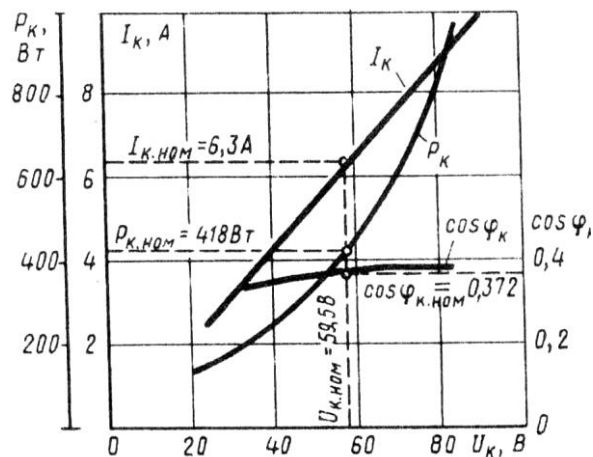


Рис. 1.5. Приклад з вигляду характеристик короткого замикання трифазного асинхронного двигуна з параметрами 3,0 кВт, 220/380 В, 1430 об/хв

РОЗДІЛ 2

РЕЗУЛЬТАТИ ПРАКТИЧНОГО ВИКОНАННЯ ДОСЛІДУ НЕРОБОЧОГО ХОДУ І КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТИПУ АК-51/4

2.1 Паспортні дані досліджуваного двигуна типу АК-51/4

Для результату КЗ та ХХ спочатку потрібно зробити з'єднання обмотки двигуна (мал. 2.1) та виконати розрахунок.

Технічні характеристики двигуна АК-51/4 наведено в табл. 2.1:

Таблиця 2.1 – Паспортні дані

| Тип двигуна | Паспортні дані | | | | | | | Розрахункові дані | | |
|-------------|----------------|-------------|-----------|-----------|----------------------|--------------|----|-------------------|--------------------------------|---|
| | Статор | | | | | Ротор | | р | Схема з'єднання обмоток ротора | |
| | $P_{ном}$ | $U_{ном}$ | $I_{ном}$ | $n_{ном}$ | $\cos \varphi_{ном}$ | $\eta_{ном}$ | U | | | I |
| | кВт | В | А | об/хв | - | % | В | А | - | |
| АК-51/4 | 2,8 | 220/ 380 | 12/7 | 1370 | 0,82 | 78 | 84 | 22,5 | 2 | γ |

2.1.1 Дослідження асинхронного двигуна в режимі КЗ

Дана схема (рис. 2.1.) в якому ротор обертається, а його обмотка замкнена накоротко.

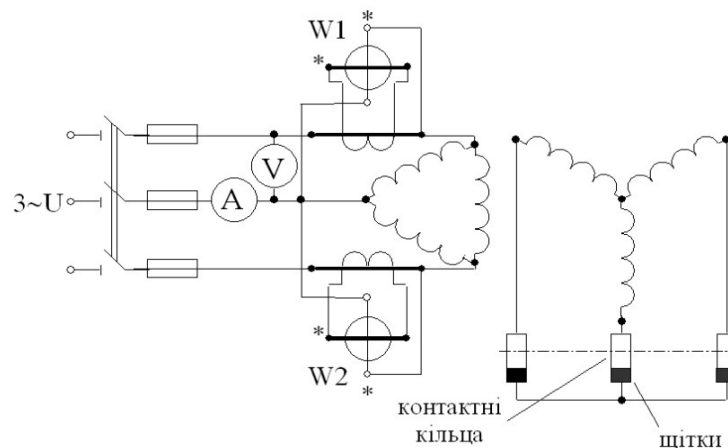


Рис. 2.1. Схема підключення асинхронного двигуна АК-51/4

Необхідно провести вимірювання на 6 точок двигуна АК-51/4 для короткого замикання та внести в табл. 2.2:

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань КЗ

| | | | | | | | | |
|--------------------------|------------|-------|----|----|----|-----|----|----|
| Результати вимірювань | U_K | В | 61 | 55 | 40 | 35 | 30 | 23 |
| | I_K | А | 12 | 10 | 8 | 7 | 6 | 4 |
| | α_1 | поділ | 12 | 9 | 5 | 4,5 | 4 | 3 |
| | α_2 | поділ | 70 | 49 | 29 | 25 | 15 | 8 |

Витрати короткого замикання, Вт

$$P_k = C_w C_{mc} (\alpha_1 + \alpha_2), \quad (2.1)$$

де α_1 і α_2 - показання ватметрів у діленнях для режиму КЗ;

$C_w = 2,5$ - стала ватметра для режиму КЗ;

$C_{mc} = 4$ - стала трансформатора струму;

Тоді відповідно до формули (2.1) отримуємо:

$$P_{k(1)} = 2,5 \cdot 4(12 + 70) = 820 \text{ Вт};$$

$$P_{k(2)} = 2,5 \cdot 4(9 + 49) = 580 \text{ Вт};$$

$$P_{k(3)} = 2,5 \cdot 4(5 + 29) = 340 \text{ Вт};$$

$$P_{k(4)} = 2,5 \cdot 4(4,5 + 25) = 295 \text{ Вт};$$

$$P_{k(5)} = 2,5 \cdot 4(4 + 15) = 190 \text{ Вт};$$

$$P_{k(6)} = 2,5 \cdot 4(3 + 8) = 110 \text{ Вт}.$$

Повна потужність асинхронного двигуна короткого замикання:

$$S_k = \sqrt{3} U_K I_K, \quad (2.2)$$

Тоді відповідно до формули (2.2) отримуємо:

$$S_{k(1)} = \sqrt{3} \cdot 61 \cdot 12 = 1267,86 \text{ ВА};$$

$$S_{k(2)} = \sqrt{3} \cdot 55 \cdot 10 = 952,62 \text{ ВА};$$

$$S_{k(3)} = \sqrt{3} \cdot 40 \cdot 8 = 554,25 \text{ ВА};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$S_{\kappa(4)} = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 7 = 424,35 \text{ ВА};$$

$$S_{\kappa(5)} = \sqrt{3} \cdot 30 \cdot 6 = 311,76 \text{ ВА};$$

$$S_{\kappa(6)} = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 4 = 159,34 \text{ ВА}.$$

Коефіцієнт потужності КЗ

$$\cos \varphi_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{S_{\kappa}}, \quad (2.3)$$

$$\cos \varphi_{\kappa(1)} = 820 / 1267,86 = 0,646;$$

$$\cos \varphi_{\kappa(2)} = 580 / 952,62 = 0,608;$$

$$\cos \varphi_{\kappa(3)} = 340 / 554,25 = 0,613;$$

$$\cos \varphi_{\kappa(4)} = 295 / 424,35 = 0,695;$$

$$\cos \varphi_{\kappa(5)} = 190 / 311,76 = 0,609;$$

$$\cos \varphi_{\kappa(6)} = 110 / 159,34 = 0,609.$$

Результати розрахунків наведено в табл. 2.3:

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків в режимі КЗ

| | | | | | | | |
|-------------------------|----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| P_{κ} | Вт | 820 | 580 | 340 | 295 | 190 | 110 |
| S_{κ} | ВА | 1267,86 | 952,62 | 554,25 | 424,35 | 311,76 | 159,34 |
| $\cos \varphi_{\kappa}$ | - | 0,646 | 0,608 | 0,613 | 0,695 | 0,609 | 0,609 |

2.1.2 Дослідження асинхронного двигуна в режимі ХХ

Проведено вимірювання для неробочого ходу та внесено до табл. 2.4:

Таблиця 2.4 – Результати вимірювань ХХ

| | | | | | | | |
|--------------------------|------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Результати вимірювань | U_1 | В | 230 | 220 | 180 | 160 | 140 |
| | I_0 | А | 4,5 | 4,3 | 3 | 2,5 | 2 |
| | α_1 | поділ | -20 | -18 | -11 | -7 | -6 |
| | α_2 | поділ | 31 | 29 | 18 | 14 | 10 |

Витрати неробочого ходу, Вт,

$$P_0 = C_w C_{mc} (\alpha_1 + \alpha_2), \quad (2.4)$$

де α_1 і α_2 - показання ватметрів у діленнях для режиму ХХ;

$C_w = 10$ - стала ватметра для режиму ХХ;

$C_{mc} = 2$ - стала трансформатора струму для режиму ХХ;

Тоді відповідно до формули (2.4) отримуємо:

$$P_{0(1)} = 10 \cdot 2(-20 + 31) = 220 \text{ Вт};$$

$$P_{0(2)} = 10 \cdot 2(-18 + 29) = 220 \text{ Вт};$$

$$P_{0(3)} = 10 \cdot 2(-11 + 18) = 140 \text{ Вт};$$

$$P_{0(4)} = 10 \cdot 2(-7 + 14) = 140 \text{ Вт};$$

$$P_{0(5)} = 10 \cdot 2(-6 + 10) = 80 \text{ Вт}.$$

Повна потужність асинхронного двигуна ХХ:

$$S_0 = \sqrt{3} U_1 I_0, \quad (2.5)$$

Тоді відповідно до формули (2.5) отримуємо:

$$S_{0(1)} = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 4,5 = 1792,67 \text{ ВА};$$

$$S_{0(2)} = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 4,3 = 1638,52 \text{ ВА};$$

$$S_{0(3)} = \sqrt{3} \cdot 180 \cdot 3 = 935,3 \text{ ВА};$$

$$S_{0(4)} = \sqrt{3} \cdot 160 \cdot 2,5 = 692,82 \text{ ВА};$$

$$S_{0(5)} = \sqrt{3} \cdot 140 \cdot 2 = 415,69 \text{ ВА}.$$

Коефіцієнт потужності ХХ:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{S_0}, \quad (2.6)$$

Тоді відповідно до формули (2.6) отримуємо:

$$\cos \varphi_{0(1)} = 220 / 1792,67 = 0,123;$$

$$\cos \varphi_{0(2)} = 220 / 1638,52 = 0,134;$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 23 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\cos \varphi_{0(3)} = 140 / 935,3 = 0,149;$$

$$\cos \varphi_{0(4)} = 140 / 692,8 = 0,2;$$

$$\cos \varphi_{0(5)} = 80 / 484,97 = 0,165;$$

Результати розрахунків наведено в табл. 2.5:

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків в режимі ХХ

| | | | | | | |
|------------------|----|---------|---------|-------|-------|--------|
| P_0 | Вт | 220 | 220 | 140 | 140 | 80 |
| S_0 | ВА | 1792,67 | 1638,52 | 935,3 | 692,8 | 484,97 |
| $\cos \varphi_0$ | - | 0,123 | 0,134 | 0,149 | 0,2 | 0,165 |

2.2 Побудова характеристик КЗ і ХХ для двигуна типу АК-51/4

Для створення характеристик беремо дані із результатів розрахунків для короткого замикання із табл. 2.2

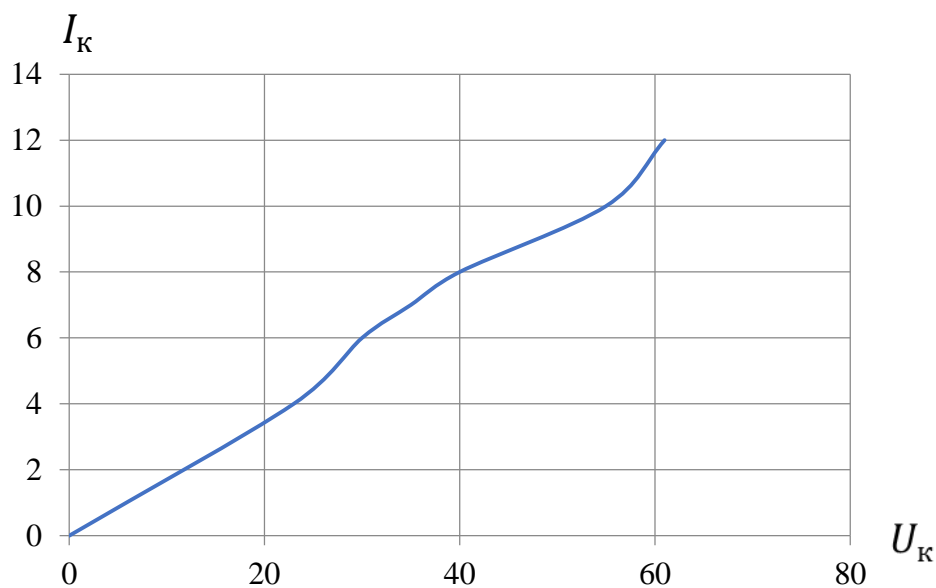


Рис. 2.3 Графік залежності $I_k = f(U_k)$

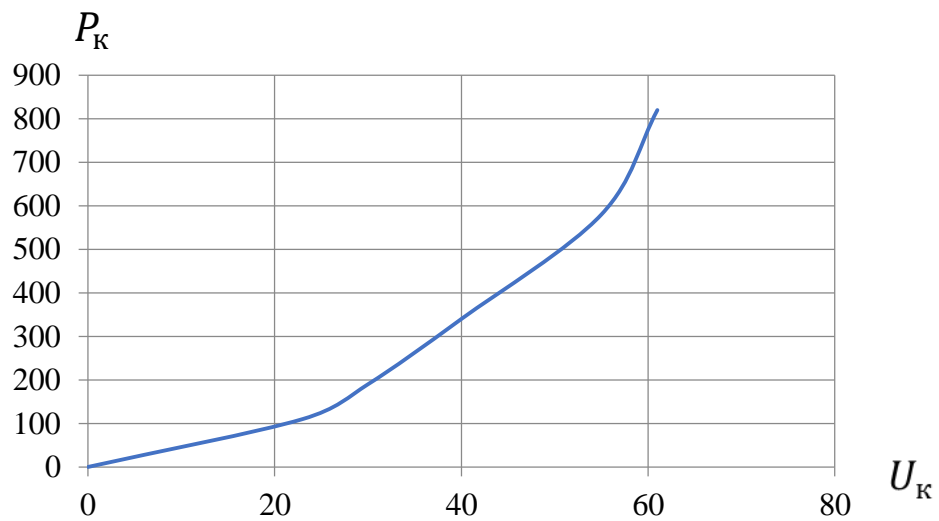


Рис. 2.4 Графік залежності $P_k = f(U_k)$

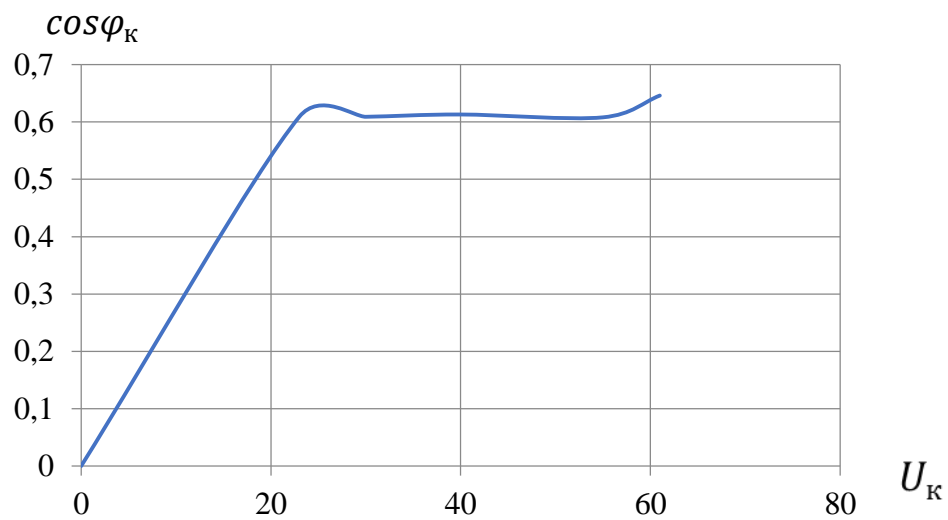


Рис. 2.5 Графік залежності $\cos \varphi_k = f(U_k)$

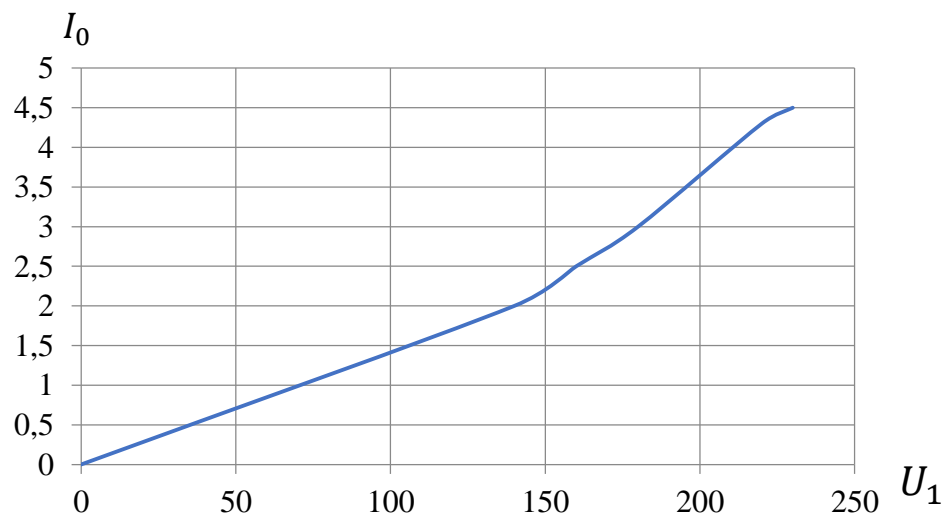


Рис. 2.6 Графік залежності $I_0 = f(U_1)$

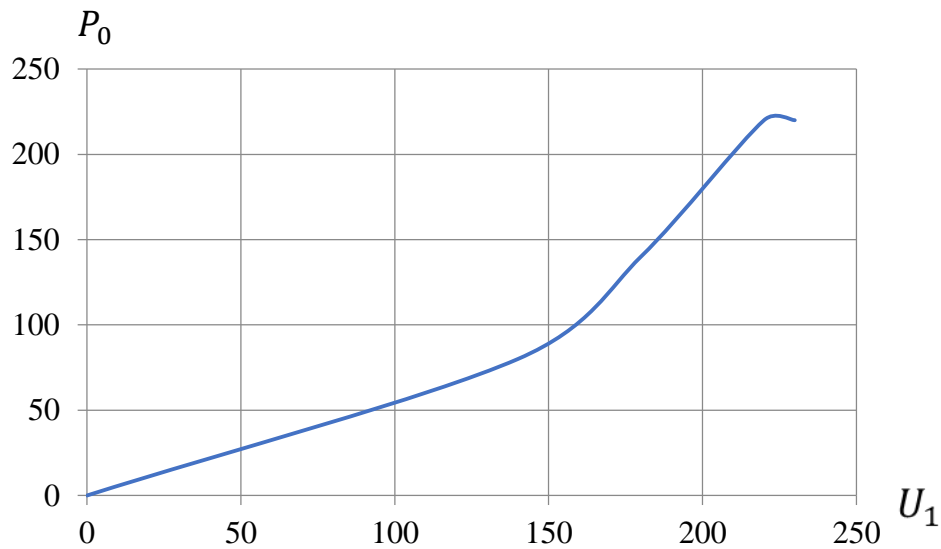


Рис. 2.7 Графік залежності $P_0 = f(U_1)$

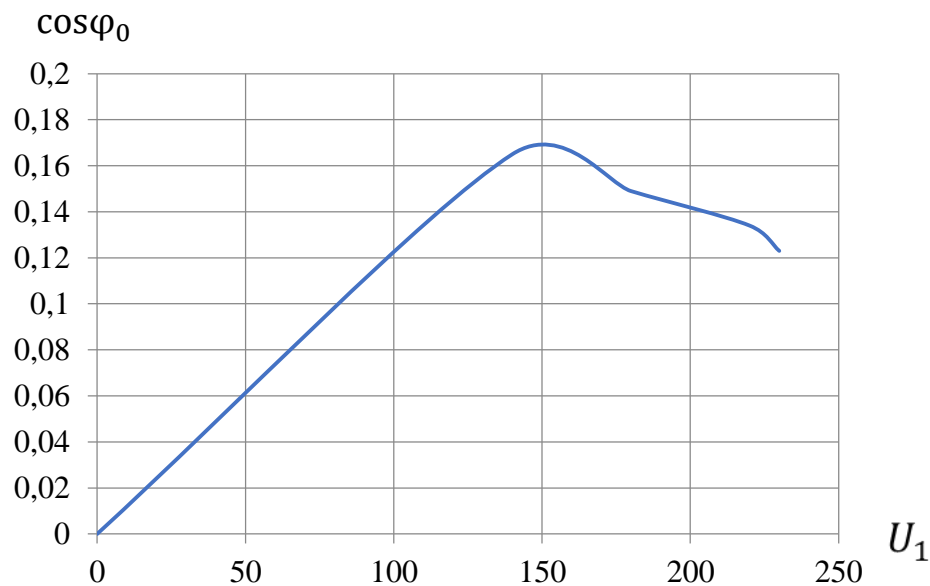


Рис. 2.8 Графік залежності $\cos \varphi_0 = f(U_1)$

2.3 Висновки до другого розділу

На практичному досліді холостого ходу і короткого замикання асинхронного двигуна з фазним ротором було отримано наступні результати.

При холостому ході двигуна з фазним ротором струм споживання був невеликим. Більшість струму йшла на перемагнічування ротора двигуна. При збільшенні напруги живлення, споживаний струм зростає.

При короткому замиканні на валах двигуна з фазним ротором помічено, що температура двигуна збільшується дуже швидко, що може призвести до перегріву і пошкодження обмоток двигуна, тому лабораторний дослід короткого замикання при зниженій напрузі.

При нормальному режимі роботи асинхронного двигуна з фазним ротором, струм споживання залежить від навантаження на його валу. Збільшення навантаження призводить до збільшення споживаного струму. Проте, при збільшенні струму збільшується і температура двигуна, тому важливо не перевантажувати його.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДВИГУНА ТИПУ АК-51/4

3.1 Розрахунок робочих характеристик АД на основі аналітичного методу

Початковими даними для розрахунку є дані, представлені в таблицях нижче.

Таблиця 3.1 – Паспортні дані досліджуваного двигуна

| $P_{ном}$ | $U_{ном}$ | $I_{ном}$ | $n_{ном}$ | $\cos\varphi_{ном}$ | $\eta_{ном}$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|--------------|
| 2800 | 220 | 12 | 1370 | 0,82 | 0,78 |

Таблиця 3.2 – Результати дослідження холостого ходу

| $U_{1\phi}$ | $I_{0\phi}$ | P_0 | $\cos\varphi_0$ | φ_0 |
|-------------|-------------|-------|-----------------|-------------|
| 220 | 2,49 | 220 | 0,13 | 1,44 |

Таблиця 3.3 – Результати дослідження короткого замикання

| $U_{1\phi}$ | $I_{1к\phi}$ | P_k | $\cos\varphi_k$ | $I_{1кн\phi}$ | φ_0 |
|-------------|--------------|-------|-----------------|---------------|-------------|
| 61 | 6,94 | 820 | 0,65 | 25,02 | 0,87 |

Відповідно до стандартної методики, викладеної в [1] проведемо розрахунок робочих характеристик.

Активний опір обмотки ротора :

$$r_2' = r_k - r_1 = 6,85 - 1,9 = 4,95 \text{ Ом}, \quad (3.1)$$

де $r_1 = 1,9 \text{ Ом}$; $r_k = 6,85 \text{ Ом}$.

Критичне ковзання:

$$s_m = r_2' / x_k = 4,95 \cdot 8,09 = 0,61; \quad (3.2)$$

де $x_k = 8,09 \text{ Ом}$.

Номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1370}{1500} = 0,09; \quad (3.3)$$

$$\text{де } n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/хв}; n = 1370 \text{ об/хв.}$$

Еквівалентний активний опір:

$$r_{ек} = r_1 + r_2' / s, \quad (3.4)$$

$$r_{ек(ном)} = 1,9 + 4,95 / 0,09 = 56,85 \text{ Ом.}$$

Повний опір при режимі КЗ:

$$z_{к} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{3}I_{ном}} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 12} = 10,6 \text{ Ом}, \quad (3.5)$$

$$\cos \varphi_{к} = \frac{P_{к}}{\sqrt{3}U_{к}I_{к}} = \frac{820}{\sqrt{3} \cdot 61 \cdot 6,94} = 0,65;$$

$$\varphi_{к} = \arccos(0,65) = 0,87$$

$$x_{к} = z_{к} \sin \varphi_{к} = 10,6 \cdot \sin(0,87) = 8,09 \text{ Ом.}$$

Еквівалентний повний опір робочого (головного) контуру схеми заміщення:

$$z_{ек} = \sqrt{r_{ек}^2 + x_{к}^2}, \quad (3.6)$$

$$z_{ек(ном)} = \sqrt{r_{ек(ном)}^2 + x_{к}^2} = \sqrt{56,85^2 + 8,09^2} = 57,43 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт потужності робочого контуру схеми заміщення:

$$\cos \varphi_2 = r_{ек} / z_{ек}, \quad (3.7)$$

$$\cos \varphi_{2(ном)} = r_{ек(ном)} / z_{ек(ном)} = 56,85 / 57,43 = 0,99.$$

Приведений струм ротора:

$$I_2' = U_1 / z_{ек}, \quad (3.8)$$

$$I_{2(ном)}' = U_1 / z_{ек(ном)} = 220 / 57,43 = 3,83 \text{ А};$$

Активний струм ротора:

$$I_{2а}' = I_2' \cos \varphi_2, \quad (3.9)$$

$$I_{2а(ном)}' = I_{2(ном)}' \cos \varphi_{2(ном)} = 3,83 \cdot 0,99 = 3,79 \text{ А.}$$

Реактивний струм ротора:

$$I_{2р}' = I_2' \sin \varphi_2, \quad (3.10)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$I'_{2p(ном)} = I'_{2(ном)} \sin \phi_{2(ном)} = 3,83 \cdot \sin(0,14) = 0,54 \text{ А},$$

$$\text{де } \phi_{2(ном)} = \arccos(0,99) = 0,141.$$

Складові струми статора холостого ходу:

1) активний струм статора ХХ:

$$I_{0a} = I_{0\phi} \cos \phi_0 = 2,49 \cdot 0,13 = 0,33 \text{ А}. \quad (3.11)$$

$$I_{1a} = I_{0a} + I'_{2a}, \quad (3.12)$$

$$I_{1a(ном)} = I_{0a} + I'_{2a(ном)} = 0,33 + 3,79 = 4,13 \text{ А}.$$

2) реактивний струм ХХ:

$$I_{0p} = I_{0\phi} \sin \phi_0 = 2,49 \cdot \sin(1,44) = 2,46 \text{ А}, \quad (3.13)$$

$$I_{1p} = I_{0p} + I'_{2p}, \quad (3.14)$$

$$I_{1p(ном)} = I_{0p} + I'_{2p(ном)} = 2,46 + 0,54 = 3 \text{ А};$$

Струм в обмотці статора:

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}, \quad (3.15)$$

$$I_{1(ном)} = \sqrt{I_{1a(ном)}^2 + I_{1p(ном)}^2} = \sqrt{4,13^2 + 3^2} = 5,1 \text{ А}.$$

Коефіцієнт потужності двигуна:

$$\cos \phi_1 = I_{1a} / I_1, \quad (3.16)$$

$$\cos \phi_{1(ном)} = I_{1a(ном)} / I_{1(ном)} = 4,13 / 5,1 = 0,81.$$

Електричні втрати в обмотці статора:

$$p_{e1} = m_1 I_1^2 r_1, \quad (3.17)$$

$$p_{e1(ном)} = m_1 I_{1(ном)}^2 r_1 = 3 \cdot 5,1^2 \cdot 1,9 = 148,44 \text{ Вт}.$$

Магнітні втрати:

$$p_m = P'_0 - p_{mx}, \quad (3.18)$$

$$\text{де } p_{mx} = 25 \text{ Вт}; P'_0 = P_0 - m_1 I_{0\phi}^2 r_1 = 220 - 3 \cdot 2,49^2 \cdot 1,9 = 184,79 \text{ Вт};$$

$$P_m = P'_0 - p_{mx} = 184,79 - 25 = 159,79 \text{ Вт}.$$

Електромагнітна потужність:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$P_{em} = P_1 - (p_m + p_{e1}), \quad (3.19)$$

де $P_{1(ном)} = m_1 U_1 \cdot I_{1a(ном)} = 3 \cdot 220 \cdot 4,13 = 2723,27$ Вт;

$$P_{em(ном)} = P_{1(ном)} - (p_m + p_{e1(ном)}) = 2723,27 - (25 + 148,44) = 2415,05 \text{ Вт.}$$

Електромагнітний момент:

$$M_{em} = P_{em} / \omega_1, \quad (3.20)$$

де $\omega_1 = 157,07$ рад/с,

$$M_{em(ном)} = P_{em(ном)} / \omega_1 = 2415,05 / 157,07 = 15,37 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Електричні втрати в роторі:

$$p_{e2} = s \cdot P_{em}, \quad (3.21)$$

$$p_{e2(ном)} = s_{(ном)} \cdot P_{em(ном)} = 0,09 \cdot 2415,05 = 217,35 \text{ Вт.}$$

Додаткові втрати:

$$p_d = 0,005 P_1, \quad (3.22)$$

$$p_{d(ном)} = 0,005 P_{1(ном)} = 0,005 \cdot 2723,27 = 13,62 \text{ Вт.}$$

Додаткові втрати при номінальній потужності:

$$p'_d = p_d \cdot \beta^2, \quad (3.23)$$

де $\beta_{(ном)} = I_{1(ном)} / I_{1н} = 5,1 / 12 = 0,425$;

$$p'_{d(ном)} = p_{d(ном)} \cdot \beta_{(ном)}^2 = 13,62 \cdot 0,425^2 = 2,46 \text{ Вт.}$$

Корисна потужність двигуна:

$$P_2 = P_{em} - (p_{e2} + p_{mx} + p_d), \quad (3.24)$$

$$P_{2(н)} = P_{em(н)} - (p_{e2(н)} + p_{mx} + p_{d(н)}) = 2415,05 - (217,35 + 25 + 13,62) = 2159,08 \text{ Вт.}$$

Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = P_2 / P_1, \quad (3.25)$$

$$\eta_{(ном)} = P_{2(ном)} / P_{1(ном)} = 2159,08 / 2723,27 = 0,79.$$

Частота обертання:

$$n = n_1 (1 - s), \quad (3.26)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$n_{(ном)} = n_1 (1 - s_{(ном)}) = 1500(1 - 0,09) = 1365 \text{ об/хв.}$$

Корисний момент (момент на валу) двигуна:

$$M_2 = 9,55P_2 / n, \quad (3.27)$$

$$M_{2(ном)} = 9,55P_{2(ном)} / n_{(ном)} = 9,55 \cdot 2159,08 / 1365 = 15,11 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Результати розрахунків за формулами (3.4) – (3.27) для інших значень ковзання, крім номінального представимо у вигляді таблиці в додатку А.

3.2 Побудова робочих характеристик

Представимо графічні залежності робочих характеристики асинхронного двигуна на рисунках нижче:

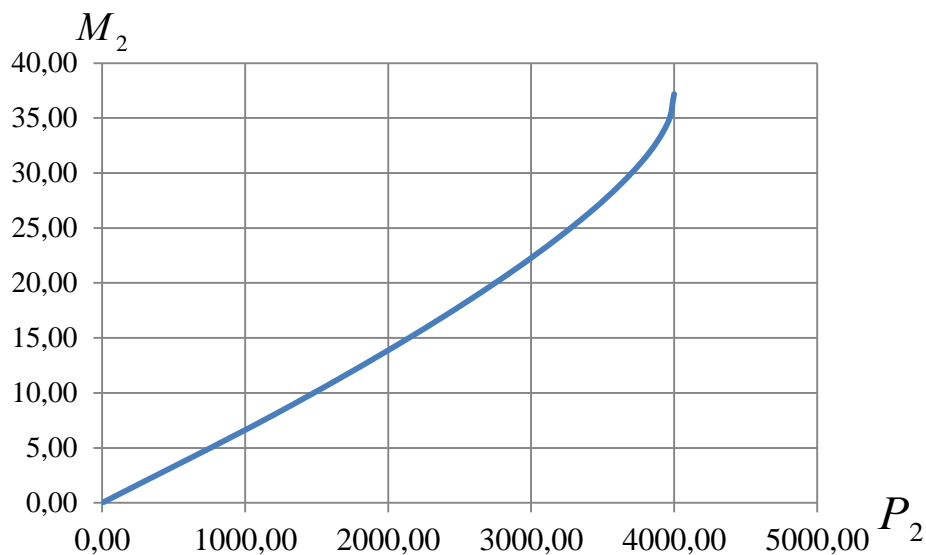


Рис. 3.1. Графік залежності $M_2 = f(P_2)$

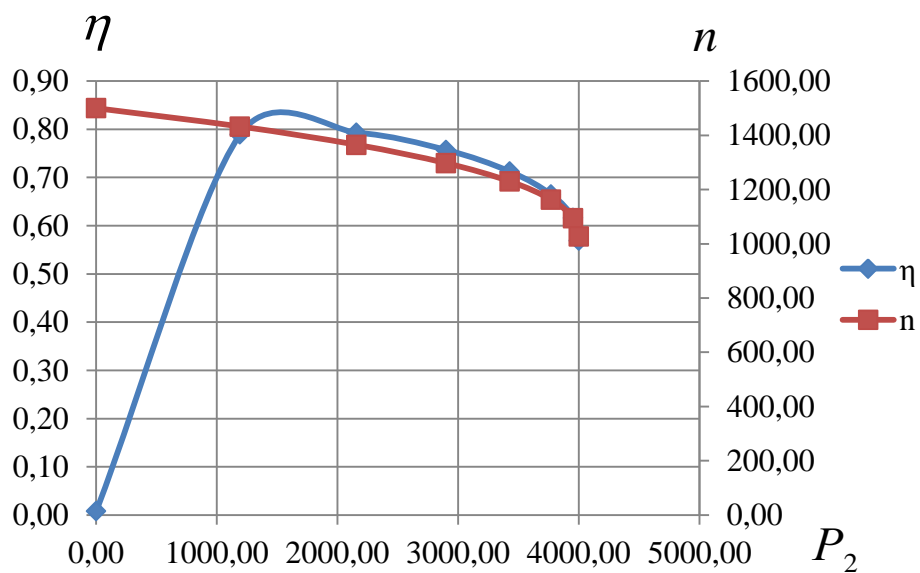


Рис. 3.2 Графік залежності $n = f(P_2)$ та $\eta = f(P_2)$

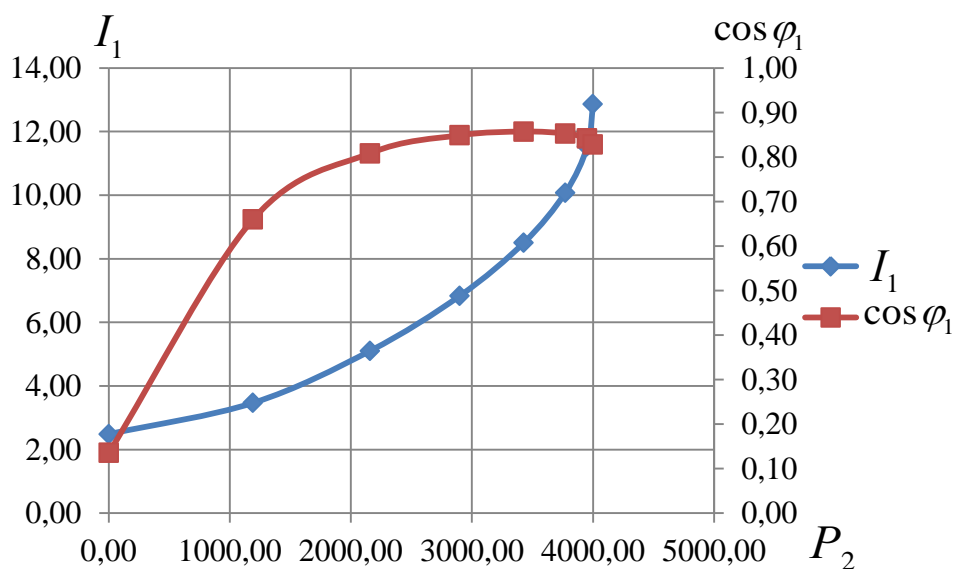


Рис. 3.3 Графік залежності $\cos \varphi_1 = f(P_2)$ та $I_1 = f(P_2)$

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ ВИКОНАННІ ВИПРОБУВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

4.1 Правила електробезпеки при виконанні робіт з електроустановками.

При виконанні випробувань електричних машин необхідно дотримуватись основних принципів безпеки, таких як:

- **Захист від струму:** дотримуйтеся положень інструкцій з техніки безпеки для захисту від струму. Ніколи не досліджуйте без належного захисту.
- **Перевірка ізоляції:** перевірте ізоляцію двигуна, щоб переконатися, що в ньому немає жодних дефектів. Якщо ізоляція пошкоджена, не перевіряйте, доки її не відремонтують.
- **Перевірка захисних пристроїв:** перед початком тесту переконайтеся, що всі захисні пристрої працюють належним чином.
- **Правильне обладнання:** Використовуйте лише правильне обладнання для дослідження двигуна. Ніколи не використовуйте пошкоджене або несправне.
- **Навчання та підготовка:** Забезпечте належну освіту та навчання всьому персоналу, які займаються випробуваннями електричних машин.
- **Евакуація:** перед тестуванням визначте місця евакуації та навчіть персонал, як евакуюватись у надзвичайних ситуаціях.
- **Попереджувальні знаки:** розмістіть попереджувальні знаки у відповідних місцях, щоб нагадати працівникам про правила безпеки.
- **Перевірте умови роботи:** перевірте умови роботи, наприклад температуру та вологість, щоб переконатися, що вони не впливають негативно на безпеку двигуна чи працівників.
- **Організація робочого простору:** організуйте робочий простір таким чином, щоб була достатня відстань між двигуном та іншими об'єктами.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Також забезпечте достатній простір, щоб працівники могли безперешкодно виконувати свої обов'язки.

- Система контролю та оцінки: забезпечує систему контролю та оцінки безпеки рухових тестів. Це допоможе визначити потенційні небезпеки та вжити заходів для їх запобігання.

Ці принципи безпеки повинні дотримуватися на всіх етапах випробування електродвигуна, від підготовки до виконання випробувань до оцінки результатів. Недотримання цих вказівок може призвести до небезпеки для працівників і пошкодження обладнання.

4.2 Правильне використання методів захисту працівників від можливих небезпек.

Правильне використання засобів індивідуального захисту є дуже важливою складовою безпеки на робочому місці. Необхідно забезпечити працівників необхідними засобами захисту, які відповідають вимогам стандартів охорони праці та нормативних документів.

При виборі засобів захисту необхідно враховувати характер виробництва, вид ризику та його інтенсивність, а також особистісні особливості працівників. Засоби захисту можуть бути різними: від робочого одягу та спецвзуття до різноманітних захисних засобів, які мають захищати від шуму, вібрації, токсичних речовин, пилу тощо.

Працівники повинні бути навчені користуванню засобами захисту та дотримуватися правил їх використання. Також необхідно регулярно перевіряти знос і ефективність захисних засобів і вчасно їх замінювати.

Роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників необхідними засобами захисту, але працівники також повинні стежити за власним здоров'ям і безпекою на робочому місці та правильно використовувати засоби захисту.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 35 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.3 Проведення інструктажів з безпеки для працівників, які беруть участь у випробуваннях електричних машин.

Інструктаж з техніки безпеки є дуже важливим кроком перед початком будь-якої роботи, особливо коли задіяні двигуни. Метою інструктажу з техніки безпеки є ознайомлення працівників з можливими шкідливостями та ризиками, пов'язаними з електродвигунами, а також з правилами безпечної роботи та захисту від електричного струму [7].

Основні питання, які слід включити в інструктаж з техніки безпеки для працівників, які беруть участь у тестуванні двигунів, такі:

- Огляд та перевірка стану електричних машин, що випробовуються, та засобів захисту, які використовуються для їх захисту.
- Ознайомитися з правилами роботи з електробезпеки та безпеки електродвигунів, у тому числі з основними принципами роботи двигунів, засобами струмового захисту та правилами користування ними.
- Пояснити порядок евакуації та дії в надзвичайних ситуаціях.
- Ознайомитись із правилами безпеки та порядком роботи з електричними машинами та засобами захисту, що застосовуються для їх захисту.
- Встановлення зв'язку зі службою безпеки та іншими зацікавленими сторонами в разі виникнення аварійної ситуації.
- Встановлення правил поведінки під час роботи з електричними або їх випробування, наприклад, заборона використання електричного та іншого обладнання, яке може спричинити коротке замикання або пошкодження електричного обладнання.
- Перелік основних небезпек шкідливих які можуть виникнути при роботі з електричними машинами, та способи їх запобігання або усунення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- Вказівки щодо правильного зберігання та транспортування електричних машин, захисних засобів та іншого обладнання, що використовується для проведення випробувань.
- Наголошується на важливості дотримання правил безпеки та виконання інструкцій, що стосуються експлуатації та випробування електричних машин.
- Після проведення інструктажу з техніки безпеки для працівників, які беруть участь у випробуваннях електричних машин, важливо переконатися, що всі працівники розуміють небезпеку, пов'язану з роботою з електричними машинами, і знають, як безпечно виконувати свої обов'язки. Також важливо забезпечити необхідне захисне обладнання та перевірити стан працівників перед початком роботи.

4.4 Виконання вимог законодавства про охорону праці та безпеку відповідно до виконуваних робіт.

Виконання вимог законодавства про охорону праці та безпеку є дуже важливим аспектом в будь-якій роботі, оскільки це забезпечує безпеку працівників і зменшує ризики травм і нещасних випадків на робочому місці. Для виконання вимог законодавства про охорону праці та безпеку необхідно дотримуватися ряду правил і рекомендацій, що забезпечують безпеку на робочому місці. До таких правил можна віднести:

- Проведення оцінки ризиків: перш за все необхідно провести оцінку ризиків на робочому місці. Це допоможе визначити, які ризики можуть бути на робочому місці і як їх можна запобігти [8].
- Забезпечення належної підготовки працівників: працівники повинні мати належну підготовку, щоб виконувати свої роботи безпечно і ефективно. Це може включати навчання з питань охорони праці та безпеки, а також знайомство зі спеціальним обладнанням та інструментами.
- Забезпечення необхідного обладнання та інструментів: працівники повинні мати доступ до належного обладнання та інструментів для

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

виконання своїх робіт. Це може включати захисний одяг, захисні окуляри, шоломи, гарнітури для вух та інше.

- Дотримання правил збереження безпеки на робочому місці: працівники повинні дотримуватися всіх правил збереження безпеки на робочому місці, таких як використання безпечних методів роботи та інструментів, правильне зберігання матеріалів та інвентарю, регулярне підтримання обладнання в належному стані та його перевірка перед початком роботи.
- Забезпечення належної організації робочого місця: робоче місце повинно бути належно організоване, щоб забезпечити безпеку працівників. Це може включати правильну організацію робочого простору, належну вентиляцію, освітлення та відповідну маркування.
- Забезпечення належної комунікації та зв'язку: працівники повинні мати доступ до належних систем комунікації та зв'язку, щоб у випадку небезпеки вони могли швидко сповістити про це інших.
- Проведення регулярних перевірок та оглядів: необхідно регулярно перевіряти та оглядати обладнання та робоче місце, щоб переконатися в його безпеці та належному функціонуванні.

Виконання вимог законодавства про охорону праці та безпеку є необхідним для забезпечення безпеки та здоров'я працівників, а також для зниження ризику нещасних випадків на робочому місці. Дотримання цих вимог є відповідальністю керівництва та кожного працівника, і важливо, щоб вони відповідально ставилися до своїх обов'язків та усвідомлювали їх.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВОК

Під час дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна АК-51/4 аналітичним методом були отримані важливі результати. Зокрема, було встановлено, що даний двигун має достатній рівень ефективності та може успішно використовуватися в різноманітних промислових установках. Крім того, було виявлено, що робочі характеристики даного двигуна залежать від таких факторів, як частота обертання, напруга живлення та навантаження. Загалом, дослідження показало, що аналітичний метод є ефективним інструментом для вивчення робочих характеристик асинхронних двигунів та може бути використаний для оптимізації їхньої ефективності та продуктивності.

Аналітичні методи дослідження дозволяють зрозуміти фізичні процеси, що відбуваються в асинхронному двигуні та зробити точні розрахунки для визначення різних характеристик цього пристрою. Це дозволяє забезпечити максимальну ефективність та продуктивність в різних умовах роботи.

Таким чином, аналітичний метод дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна АК-51/4 допомагає підвищити його ефективність, надійність та функціональність, що робить його привабливим вибором для різних виробничих та побутових застосувань.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Півняк Г.Г., Шкрабець Ф.П., Довгань В.П., Електричні машини [Електрон. ресурс]/ Режим доступу: <https://docplayer.net/87475427-G-g-rivnyak-f-p-shkrabec-v-p-dovgan-elektrichni-mashini.html>
2. Робочі характеристики асинхронного двигуна [Електрон. ресурс]/ Режим доступу: https://studopedia.com.ua/1_18600_robochi-harakteristiki-asinhronnogo-dviguna.html
3. Схема заміщення двигуна [Електрон. ресурс]/ Режим доступу: <https://moyaosvita.com.ua/fizuka/sxema-zamishhennya-asinhronnogo-dviguna/>
4. Робочі характеристики асинхронного двигуна [Електрон. ресурс]/ Режим доступу: <https://uadepe.ru/faq/11603-robochi-harakteristiki-asinhronnogo-dviguna.html>
5. Дослід холостого ходу [Електрон. ресурс]/ Режим доступу: https://studwood.net/1770186/matematika_himiya_fizika/opyt_holostogo_hoda
6. Експериментальні дослідження електричних машин [Електрон. ресурс]/ Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/52161096.pdf>
7. Правила улаштування електроустановок [Текст]: Затв.: Наказ Міненергуюгільля України 21.07.2017. №476/ НПЦР ОЕС України.-К., 2017 – 617 с.
8. Правила технічної експлуатації електроустановок. Зміни та доповнення [текст]. – Х.: Видавництво «Форт» 2016. – 252 с.
9. Дубинец Л. В., Момот О. І., Маренич О. Л. Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини : навч. посіб. Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. 208 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

1. Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна.
2. Практичні результати виконання досліду неробочого ходу і короткого замикання асинхронного двигуна типу АК-51/4.
3. Результати розрахунку робочих характеристик асинхронного двигуна.
4. Побудова робочих характеристик асинхронного двигуна типу АК-51/4.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ДОДАТОК А

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

**Таблиця А1 Робочі характеристики асинхронного двигуна АК-51/4
отримані за аналітичним методом**

| № з/П | Позначення | Од. вим | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------|------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | s | - | 0,0001 | 0,045 | 0,09 | 0,135 | 0,18 |
| 2 | $r_{ек}$ | Ом | 49459,7 | 111,81 | 56,85 | 38,54 | 29,38 |
| 3 | $z_{ек}$ | Ом | 49459,7 | 112,1 | 57,43 | 39,38 | 30,47 |
| 4 | $\cos \varphi_2$ | - | 1 | 1 | 0,99 | 0,98 | 0,96 |
| 5 | I'_2 | А | 0 | 1,96 | 3,83 | 5,59 | 7,22 |
| 6 | I'_{2a} | А | 0 | 1,96 | 3,79 | 5,47 | 6,96 |
| 7 | I'_{2p} | А | 0 | 0,14 | 0,54 | 1,15 | 1,92 |
| 8 | I_{1a} | А | 0,34 | 2,29 | 4,13 | 5,80 | 7,29 |
| 9 | I_{1p} | А | 2,46 | 2,6 | 3,00 | 3,61 | 4,38 |
| 10 | I_1 | А | 2,49 | 3,47 | 5,10 | 6,83 | 8,51 |
| 11 | $\cos \varphi_1$ | - | 0,14 | 0,66 | 0,81 | 0,85 | 0,86 |
| 12 | P_1 | Вт | 222,94 | 1511,91 | 2723,27 | 3828,93 | 4814,34 |
| 13 | P_{e1} | Вт | 35,23 | 68,58 | 148,44 | 266,16 | 412,64 |
| 14 | $P_{ем}$ | Вт | 27,92 | 1283,54 | 2415,05 | 3402,98 | 4241,91 |
| 15 | p_{e2} | Вт | 0 | 57,76 | 217,35 | 459,4 | 763,54 |
| 16 | p_d | Вт | 1,11 | 7,56 | 13,62 | 19,14 | 24,07 |
| 17 | P_2 | Вт | 1,8 | 1193,22 | 2159,08 | 2899,43 | 3429,3 |
| 18 | η | - | 0,01 | 0,79 | 0,79 | 0,76 | 0,71 |
| 19 | n | хв ⁻¹ | 1499,85 | 1432,5 | 1365 | 1297,5 | 1230 |
| 20 | M_2 | Нм | 0,01 | 7,95 | 15,11 | 21,34 | 26,63 |

Продовження таблиці А1

| № з/П | Позначення | Од. вим | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | s | - | 0,225 | 0,27 | 0,315 | 0,36 | 0,405 |
| 2 | $r_{ек}$ | Ом | 23,88 | 20,22 | 17,60 | 15,64 | 14,11 |
| 3 | $z_{ек}$ | Ом | 25,21 | 21,78 | 19,37 | 17,61 | 16,27 |
| 4 | $\cos \varphi_2$ | - | 0,95 | 0,93 | 0,91 | 0,89 | 0,87 |
| 5 | I_2' | А | 8,73 | 10,10 | 11,36 | 12,50 | 13,53 |
| 6 | I_{2a}' | А | 8,26 | 9,38 | 10,32 | 11,10 | 11,73 |
| 7 | I_{2p}' | А | 2,80 | 3,75 | 4,74 | 5,74 | 6,73 |
| 8 | I_{1a} | А | 8,60 | 9,71 | 10,65 | 11,43 | 12,07 |
| 9 | I_{1p} | А | 5,26 | 6,22 | 7,21 | 8,20 | 9,19 |
| 10 | I_1 | А | 10,08 | 11,53 | 12,86 | 14,07 | 15,17 |
| 11 | $\cos \varphi_1$ | - | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,81 | 0,80 |
| 12 | P_1 | Вт | 5674,26 | 6410,74 | 7030,9 | 7544,91 | 7964,45 |
| 13 | P_{e1} | Вт | 579,16 | 758,03 | 942,84 | 1128,54 | 1311,38 |
| 14 | $P_{ем}$ | Вт | 4935,31 | 5492,93 | 5928,28 | 6256,58 | 6493,28 |
| 15 | p_{e2} | Вт | 1110,45 | 1483,09 | 1867,41 | 2252,37 | 2629,78 |
| 16 | p_d | Вт | 28,37 | 32,05 | 35,15 | 37,72 | 39,82 |
| 17 | P_2 | Вт | 3771,5 | 3952,78 | 4000,71 | 3941,49 | 3798,68 |
| 18 | η | - | 0,66 | 0,62 | 0,57 | 0,52 | 0,48 |
| 19 | n | хв- 1 | 1162,5 | 1095 | 1027,5 | 960 | 892,5 |
| 20 | M_2 | Нм | 30,98 | 34,47 | 37,18 | 39,21 | 40,65 |

Закінчення таблиці А1

| № з/П | Позначення | Од. вим | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------|------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | s | - | 0,45 | 0,495 | 0,54 | 0,585 | 0,61 |
| 2 | $r_{ек}$ | Ом | 12,89 | 11,89 | 11,06 | 10,35 | 10,01 |
| 3 | $z_{ек}$ | Ом | 15,22 | 14,38 | 13,7 | 13,14 | 12,87 |
| 4 | $\cos \varphi_2$ | - | 0,85 | 0,83 | 0,81 | 0,79 | 0,78 |
| 5 | I'_2 | А | 14,46 | 15,3 | 16,06 | 16,74 | 17,10 |
| 6 | I'_{2a} | А | 12,24 | 12,65 | 12,96 | 13,19 | 13,30 |
| 7 | I'_{2p} | А | 7,68 | 8,6 | 9,48 | 10,31 | 10,75 |
| 8 | I_{1a} | А | 12,58 | 12,98 | 13,29 | 13,53 | 13,63 |
| 9 | I_{1p} | А | 10,15 | 11,07 | 11,94 | 12,77 | 13,21 |
| 10 | I_1 | А | 16,16 | 17,06 | 17,87 | 18,60 | 18,98 |
| 11 | $\cos \varphi_1$ | - | 0,78 | 0,76 | 0,74 | 0,73 | 0,72 |
| 12 | P_1 | Вт | 8301,47 | 8567,51 | 8773,19 | 8928,06 | 8995,26 |
| 13 | P_{el} | Вт | 1488,67 | 1658,62 | 1820,15 | 1972,70 | 2053,50 |
| 14 | $P_{ем}$ | Вт | 6653,02 | 6749,1 | 6793,26 | 6795,57 | 6781,97 |
| 15 | p_{e2} | Вт | 2993,86 | 3340,81 | 3668,36 | 3975,41 | 4137,00 |
| 16 | p_d | Вт | 41,51 | 42,84 | 43,87 | 44,64 | 44,98 |
| 17 | P_2 | Вт | 3592,65 | 3340,46 | 3056,03 | 2750,52 | 2574,99 |
| 18 | η | - | 0,43 | 0,39 | 0,35 | 0,31 | 0,29 |
| 19 | n | хв- 1 | 825 | 757,5 | 690 | 622,50 | 585,00 |
| 20 | M_2 | Нм | 41,59 | 42,11 | 42,3 | 42,20 | 42,04 |

ДОДАТОК Б

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|------|
| | | | | | 6.141.200119.ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 46 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

Г-ПОДІБНА СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

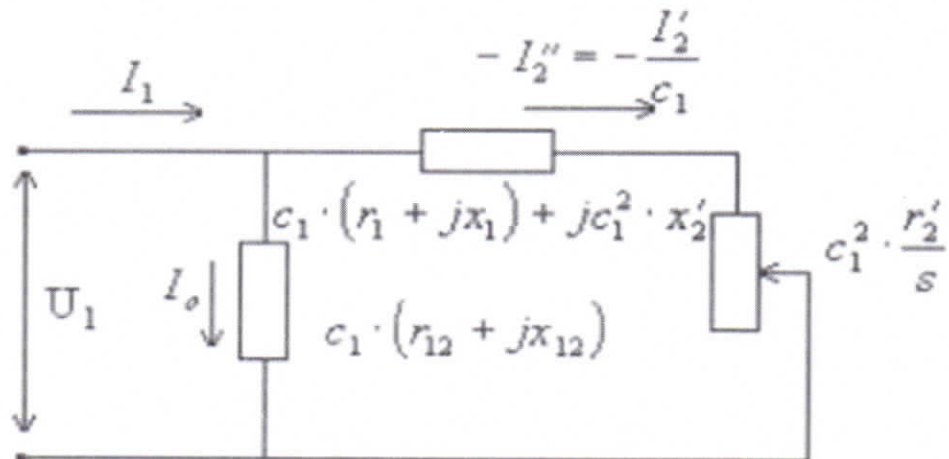


Рис. Б.1. Г- подібна схема з'єднання

$$r_2' = r_k - r_1 = 6,85 - 1,9 = 4,95 \text{ Ом}, \quad (\text{Б.1})$$

де $r_1 = 1,9 \text{ Ом}$ – значення виміряне омметром після досліду ХХ і КЗ;

$$r_k = 6,85 \text{ Ом}.$$

За дослідом ХХ і КЗ визначаємо деякі параметри схеми заміщення (рис. Б.1)

$$z_k = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}I_{\text{ном}}} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 12} = 10,6 \text{ Ом}, \quad (\text{Б.2})$$

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{\sqrt{3}U_k I_k} = \frac{820}{\sqrt{3} \cdot 61 \cdot 6,94} = 0,65;$$

$$\varphi_k = \arccos(0,65) = 0,87$$

$$x_k = z_k \sin \varphi_k = 10,6 \cdot \sin(0,87) = 8,09 \text{ Ом}.$$

| | | | | |
|--|------|---------------|--------------------|---------|
| Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна | | | | |
| Дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
| | | | <i>[Signature]</i> | 08.06 |
| Розроб. | | Яременко В.А. | <i>[Signature]</i> | 01.06 |
| Перевір. | | Балійчук О.Ю. | <i>[Signature]</i> | |
| Т. Контр. | | | | |
| Реценз. | | | | |
| Н. Контр. | | Карзова О.О. | <i>[Signature]</i> | |
| Затверд. | | Муха А.М. | <i>[Signature]</i> | |
| Додаток Б 6.141.200119.01 | | | | |
| | | Літ. | Маса | Масштаб |
| | | | 1 | 1 : 1 |
| | | Арк. 47 | Аркушів | 50 |
| МОН України. УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕП20120 | | | | |

**ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ДОСЛІДУ НХ І КЗ
АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТИПУ АК-51/4**

| Тип двигуна | Паспортні дані | | | | | | | Розрахункові дані | | |
|-------------|----------------|-----------|-----------|-----------|----------------------|--------------|----|-------------------|--------------------------------|---|
| | Статор | | | | | Ротор | | p | Схема з'єднання обмоток ротора | |
| | $P_{НОМ}$ | $U_{НОМ}$ | $I_{НОМ}$ | $n_{НОМ}$ | $\cos \varphi_{НОМ}$ | $\eta_{НОМ}$ | U | | | I |
| | кВт | В | А | об/хв | - | % | В | | | А |
| АК-51/4 | 2,8 | 220/380 | 12/7 | 1370 | 0,82 | 78 | 84 | 22,5 | 2 | Y |

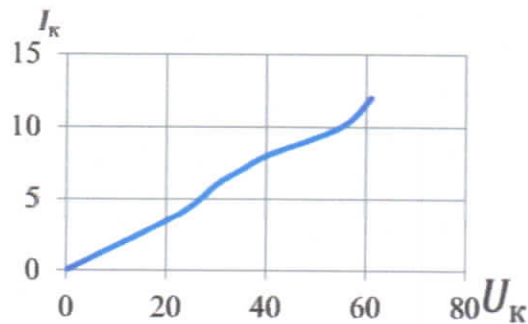


Рис. Б.2. Графік залежності $I_k = f(U_k)$

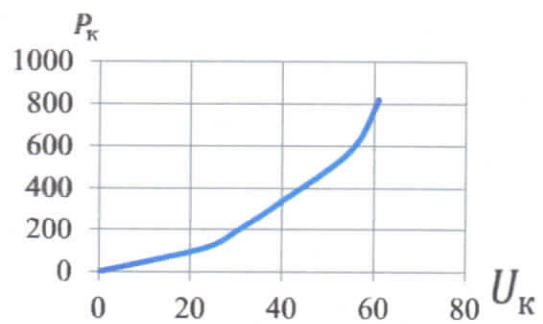


Рис. Б.3. Графік залежності $P_k = f(U_k)$

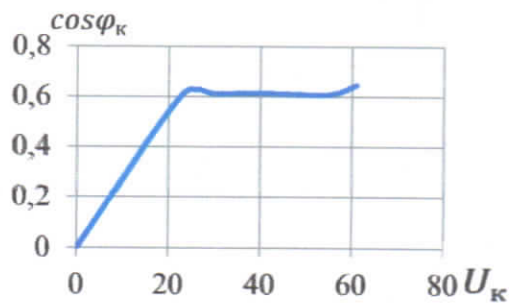


Рис. Б.4. Графік залежності $\cos \varphi_k = f(U_k)$

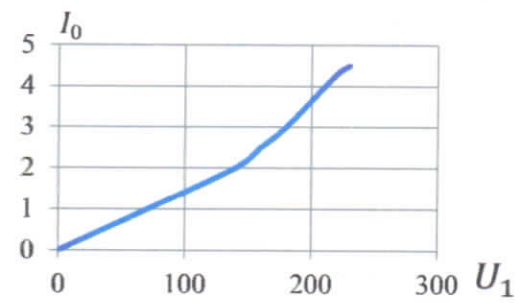


Рис. Б.5. Графік залежності $I_0 = f(U_1)$

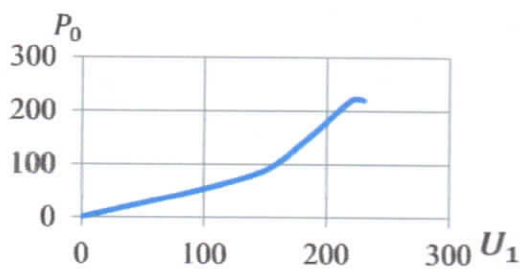


Рис. Б.6. Графік залежності $P_0 = f(U_1)$

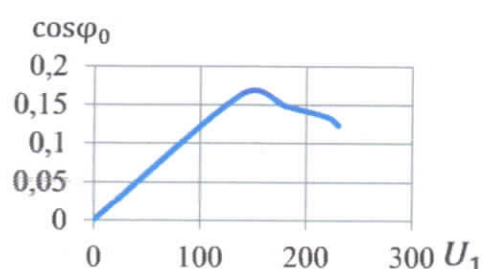


Рис. Б.7. Графік залежності $\cos \varphi_0 = f(U_1)$

| Практичні результати дослідження НХ і КЗ асинхронного двигуна типу АК-51/4 | | | | | Літ. | Маса | Масштаб |
|--|------|---------------|--------------------|-------|--|------------|---|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом | / | 1:1 |
| Розроб. | Арк. | Яременко В.А. | <i>[Signature]</i> | 01.06 | | | |
| Перевір. | Арк. | Балійчук О.Ю. | <i>[Signature]</i> | 01.06 | | | |
| Т. Контр. | | | | | Арк. 48 | Аркушів 50 | |
| Реценз. | | | | | Додаток Б 6.141.200119.02 | | МОН України. УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕП20120 |
| Н. Контр. | | Карзова О.О. | <i>[Signature]</i> | | | | |
| Затверд. | | Муха А.М. | <i>[Signature]</i> | | | | |

**РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АСИНХРОННОГО ДВИГУНА**

| Позначення | Од.вим | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| s | - | 0,0001 | 0,045 | 0,09 | 0,135 | 0,18 | 0,225 | 0,27 | 0,315 | 0,36 |
| I_1 | А | 2,49 | 3,47 | 5,10 | 6,83 | 8,51 | 10,08 | 11,53 | 12,86 | 14,07 |
| $\cos \phi$ | - | 0,14 | 0,66 | 0,81 | 0,85 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,81 |
| P_1 | Вт | 222,94 | 1511,91 | 2723,27 | 3828,93 | 4814,34 | 5674,26 | 6410,74 | 7030,9 | 7544,91 |
| P_2 | Вт | 1,8 | 1193,22 | 2159,08 | 2899,43 | 3429,3 | 3771,5 | 3952,78 | 4000,71 | 3941,49 |
| η | - | 0,01 | 0,79 | 0,79 | 0,76 | 0,71 | 0,66 | 0,62 | 0,57 | 0,52 |
| n | хв ⁻¹ | 1499,85 | 1432,5 | 1365 | 1297,5 | 1230 | 1162,5 | 1095 | 1027,5 | 960 |
| M_2 | Нм | 0,01 | 7,95 | 15,11 | 21,34 | 26,63 | 30,98 | 34,47 | 37,18 | 39,21 |

| | | | | | | | | |
|-----------|------|---------------|--------|---|--|---|------------|---------|
| | | | | Результати розрахунку робочих характеристик асинхронного двигуна | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розроб. | | Яременко В.А. | | 04.06 | | | 1 | 1:1 |
| Перевір. | | Балійчук О.Ю. | | 01.08 | | | | |
| Т. Контр. | | | | | | Арк. 49 | Аркушів 50 | |
| Реценз. | | | | | | | | |
| Н. Контр. | | Карзова О.О. | | | Додаток Б 6.141.200119.03 | МОН України. УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕП20120 | | |
| Затверд. | | Муха А.М. | | 01.08 | | | | |

ПОБУДОВА РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТИПУ АК-51/4

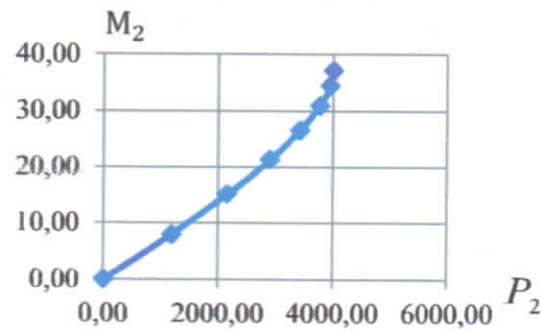


Рис. Б.8. Графік залежності $M_2 = f(P_2)$

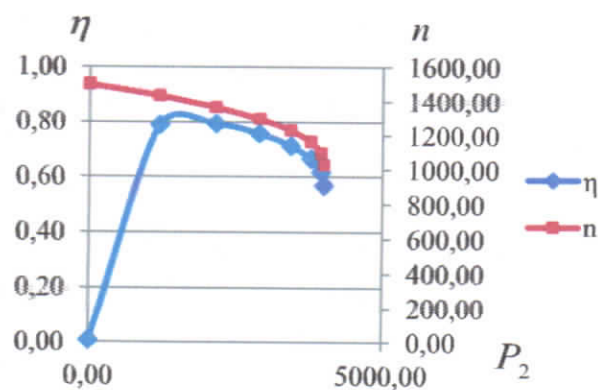


Рис. Б.9. Графік залежності $n = f(P_2)$ та $\eta = f(P_2)$

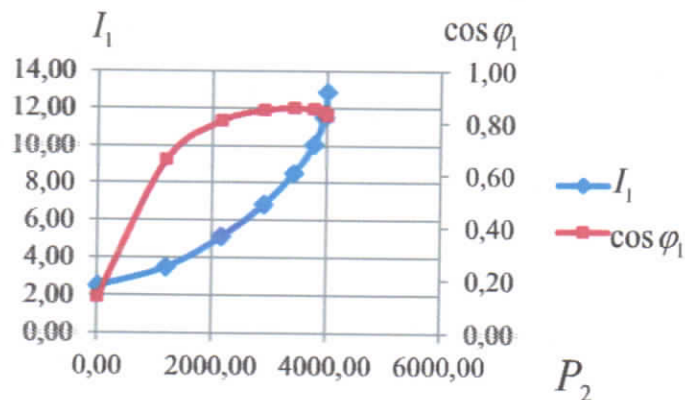


Рис. Б.10 Графік залежності $\cos \varphi_1 = f(P_2)$ та $I_1 = f(P_2)$

| Побудова робочих характеристик асинхронного двигуна типу АК-51/4 | | | | |
|--|------|---------------|--------------------|---------|
| Дослідження робочих характеристик асинхронного двигуна аналітичним методом | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
| | | | | |
| Розроб. | | Яременко В.А. | <i>[Signature]</i> | 20.06 |
| Перевір. | | Балійчук О.Ю. | <i>[Signature]</i> | 21.06 |
| Т. Контр. | | | | |
| Реценз. | | | | |
| Н. Контр. | | Карзова О.О. | <i>[Signature]</i> | 01.07 |
| Затверд. | | Муха А.М. | <i>[Signature]</i> | 01.07 |
| Додаток Б 6.141.200119.04 | | | | |
| | | Літ. | Маса | Масштаб |
| | | | 1 | 1 : 1 |
| | | Арк. 50 | Аркушів 50 | |
| МОН України, УДУНТ Кафедра ЕТЕМ Група ЕП20120 | | | | |