

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

М. О. Реуцький,
В. В. Чумак,
М. А. Коваленко,
І.В. Ткачук,
О.В. Вишневський

РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ГЕНЕРУЮЧИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ

**ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ
АСИНХРОННОГО ДВИГУНА**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Електричні машини і апарати»
спеціальності G3 «Електрична інженерія»

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2026

УДК 621.313.333

Автори: *Реуцький Микола Олександрович, канд. техн. наук., доцент*

Чумак Вадим Володимирович, канд. техн. наук., доцент

Коваленко Михайло Анатолійович, канд. техн. наук., доцент

Ткачук Ігор Валерійович, PhD, асистент

Вишневський Олексій Володимирович, асистент.

Рецензент: *Островерхов М.Я., докт. техн. наук, професор, кафедри «Теоретична електротехніка», Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського».*

Відповідальний редактор: *Цивінський С.С., канд. техн. наук, доцент.*

Гриф надано Методичною радою КПП ім. Ігоря Сікорського (протокол № 5 від 05.03.2026 р.) за поданням вченої ради Факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 8 від 23.02.2026 р.)

Реуцький М.О., Чумак В.В., Коваленко М.А., Ткачук І.В., Вишневський О.В. Ресурсозбереження в генеруючих електромеханічних системах: вказівки до виконання практичного завдання дослідження режиму короткого замикання асинхронного двигуна [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр-професійний за освіт. програмою “Електричні машини і апарати” спец. G3 «Електрична інженерія» / М. А. Коваленко КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 55 с.

Подано матеріал до виконання практичного завдання дослідження режиму короткого замикання асинхронного двигуна з дисципліни «Ресурсозбереження в генеруючих електромеханічних системах». В посібнику викладено матеріал, що дозволяє закріпити отримані під час вивчення лекційного курсу теоретичні знання, зокрема щодо дослідження режиму короткого замикання асинхронного двигуна з метою оцінки потенціалу для енергоресурсозбереження. Для виконання практичної роботи використовується експериментальний стенд та засоби із використанням сучасного електромеханічного обладнання, комутаційних апаратів захисту та керування та вимірювальні прилади.

Реєстр. 24/25-487. Обсяг 1,02 авт. арк.

Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056

<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного
реєстру видавців, виготовлювачів і
розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© М.О. Реуцький, В.В. Чумак, М.А. Коваленко,
І.В. Ткачук, О. В. Вишневський

© КПП ім. Ігоря Сікорського, 2026

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
1. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	
АСИНХРОННОГО ДВИГУНА.....	6
1.1 Теоретичні відомості	6
1.2. Опис випробувального стенда.....	12
1.3 Програма дослідження режиму короткого замикання	15
2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	16
2.1 Підготовка випробувального стенда до роботи	16
2.2 Робота з програмою DMK Remotecontrol при проведенні досліджень АД в режимі короткого замикання.....	17
2.3 Вимірювання опору обмотки статора.....	23
2.4 Порядок проведення досліджень режиму короткого замикання.....	24
2.5. Обробка результатів досліджень АД в режимі короткого замикання ..	25
2.6 Визначення втрат короткого замикання.....	28
2.7 Визначення обертового електромагнітного моменту	31
3. ВІРТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ КОРОТКОГО	
ЗАМИКАННЯ	32
4. ЗМІСТ ЗВІТУ	33
5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	33
Список рекомендованої літератури	36
ДОДАТОК А	38

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕД – електродвигун

АД – асинхронний двигун

ІР – індукційний регулятор

КЗ – коротке замикання

кВт- кіловат

Нм – Ньтон метр

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Ресурсозбереження в генеруючих електромеханічних системах» є однією з ключових при підготовці фахівців за освітньо-професійною програмою підготовки магістрів освітньої програми “Електричні машини і апарати” спеціальності G3 «Електрична інженерія». Вона тісно переплетена з базовими дисциплінами «Електричні машини», «Теорія електроприводу» та «Надійність електричних машин», при цьому роблячи більший акцент на практичне використання зазначених дисциплін щодо конкретних механізмів загальнопромислового призначення.

Практичні заняття з дисципліни «Ресурсозбереження в генеруючих електромеханічних системах» покликані закріпити теоретичні знання, отримані на лекціях, та виробити практичні навички у майбутніх фахівців електромеханіків з експлуатації електромеханічного обладнання загальнопромислового призначення в режимах, які забезпечують найбільш енергозберігаючий режим експлуатації. В процесі занять студенти отримують досвід роботи з програмування та використання інтелектуальних перетворювачів частоти фірми Lenze (Італія), зняття статичних та динамічних характеристик вище зазначених установок з використанням сучасного вимірювального обладнання, розрахунку параметрів електродвигунів та їх керування. Отримані знання є необхідним базисом для розробки реальних режимів експлуатації електричних машин та трансформаторів під час написання дисертацій кваліфікаційного рівня магістр.

1. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Тривалість практичного заняття – 6 год.

Мета роботи – закріпити знання, отримані при вивченні курсу дисципліни «Ресурсозбереження в генеруючих електромеханічних системах», оволодіти методами експериментального дослідження електричних машин, навчитися аналізувати отримані результати, отримати навички роботи на сучасному технічному промисловому обладнанні, використати отримані результати для визначення енергозберігаючих режимів експлуатації асинхронного двигуна.

1.1 Теоретичні відомості

Енергетичні характеристики асинхронного двигуна в статичних та динамічних режимах експлуатації залежить від характеру навантаження (моменту інерції обертових мас, величини та періодичності навантаження), характеру перехідного процесу (включення, зміни навантаження на валу), а також більшою мірою від параметрів обмоток самого двигуна. Величини, умовно незмінні значення яких служать основою розрахункових операцій за прогнозом поведінки двигуна, називають параметрами. В більш вузькому сенсі під параметрами розуміють різного роду опори активні та реактивні первинного та вторинного контурів. Для визначення параметрів двигуна шляхом дослідження необхідно провести наступні випробування:

1. Вимірювання опору постійному струму обмоток статора.
2. Дослід неробочого ходу при зміні величини напруги живлення в діапазоні від $1,2U_n$ до $0,3 \div 0,4U_n$.
3. Дослід короткого замикання при нерухомому роторі.
4. Дослід роботи двигуна під навантаженням.

Дослід короткого замикання можна проводити і при понижений, і при номінальній напрузі. Частіше там, де є можливість проводити дослід короткого замикання при напрузі, близькій до номінальної. Це пояснюється тим, що активний та індуктивний опір двигунів залежить від величини струму.

В досліді короткого замикання перевіряють стан паяних з'єднань обмоток, а також якість заливки короткозамкнених роторів асинхронних двигунів. Результати досліджень дозволяють визначити початковий пусковий струм і початковий обертовий момент електродвигуна, струми і втрати короткого замикання, які є важливими експлуатаційними параметрами.

Дослід короткого замикання проводять при загальмованому роторі. В електродвигунах з фазовими роторами обмотку ротора необхідно замкнути накоротко на кільцях.

При загальмованому роторі до статора підводять практично симетричну напругу номінальної частоти.

Обертовий момент для електродвигунів потужністю до 100 *кВт* вимірюють динамометром, вагами, гальмом або спеціальними приладами. Оскільки цей момент може дещо змінитися в залежності від положення ротора по відношенню до статора, то вимірювання проводять декілька разів, зсовуючи ротор на одну зубцеву поділку, і в якості результату приймають найменший з вимірянних моментів. Для двигунів потужністю вище 100 *кВт* обертовий момент звичайно визначають розрахунковим шляхом, за результатами вимірювання втрат короткого замикання.

Необхідно враховувати, що при проведенні дослідів електродвигун є трансформатором, вторинна обмотка якого (обмотка ротора) замкнена накоротко. Струм, що проходить по обмотках, може в декілька разів перевищувати номінальний, а оскільки двигун при нерухомому роторі не вентилюється, то його обмотка дуже швидко нагрівається і необхідні відліки по приладах і сам дослід необхідно проводити максимально швидко. Варто звернути увагу на надійність пристроїв, які слугують для гальмування ротора, оскільки при проведенні дослідів вони піддаються значним зусиллям. Напрямок

обертання ротора повинен бути визначений заздалегідь, виходячи з чого, необхідно встановити гальмуючі пристрої. При помилці ці пристрої можуть зірватися і нанести пошкодження персоналу і обладнанню.

Дослід короткого замикання зазвичай проводять одразу після досліду неробочого ходу. Характеристика короткого замикання являє собою залежність лінійного струму короткого замикання I_k , втрат короткого замикання P_k , коефіцієнта потужності $\cos\varphi_k$ та моменту M_k від прикладеної до обмотки статора напруги U_k .

Дослід проводиться на випробувальному стенді спочатку в віртуальному, а потім в реальному режимі. При проведенні досліду рекомендовано вмикати двигун на напругу, що складає 15-20% від номінальної, потім швидко піднімати напругу до потрібної величини. При типовому випробуванні слід провести 5-7 дослідів при різних значеннях підведеної напруги. Перший відлік беруть при номінальній напрузі. Відліки за приладами при кожному значенні підведеної напруги проводять за час не більший 10 с, щоб уникнути надмірного нагріву обмотки струмом короткого замикання. Після кожного відліку двигун необхідно вимикати!

При типовому випробуванні двигуна потужністю до 100 κBm дослід проводять, починаючи з напруги, відмінної від номінальної не більш ніж на $\pm 10\%$. Типове випробування короткозамкнених двигунів потужністю вище 100 κBm допускається проводити при напругах, менших за номінальну, але при таких, щоб максимальне значення струму короткого замикання було не нижче 2,5 – 4-кратного значення від номінального. При випробуванні короткозамкнених двигунів потужністю вище 1000 κBm , а також при випробуванні двигунів з фазним ротором допускається доводити струм тільки до 2-кратного значення від номінального.

В усіх випадках потрібно один із відліків провести при напрузі, вказаній в таблиці 1.

Таблиця 1.1

Рекомендована напруга для проведення дослідів КЗ

Номинальна напруга двигуна, В	Напруга короткого замикання, В
127	33
220	58
380	100
440	115
500	130
660	173
3000	800
6000	1600
10000	2640

ДСТУ 7217-87 рекомендує при контрольних випробуваннях струм і втрати короткого замикання визначати тільки при одній напрузі – згідно таблиці 1 з подальшим пропорційним перерахунком струму короткого замикання на номінальну напругу двигуна. Втрати в цьому випадку перераховують пропорційною квадрату струму. На основі даних замірів будується характеристика короткого замикання.

Вимірювання підведеної потужності проводиться за схемою двох ватметрів. Проте корегування підведеної потужності на втрати в приладах не проводиться, оскільки ці втрати зазвичай лежать нижче рівня похибки вимірювання.

Коефіцієнт потужності короткого замикання визначають за формулою:

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_k I_k},$$

де U_k — лінійна напруга короткого замикання, В;

I_k — лінійний струм короткого замикання, А;

P_k — підведена потужність короткого замикання, кВт.

Результати дослідів слід представити в вигляді залежностей струму I_k , втрат P_k , коефіцієнта потужності $\cos \varphi_k$ і моменту M_k від напруги U_k в табличній або графічній формі.

Для двигунів потужністю вище 100 кВт обертовий момент при короткому замиканні $M_{\text{кв}}$ Н·м визначають за формулою:

$$M_{\text{к}} = 9550 K_{\text{мп}} \cdot \frac{P_{\text{эк}}}{n_{\text{с}}},$$

де $n_{\text{с}}$ — синхронна частота обертання поля, хв^{-1} .

$K_{\text{мп}} = 0,9$ — коефіцієнт, враховуючий можливе зменшення $M_{\text{к}}$, обумовлене додатковими втратами;

$P_{\text{эк}}$ — електромагнітна потужність, кВт;

$$P_{\text{эк}} = P_{\text{к}} - P_{\text{млк}} - P_{\text{ст}},$$

де $P_{\text{млк}}$ — втрати в обмотці статора, кВт, в досліді короткого замикання;

$P_{\text{ст}}$ — втрати в сталі, кВт, взяті з досліді неробочого ходу при напрузі, рівній напрузі короткого замикання.

Втрати в обмотці статора $P_{\text{млк}}$ в кВт в досліді короткого замикання визначають за формулою:

$$P_{\text{млк}} = 1,5 \cdot I_{\text{к}}^2 \cdot R_{\text{ллк}} \cdot 10^{-3},$$

де $R_{\text{ллк}}$ — опір обмотки статора, Ом, при постійному струмі, виміряний між лінійними виводами безпосередньо після зняття точки короткого замикання при найбільшому струмі.

Якщо дослід короткого замикання при номінальній (або близькій до неї) напрузі не проводився, то для визначення струму і обертового моменту при номінальній напрузі вводять поправку на насичення шляхів потоків розсіювання, яка полягає в тому, що подальше збільшення струму короткого замикання передбачається по дотичній до кривої, яка зображає залежність струму від напруги (Рисунок 1).

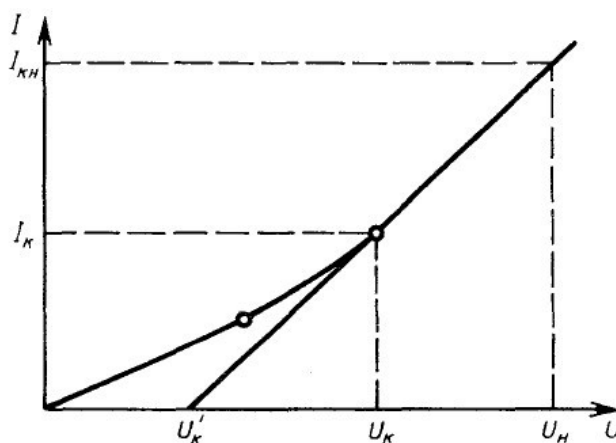


Рисунок 1 – Визначення умовних струмів короткого замикання

Струм короткого замикання $I_{\text{кн}}$ при номінальній напрузі, який називається пусковим струмом, визначається за формулою:

$$I_{\text{кн}} = \frac{U_{\text{н}} - U'_{\text{к}}}{U_{\text{к}} - U'_{\text{к}}} I_{\text{к}} = K I_{\text{к}},$$

де $I_{\text{к}}$ и $U_{\text{к}}$ — відповідно найбільший струм, А та напруга, В, по кривій (малюнок 1);

$U_{\text{н}}$ — номінальна напруга, В;

$U'_{\text{к}}$ — напруга, В, відповідна відрізка, що відсікає на осі абсцис дотичної до кривої, яка зображає залежність струму від напруги, малюнок 1.

Початковий пусковий обертовий момент при короткому замикання $M_{\text{кн}}$, відповідний номінальній напрузі, визначають за формулою:

$$M_{\text{кн}} = \left(\frac{I_{\text{кн}}}{I_{\text{к}}} \right)^2 M_{\text{к}} = k^2 M_{\text{к}}.$$

де $M_{\text{к}}$ — обертовий момент, Н·м, виміряний або розрахований при найбільшій напрузі досліду короткого замикання.

Втрати в обмотці ротора складають:

$$P_{\text{м2}} = P_{\text{к}} - P_{\text{м1}} - P_{\text{ст}}$$

де $P_{\text{м1}}$ — втрати в обмотці статора при досліді короткого замикання, кВт;

R — опір при постійному струмі однієї фази, Ом;

$P_{\text{с}}$ — втрати в сталі, взяті з досліду неробочого ходу, при напрузі, рівній напрузі короткого замикання.

Слід зазначити поняття *кратність початкового пускового струму* і *кратність початкового пускового обертового моменту*, що визначаються, як відношення початкового пускового струму або початкового пускового обертового моменту, відповідно до номінального струму двигуна або до номінального обертового моменту. Обидві ці величини є нормованими і приводяться в стандартах на відповідні двигуни.

Під час проведення дослідів короткого замикання на зниженій напрузі, представляється зручна можливість перевірити справність обмотки короткозамкненого ротора. Це особливо важливо для роторів з литими алюмінієвими обмотками, в яких часто зустрічаються міхури, тріщини, обриви стрижнів, які важко виявити при зовнішньому огляді.

Перевірка полягає в тому, що при включенні обмотки статора на трифазну напругу, знижену настільки, що ротор ще не обертається, а струм настільки малий, що не викликає помітного перегріву обмоток, ротор повільно провертають вручну і стежать за показниками трьох амперметрів, включених у фази статора.

Якщо обмотка ротора справна, його провертання не викликає зміни показників амперметрів; при несправному роторі показники амперметрів по черзі змінюються тим помітніше, чим несправність більша.

1.2. Опис випробувального стенда

Дослідження режиму короткого замикання проводиться на випробувальному стенді. Устаткування, яке використовується в стенді для живлення досліджуваного двигуна, не передбачає пониження напруги без зміни частоти живлення. Тому електрична схема з'єднань для підключення зовнішнього регульованого джерела напруги заздалегідь закладена в режимах роботи стенду і вмикається автоматично при включенні перемикача LOVATO 7GS016B (поз. № 58). Перемикач знаходиться із заднього боку стенду і призначений для перемикання викладачем або лаборантом.

Підключення лабораторного автотрансформатора, індукційного регулятора або іншого пристрою пониження напруги виконується через промисловий роз'єм Wieland 6pin+PE до включення режиму роботи від джерела регульованої напруги. Індукційний регулятор, що підключається до стенду, повинен забезпечувати пониження напруги не менше, ніж 75% від номінальної напруги досліджуваного двигуна. Якщо потрібно зняти точку напруги зрушення двигуна, то зниження напруги, яку підтримує індукційний регулятор, повинно бути не менше 85-90% від номіналу.

Вимірювальним інструментом при проведенні дослідів виступає мультиметр параметрів живлення двигуна **DMK62**. Для автоматизованого знімання даних дослідів використовується програма **DMK Remotecontrol**. Вимірювач параметрів мережі **DMK62** має інтерфейс зовнішнього зв'язку RS485. Безпосередньо працювати з цим каналом передачі даних ПК не може, тому для встановлення зв'язку між ПК і вимірювачем параметрів мережі живлення використовується перетворювач інтерфейсів SCM-38I (RS485-RS232C). Блок схема стенду для проведення дослідів показана на малюнку 2.

Для вимірювання моменту, що розвивається двигуном в режимі КЗ, використовується точний динамометр. Добуток довжини важеля, що загальмовує двигун, та зусилля, виміряне динамометром, дає нам момент двигуна в Ньютон-метрах. Схема конструкції гальмуючого пристрою зображена на малюнку 3.

Необхідно звернути увагу на компенсацію ваги важеля, для цього в конструкцію включена противага 2, вага якої має бути такою, щоб на відстані плеча виміру L , динамометр показував нульове зусилля при відключеному двигуні.

Оскільки вимірювальний динамометр не має зв'язку з комп'ютером, синхронізацію свідчень виміряного динамометром зусилля і вимірних електричних величин слід виконати за допомогою таймера або секундоміра.

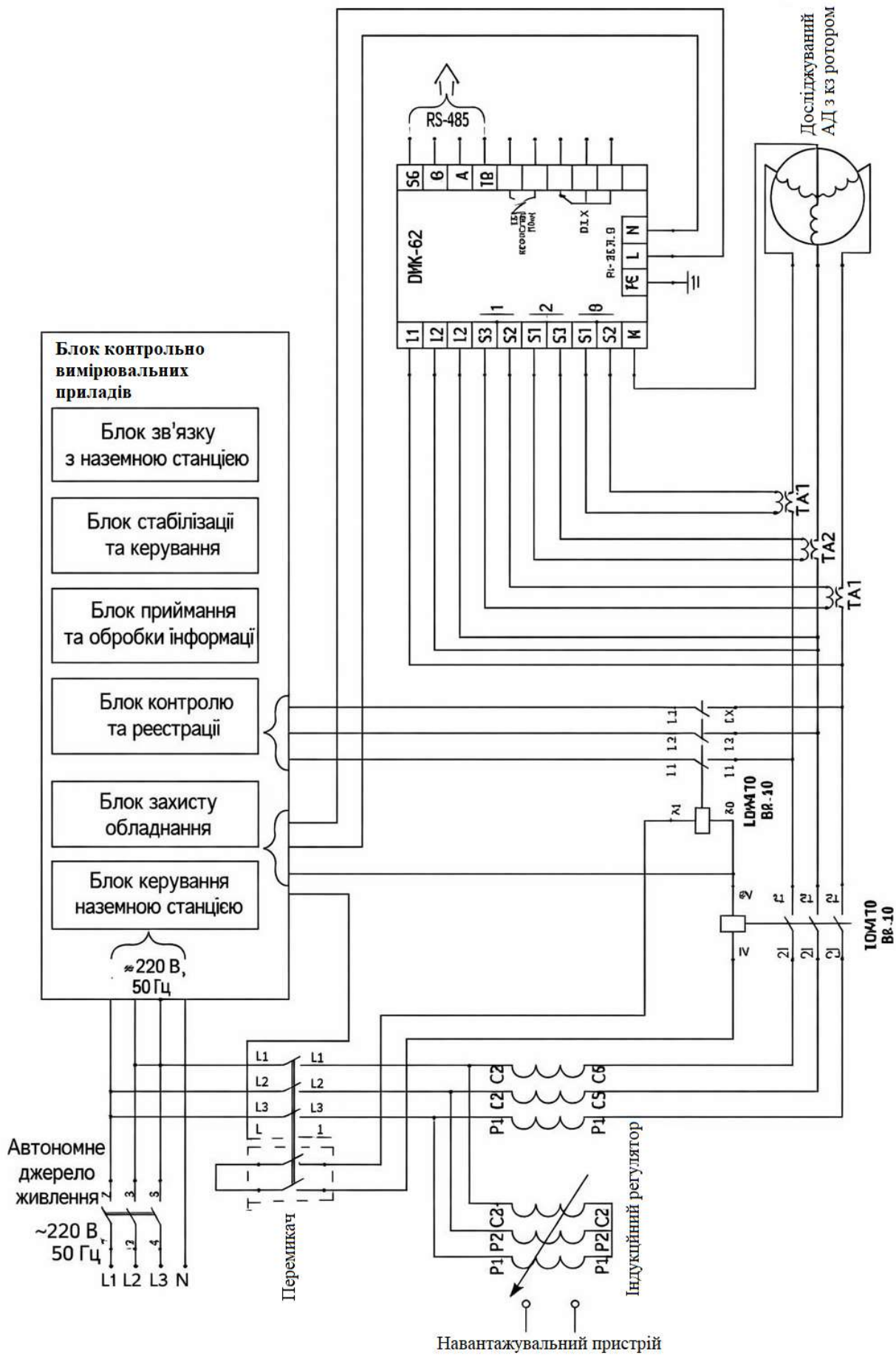


Рисунок 2 – Схема стенда для проведення досліджень АД в режимі короткого замикання

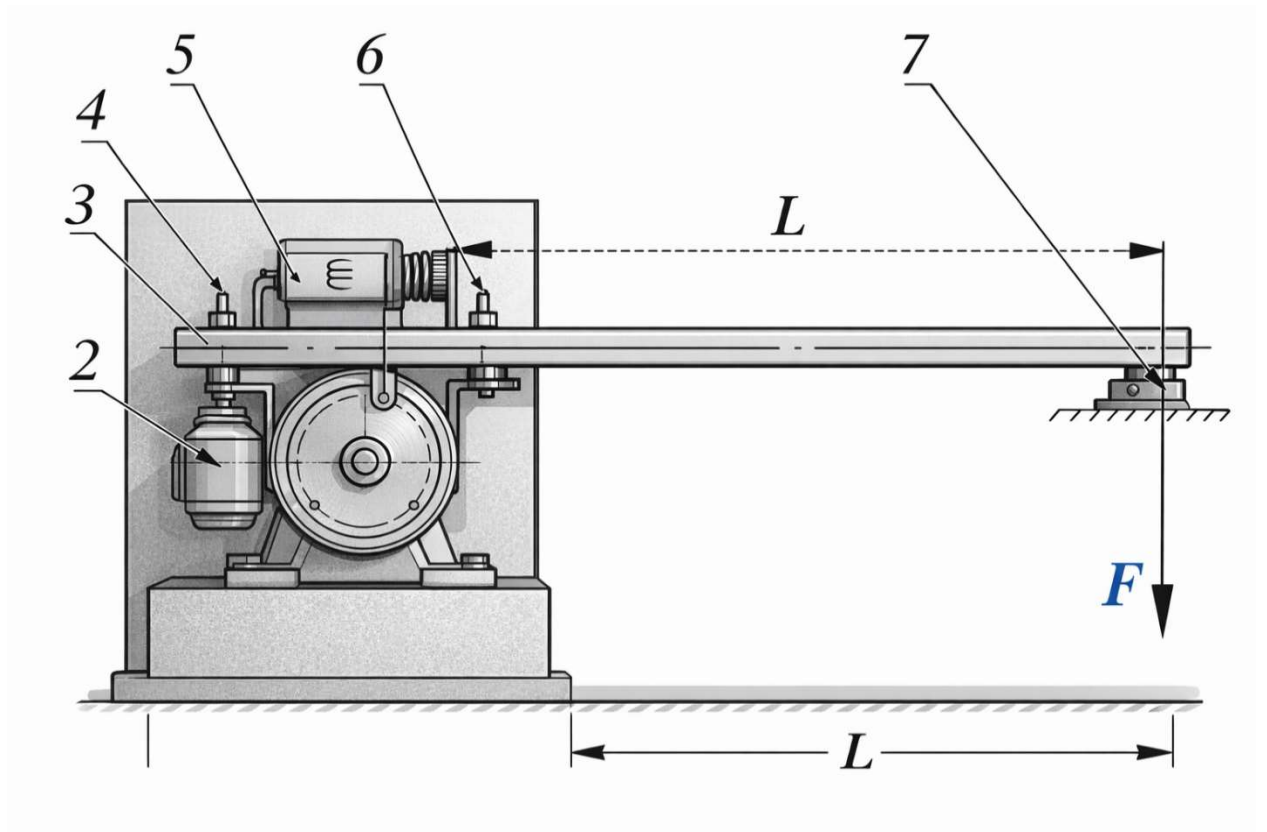


Рисунок 3 – Конструкція гальмуючого пристрою:

1. фланець кріплення машини;
2. противага;
3. хомут сталевий з гумовою вкладкою всередині;
4. приводний кінець валу досліджуваної машини;
5. сполучна муфта;
6. важіль;
7. високоточний динамометр.

1.3 Програма дослідження режиму короткого замикання

- 1) Ознайомитися з послідовністю дослідження режиму короткого замикання, принциповою схемою стенду, досліджуваним двигуном, а також з устаткуванням і програмним забезпеченням, необхідним для проведення досліджень.

- 2) Налаштувати програму DMK Remotecontrol для проведення досліджень.
- 3) Записати паспортні дані двигуна.
- 4) Провести дослідження режиму короткого замикання і записати дані вимірювальних приладів.
- 5) Обробити отримані дані. Виміряти омичний опір обмотки статора і привести його до розрахункової робочої температури 75°C.
- 6) На основі отриманих даних побудувати характеристики КЗ: I_k , P_k , $\cos\varphi_k$, M_k в функції від U_k .
- 7) Визначити втрати короткого замикання, побудувати залежності P_k , P_{M1} , P_{M2} в функції від напруги короткого замикання U_k .
- 8) Зробити висновки по роботі і оформити звіт.

2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Підготовка випробувального стенда до роботи

Для включення комплексу необхідно включити автомат «Вимикач комплексу», після чого аналоговий вольтметр покаже напругу в мережі, а система вимірювання параметрів мережі проаналізує мережу, зокрема величину напруги і послідовність фаз. Якщо напруга не відповідає встановленому значенню, то на реле напруги загориться червоний індикатор, що сигналізує про підвищену або занижену напругу живлячої мережі відносно встановлених граничних значень $U_{\max}$ і $U_{\min}$, отже, випробувальний комплекс буде знеструмлений, проведення дослідних робіт і зняття характеристик двигуна не рекомендується, до тих пір, поки не будуть з'ясовані і усунені причини порушення якості живлячої мережі. В разі появи на реле сигналу жовтого світлодіода, що сигналізує про відповідність напруги мережі, система подасть сигнал управління, який вирішить роботу з комплексом, про що сигналізуватимуть червоні індикатори А, В, С.

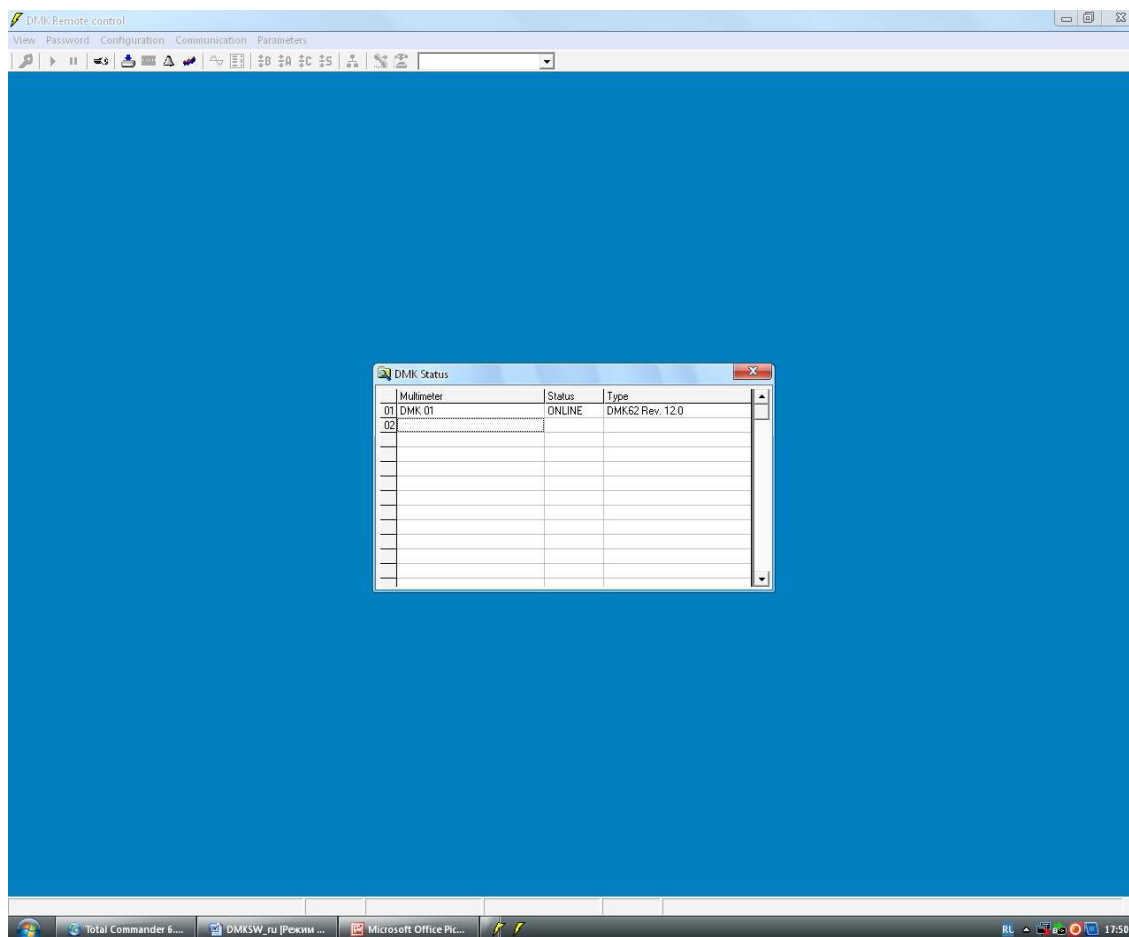
Для включення вимірювальних приладів необхідно подати живлення автоматом «Живлення вимірювальних приладів» (над автоматом загориться індикатор зеленого кольору), при цьому екрани програмованого реле, мультиметра параметрів двигуна, лічильника імпульсів, вимірювача аналогового виходу ПЧ і мультиметра параметрів підвідної мережі загоряться, що говорить про готовність устаткування до роботи. Щоб включити режим роботи двигуна напряму від живлячої мережі, потрібно подати живлення в ланцюг двигуна автоматом «Вимикач кола двигуна» і потім на панелі управління натискати кнопку «ППД». В разі активного ручного управління перш ніж натискувати кнопку «ППД» необхідно обернути ручку ручного управління режимами роботи в положення «ППД», тоді кнопка «ППД» вибору режиму роботи двигуна на правій панелі управління стане активною, про що можна судити по її підсвічуванню помаранчевим кольором.

[Режим роботи від джерела регульованої напруги включається із заднього боку стенду перемикачем (поз. 58) включення ІР. При включенні даного режиму роботи двигун автоматично буде відключений від живлення з блоку управління двигуном, а підключиться на вихід індукційного регулятора на напругу, встановлену регулятором.]

2.2 Робота з програмою DMK Remotecontrol при проведенні досліджень

АД в режимі короткого замикання

Основне призначення програми – циклічний відбір вимірювань з підключених пристроїв DMK і їх вивід на екран ПК у вигляді показників індикаторів. Запускаючи програму, на екран виведеться вікно статусу з'єднання з вимірювальними приладами, рисунок 4.



Якщо програма не була налагоджена раніше, налаштування для проведення досліджень можна провести, натиснувши на кнопку «Configuration», рисунок 5.

Вікно зміни налаштувань має шість вкладок. Автоматично буде відкрита вкладка «General» . На цій вкладці необхідно ввести параметри зв'язку з вимірювальним приладом згідно з внесеними налаштуваннями в приладі, рисунок 6.

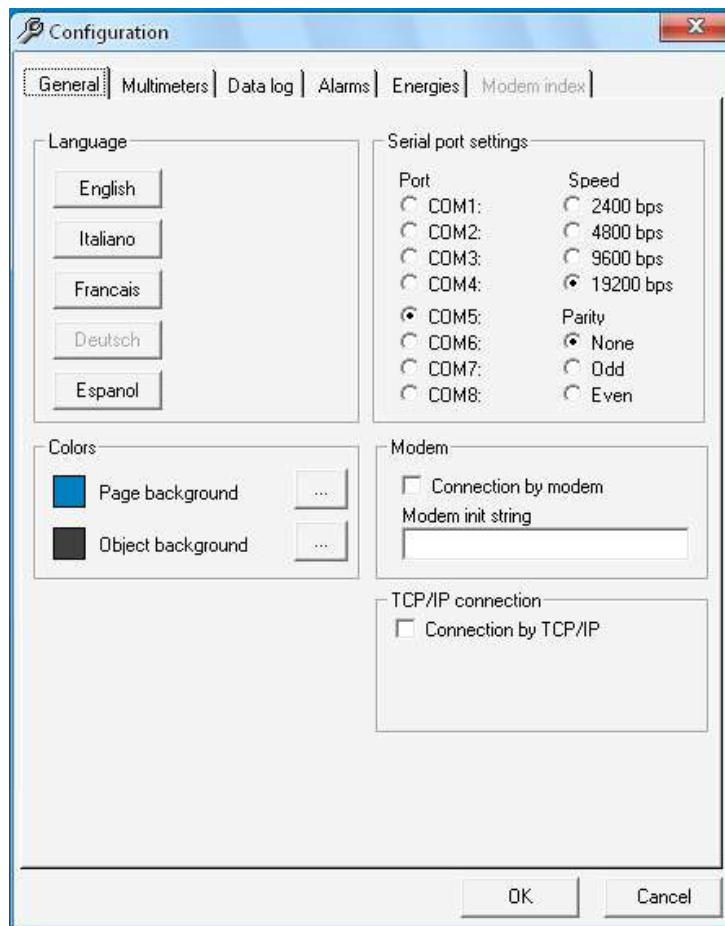


Рисунок 6 – Налаштування параметрів зв'язку

Наступна вкладка «**Multimeters**», призначена для налаштування меж відображення вимірюваних електричних величин приладом **DMK62**. Межі слід встановити відповідно до вимірюваними величинами, а саме:

- Номінальна вимірювана напруга 400V, величина шкали вимірювань 500 V;
- Номінальний вимірюваний струм 5 A, межа шкали 10 A;
- Для потужностей активної, реактивної та повної вказати межі шкали рівними 5 кВт, 5кВАр і 5 кВА відповідно.

Зазначені межі дають досить раціональне відображення вимірюваних величин.

Вид вікна показаний на рисунку 7.

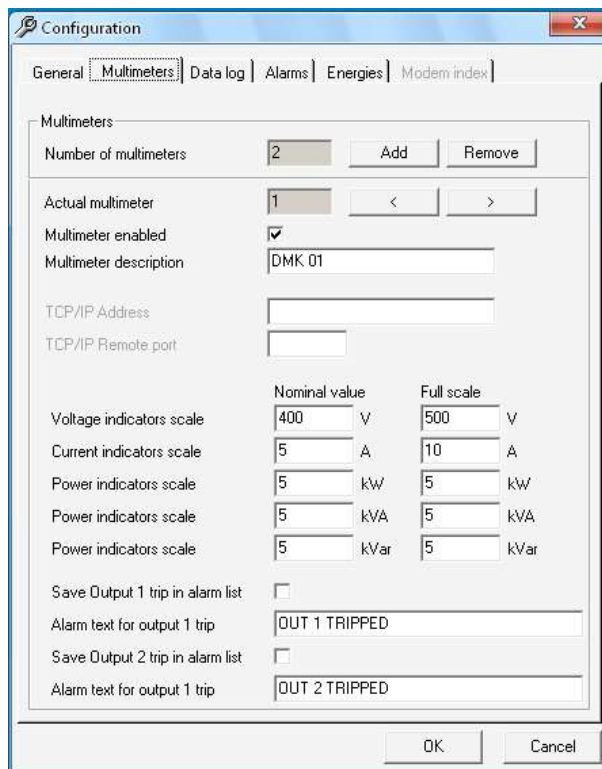


Рисунок 7 – Вибір меж вимірювання

Наступна вкладка «**Datalog**» вікна настройки ,необхідна для автоматичного запису свідчень мультиметра. Вид відкритого вікна показаний на рисунку 8. У відкритому вікні необхідно вказати такі значення:

- Періодичність вибору=1сек, відповідає за час опитування програмою обраних значень вимірюваних приладом величин;
- Періодичність запису=1сек, відповідає за циклічність запису в журнал даних зчитаних величин;
- Час зберігання записаних в журнал даних =1день;
- Запис подій відключити (**Storealarms**).

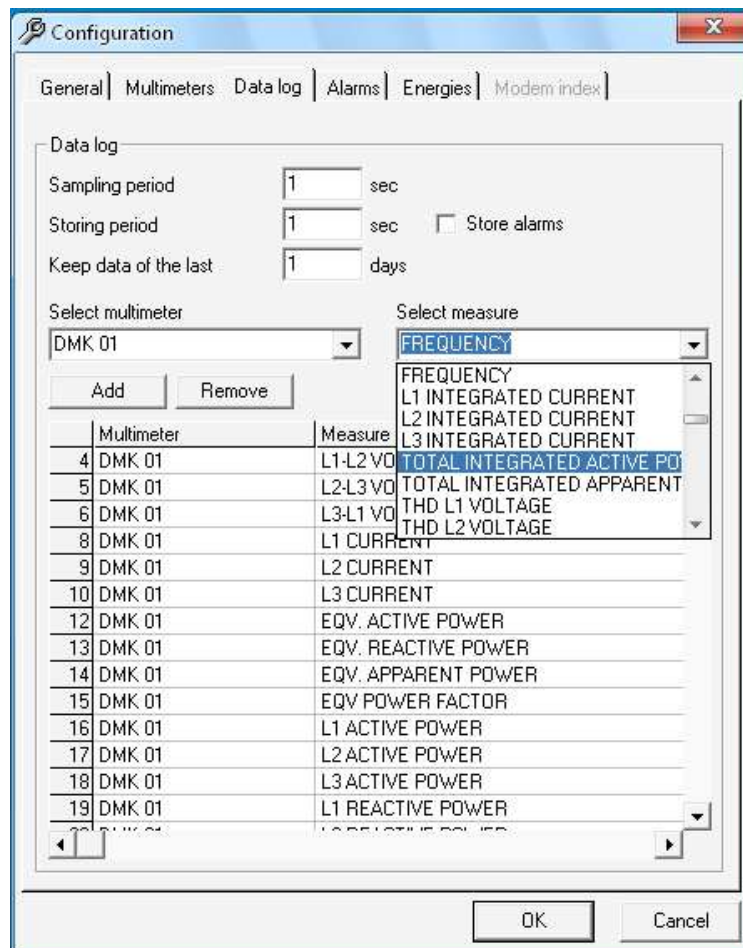


Рисунок 8 – Налаштування введення журналу даних

У вікні налаштування журналу даних є два випадаючі хменю - «**Selectmultimeter**» і «**Selectmeasure**». У першому полі необхідно вказати найменування приладу, з якого потрібно зчитувати дані. У випадаючому меню «**Selectmeasure**» необхідно вибрати вимірювану величину, яку потрібно додати в список для запису в журнал даних. Додавання до списку відбувається після натискання кнопки «**Add**». Обрана величина для запису в журнал даних відобразиться в нижній частині відкритого вікна. В журнал даних потрібно вивести значення фазних струмів, лінійних підведених напруг, потужностей і коефіцієнти потужності.

Вкладки «**Alarms**» і «**Modemindex**» не використовуються при проведенні дослідів.

Коли налаштування програми завершено і мультиметр живлення двигуна почав давати дані про живлення досліджуваної машини, можна

приступити до проведення досліджень. Включивши режим роботи від зовнішнього джерела регульованої напруги, досліджуваний двигун автоматично ввімкнеться на напругу яка подається з індукційного регулятора. Значення напруги потрібно виставити не нижче ніж 110% від номінальної напруги двигуна. Потім знижувати напругу живлення двигуна потрібно ступенями, при цьому інтервали між ступенями повинні бути досить великі щоб напруга джерела встигала встановитися на незмінній величині. Кількість ступенів пониження мінімум 5-7.

Значення вимірюваних електричних величин, записані при проведенні досліджень заносяться в журнал даних і їх можна переглянути натиснувши на кнопку «**View → Datalog**», рисунок 9.

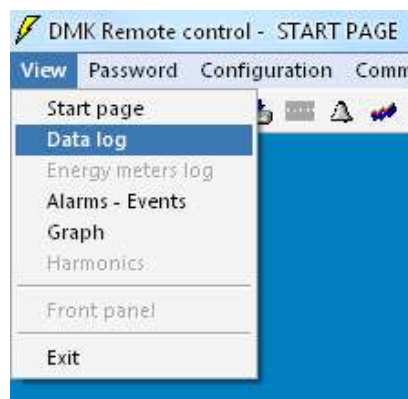


Рисунок 9 – Включення режиму перегляду журналу даних

У вікні журналу даних необхідно вибрати період часу, за який були проведені дослідження, рисунок 10.

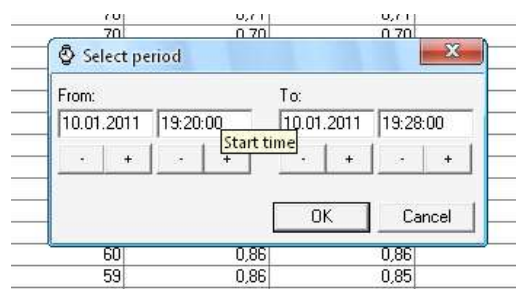
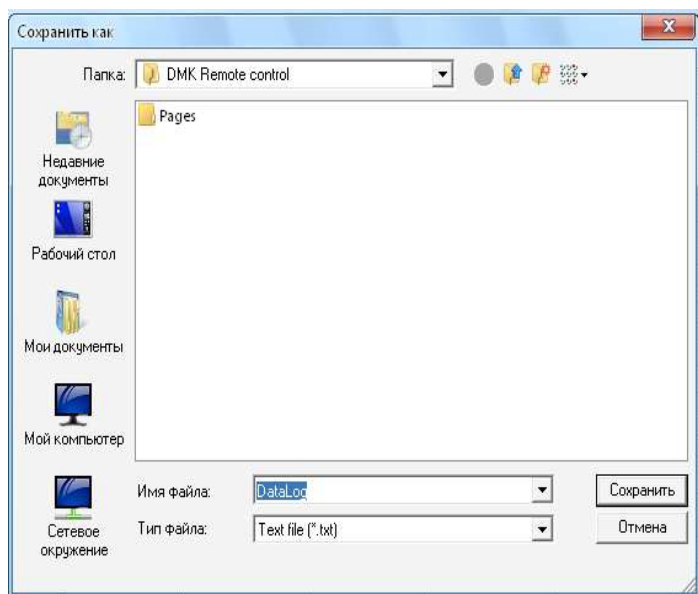


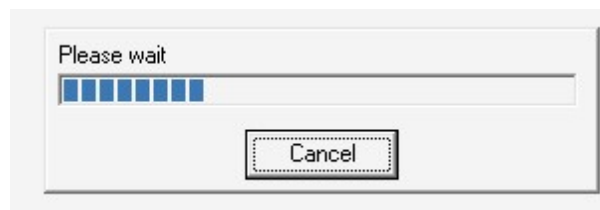
Рисунок 10 – Вибір періоду для відображення записаних даних

Потім потрібно експортувати записані значення вимірюваних величин у зовнішній файл для подальшої їх обробки. Для цього натискаємо на клавішу «**Export**».

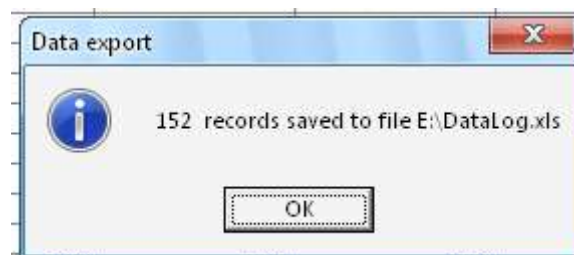
У відкритому діалоговому вікні вибираємо формат файлу в якому будуть збережені дані і шлях для створення файлу рисунок 11.



а)



б)



в)

Рисунок 11 – Збереження записаних даних в зовнішній файл:

а) вибір місця знаходження файлу, розширення записуваного файлу і його назви, б) діалогове вікно обробки даних, в) повідомлення про вдалий запис даних.

Для зручності подальшої обробки вимірних величин формат файлу вибираємо «*. XLS». Це дозволить далі працювати зі стандартним пакетом програм MS office.

2.3 Вимірювання опору обмотки статора

Для визначення втрат в обмотці необхідно виміряти опір фази двигуна. Для цього необхідно вимкнути живлення випробувального стенда, роз'єднати промисловий роз'єм Wielandrevos24 (поз №47). На штекер роз'єм у гнізда, які відповідають затиски клемм досліджуваного двигуна мають номери: 1- фаза А; 13- фаза В; 14- фаза С; 2- нульова точка двигуна. Вимірювання опору фаз двигуна показано на рисунку 12.



Рисунок 12 – Вимірювання опору двигуна

Якщо досліджуваний двигун не матиме виводу на нульову точку або його обмотки будуть з'єднані в трикутник, то виміряти можна буде тільки опір між лінійними виводами, який потім потрібно привести до фазного за відомими формулами.

У разі якщо опір обмотки вимірювався в холодному стані двигуна, отриманий в результаті вимірів опір необхідно привести до умовно робочої температури 75°C.

2.4 Порядок проведення досліджень режиму короткого замикання

Дослідження режиму короткого замикання, проводиться від джерела регульованої напруги. Для цього потрібно при розгальмованому двигуні включити перемикач LOVATO 7GS016B(поз №58). Перемикач останнього підключити індукційний регулятор в якості джерела живлення досліджуваної машини. Напругу, що підводиться до двигуна, необхідно встановити згідно таблиці1. Потім вимкнути режим живлення від джерела регульованої напруги і після зупинки двигуна, зняти захисне оргскло і встановити гальмівний важіль на муфту двигуна. Необхідно пам'ятати, що напрямок обертання випробуваної машини відповідає притисканню кінця гальмівного важеля до підлоги при монтажі останнього з лицьового боку стенді, навпаки – до підйому при монтажі з заднього боку стенду. Тому, щоб уникнути пошкодження устаткування або отримання травм персоналом, категорично

заборонено робити монтаж гальмівного важеля з напрямком вільного кінця назад. Хомут, що обжимає муфту, необхідно затиснути так, щоб виключити ковзання муфти під гальмівним важелем. Вимірювальний динамометр натискного типу необхідно розмістити під гальмівним важелем, так щоб гальмівний важіль знаходився в горизонтальному положенні. У разі наявності нахилу гальмівного важеля що до горизонту буде складніше визначити плече прикладання вимірюваної сили, що до центру валу. По завершенні монтажу гальмівного важеля необхідно ввімкнути рубильник ввімкнення ланцюга двигуна, це необхідно для ввімкнення вентиляторів зовнішнього обдування двигуна. Потім потрібно провести контрольне ввімкнення двигуна вже в стані короткого замикання, подивитися на показання вимірювального динамометра, вимкнути двигун, послабити затискний хомут і повернути ротор двигуна приблизно на один зубцевий поділ, затиснути хомут і провести повторне ввімкнення. Такі повертання ротора необхідно зробити декілька разів, за показаннями динамометра виставити ротору положення відповідно найменшому моменту.

Після завершення підготовки механічної частини, необхідно провести настроювання вимірювача параметрів живлення двигуна DMK62, згідно приведеним раніше вказівкам (пункт 2.2).

2.5. Обробка результатів досліджень АД в режимі короткого замикання

Проведення досліджень передбачає визначення величини початкового пускового струму і початкового пускового обертаючого моменту двигуна, так як в цьому дослідженні відтворюються пускові умови для двигуна. У даній роботі обертовий електромагнітний момент можна отримати двома способами – розрахунковим і експериментальним. При цьому виміряний момент відповідає дійсному, а згодом його можна використовувати для визначення реальної величини втрат в обмотці ротора, що дає можливість визначити реальну величину втрат в сталі.

Вимірювання обертового моменту і відповідних значень лінійних струмів, підведеної лінійної напруги і споживаної потужності, проводиться для номінальної напруги короткочасно один раз. Потім аналогічні вимірювання проводяться для зниженої напруги, починаючи з напруги, що відповідає таблиці 1, і знижуючи до тих пір, поки вимірювальний динамометр не покаже 0. Показання динамометра потрібно записувати в таблицю 2 разом з показаннями часу коли були зроблені ці вимірювання. Таким чином, виконується синхронізація показань вимірюного обертаючого моменту з відповідними вимірними електричними величинами, для узгодження величин вимірюваних приладом **DMK62** і динамометром в одному часовому діапазоні.

Таблиця 2

Приклад показань вимірювань динамометра.

№	Показання динамометра, грам	Час показу
1	3457	16:24:00
2	164	16:52:36
3	104	16:52:38
4	38	16:52:54
5	18	16:53:03
6	3	16:53:07
7	2	16:53:09
8	0	16:53:15
9	0	16:53:23

З файлу в якому збережений журнал даних програми **DMK Remotecontrol**, потрібно вибирати ті рядки зі значеннями вимірних електричних величин які відповідають часу в таблиці 2. Відібрані величини необхідно занести в таблицю 3.

Таблиця3

Приклад вимірних значень досліджень АД в режимі КЗ

№	час	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	P	Q	S	PF
		B	B	B	A	A	A	кВт	квар	кВА	
1	16:24:00	393	396	387	17,4	17,7	17,5	8400	8590	11900	0,69

2	16:52:36	111	111	111	4,08	4,07	4,04	456	651	795	0,57
3	16:52:38	102	101	100	3,56	3,56	3,52	345	508	614	0,54
4	16:52:54	81	84	83	2,71	2,75	2,77	178	325	371	0,48
5	16:53:03	62	63	64	2	1,98	2	98	190	214	0,45
6	16:53:07	42	42	43	1,22	1,21	1,2	40	85	92	0,4
7	16:53:11	28	28	28	0,67	0,68	0,66	13	34	37	0,36
8	16:53:15	21	21	21	0,42	0,43	0,41	6	18	19	0,29
9	16:53:23	15	15	15	0,23	0,25	0,21	2	8	8	0,24

Для кожного вимірювання необхідно розрахувати значення лінійної напруги короткого замикання U_k як середнє арифметичне з виміряних напруг. Лінійний струм короткого замикання I_k як середнє арифметичне з виміряних струмів в кожній фазі. Підведеній потужності P_k відповідає значення вимірної активної потужності. Коефіцієнт потужності визначається за формулою:

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_k I_k}$$

Розраховані значення лінійного струму КЗ, лінійної напруги КЗ і коефіцієнта потужності занесені в таблицю 4.

Таблица 4

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{кв}$	392	111	101	82,66	63	42,33	28	21	15
$I_{кв}$	17,53	4,063	3,546	2,743	1,993	1,21	0,67	0,42	0,23
$\cos \varphi_k$	0,705	0,582	0,522	0,422	0,413	0,383	0,4	0,392	0,334

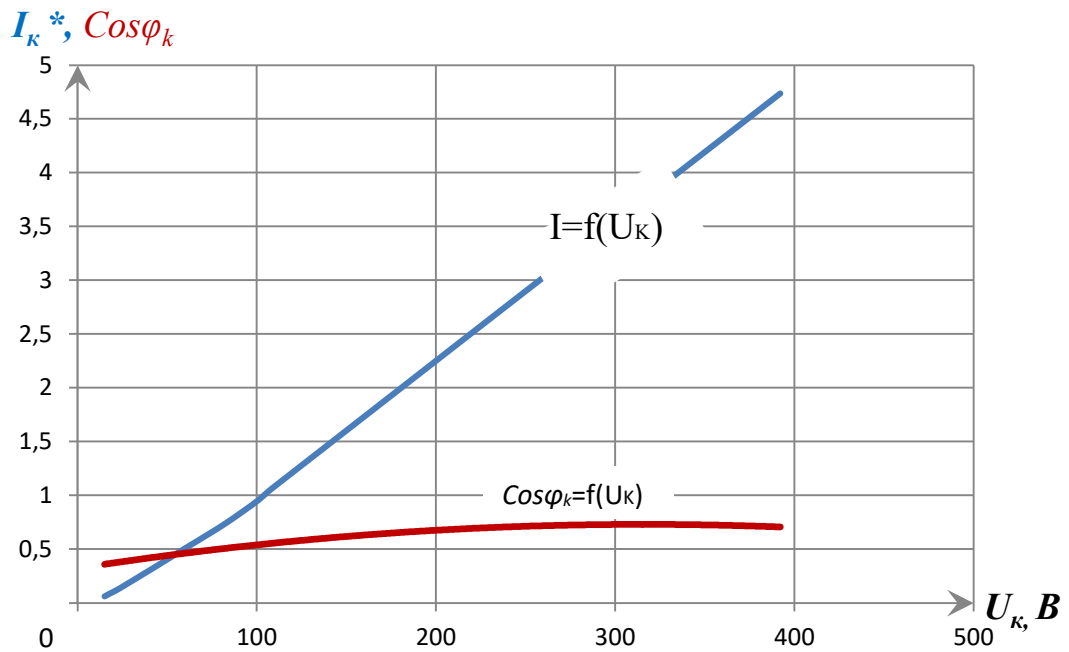


Рисунок 13 – Характеристики короткого замикання. Залежність струму короткого замикання і коефіцієнта потужності від напруги короткого замикання.

2.6 Визначення втрат короткого замикання

Втрати в обмотці статора P_{M1} :

$$P_{M1} = 3I_k^2 R_{\vartheta};$$

де R_{ϑ} — опір однієї фази при температурі ϑ в момент відліку.

Порядок вимірювання опору обмотки статора наведено в досліді неробочого ходу. Нагріта машина по закінченню досліді КЗ мала опір обмотки $R_{\vartheta} = 4,8 \text{ Ом}$.

Втрати в обмотці ротора P_{M2} отримують відніманням від підведеної потужності втрат в обмотці статора і втрат в сталі, взятих з досліді неробочого ходу відповідно до напруги U_k :

$$P_{M2} = P_k - P_{M1} - P_{ст.}$$

Щоб визначити втрати в сталі, які відповідають певній напрузі за графіком втрат в режимі НХ, зручно скористатися рівнянням ліній тренда. В досліді холостого ходу було зазначено те, що побудовані криві є апроксимованими. Якщо вивести на графік рівняння, яке описує

апроксимовану лінію втрат, то це рівняння буде математичним зв'язком між втратами неробочого ходу і квадратом напруги. Приклад зображений на рисунку 14.

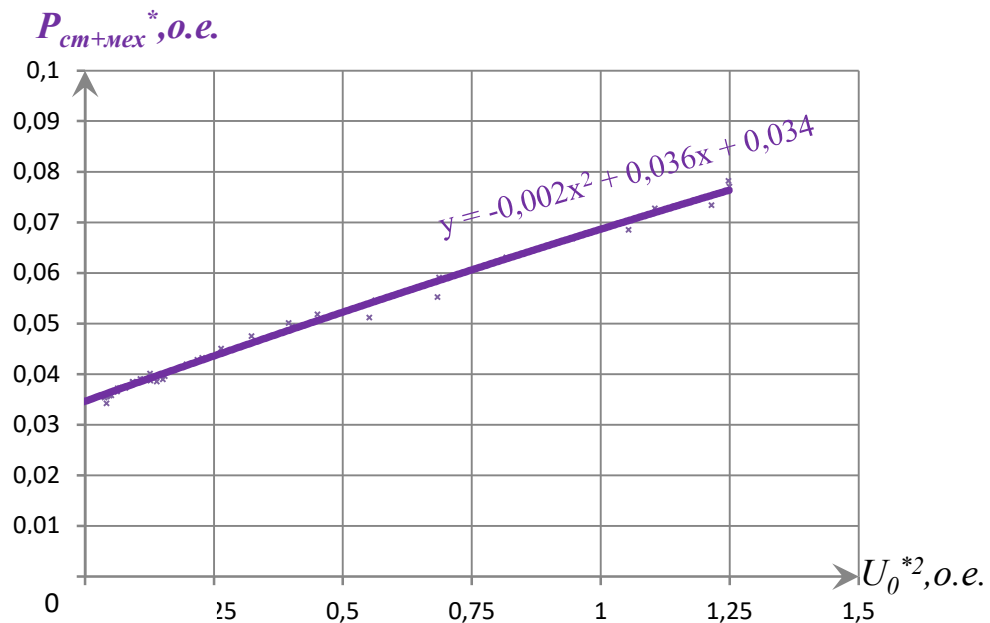


Рисунок 14 – Залежність втрат в сталі і механічних втрат від квадрата величини живлячої напруги з дослідів НХ. Апроксимація поліномом.

Як видно з рівняння апроксимована крива є практично лінійною. При цьому слід розуміти що значення $y=P_{ст}^*$, а значення $x=U_0^{*2}$. Дана крива втрат враховує в собі як втрати в сталі такі механічні втрати, для відділення втрат в сталі необхідно відняти з рівняння останній доданок. Тоді рівняння для кривої залежності втрат в сталі від квадрату напруги буде мати вигляд:

$$P_{ст}^* = -0,002 \cdot U_0^{*2} + 0,036 \cdot U_0^*;$$

Певні значення втрат в сталі, в обмотці статора і обмотці ротора зводимо в таблицю 5.

Таблиця 5

Відділення втрат в режимі КЗ (приклад).

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_k, B	392	111	101	82,66	63	42,33	28	21	15

$U^{*2}, o.e.^2$	1,0641	0,0853	0,0706	0,0473	0,0274	0,0124	0,0054	0,0030	0,0015
$P_{cm}^*, o.e.$	0,03618	0,0029	0,0024	0,0016	0,00093	0,00042	0,0002	$10,4 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$
P_{cm}, Bm	54,27191	4,3516	3,602846	2,413203	1,401794	0,632848	0,276898	0,155755	0,079467

Таблиця 5 (Продовження)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_{m1}, Bm	4426,816	237,7538	181,1354	108,3726	57,21664	21,08304	6,46416	2,54016	0,76176
P_{m2}, Bm	3919,593	208,1131	134,7339	51,23961	28,13107	9,94127	4,635914	2,059721	0,253291

Залежність споживаної потужності і втрат в обмотці ротора від напруги короткого замикання зображена на рисунку 15.

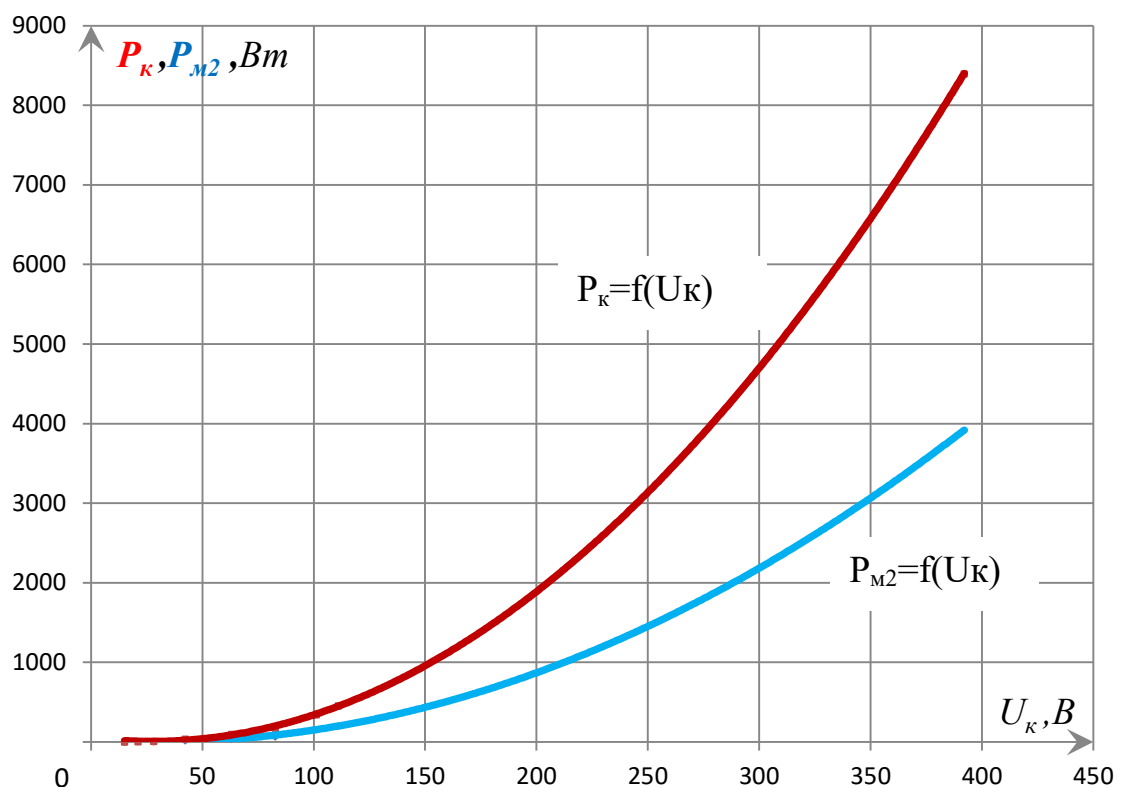


Рисунок 15 – Характеристики короткого замикання. Залежність спожитої потужності P_k і втрат в обмотці ротора P_{m2} від напруги короткого замикання.

2.7 Визначення обертового електромагнітного моменту

Втрати в обмотці ротора пропорційні розвиваючому двигуном обертового моменту, що дає можливість виражати останній в одиницях потужності. Для переведу обертового моменту в Ньютон-метри слід використовувати формулу:

$$M_k = 0,9 \cdot 9550 \cdot \frac{P_{M2}}{n_c} = 8595 \cdot \frac{P_{M2}}{n_c};$$

де n_c - синхронна частота обертання поля.

0,9 – коефіцієнт, що враховує вплив вищих гармонік.

Розраховані значення обертового моменту внесені в таблицю 6, там же для зіставлення наведені значення моменту, отриманого в результаті вимірів зусилля, діючого на гальмуючий важіль. Для того, щоб виміряне зусилля перевести в Ньютон-метри, показання динамометра помножити на $g=9.8 \text{ м/с}^2$ і на довжину плеча вимірювання.

Таблица 6

Порівняння розрахункового та виміряного моменту АД.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$M_k, \text{Н}\cdot\text{м}$	23,707	1,2647	0,9419	0,3824	0,2185	0,0964	0,028	0,0124	0,0015
$M_{\text{Квимір}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	23,715	1,125	0,7134	0,2606	0,1234	0,0205	0	0	0

Можна помітити, що реальний виміряний момент трохи нижче, ніж розрахунковий. Це говорить про те, що величина втрат присутніх в машині більше ніж прийняті розрахункові втрати. При цьому втрати в обмотці статора пропорційні квадрату струму і опору обмотки статора, опір обмотки статора можна вважати практично незмінним, оскільки двигун нагрівається до робочої температури відразу, після включення на номінальну напругу в режимі КЗ. З урахуванням швидкості проведення вимірювань на зниженій напрузі, машина не встигає охолонути, а зовнішній обдув не дає їй

перегрітися. Значить втрати в обмотці статора P_{m1} можна вважати досить точно визначеними за формулою. Невизначеними залишаються втрати сталі, так, як при одній і тій же напрузі на виводах обмотки статора потік при короткому замиканні і втрати в сталі статора менше, ніж при холостому ході, але виникають втрати в сталі ротора, відсутні при холостому ході.

Реальну величину втрат в сталі машини можна визначити, якщо втрати в обмотці ротора визначати за виміряним моментом двигуна:

$$P_{m2} = \frac{M_k \cdot n_c}{8595};$$

Тоді віднімаючи з підведеної потужності втрати в обмотці ротора P_{m2} і втрати в обмотці статора P_{m1} отримаємо реальне значення втрат в сталі машини. Розраховані значення реальних втрат в обмотці ротора і сталі внесені в таблицю 7.

Таблица 7

Втрати в сталі і в обмотці ротора визначені перерахунком виходячи з виміряного моменту.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_{m2}', Bm	3920,918	186,0083	117,9565	43,09948	20,41554	3,40259	≈ 0	≈ 0	≈ 0
P_c', Bm	52,26584	32,23797	45,90818	26,52788	20,36782	15,51437	6,53584	3,45984	1,23824

3. ВІРТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Для забезпечення реальних досліджень режиму короткого замикання на стенді, студентам пропонується провести віртуальне дослідження для отримання навиків роботи зі складним обладнанням.

Порядок роботи з випробувальним стендом детально наведено в Додатку А.

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт з дослідження асинхронного двигуна в режимі короткого замикання має містити наступні матеріали:

1. Титульний аркуш.
2. Програма роботи.
3. Основні теоретичні відомості.
4. Таблиці з експериментальними даними.
5. Розрахунки, необхідні для побудови характеристик.
6. Побудовані характеристики.
7. Висновки по виконанню дослідницької роботи.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які величини називають параметрами асинхронного двигуна?
2. Які параметри асинхронного двигуна можна визначити з результатів досліджень АД в режимі короткого замикання?
3. Які методи існують для визначення початкового пускового моменту АД?
4. Чи залежить величина початкового пускового моменту від відносного положення зубців статора і ротора?
5. Якщо отримано декілька значень початкового моменту при різних відносних положеннях зубців статора і ротора, то що слід приймати за величину початкового пускового моменту електродвигуна?
6. Які вимоги пред'являються до напруги, що подається на обмотку статора при дослідженні АД в режимі короткого замикання?
7. Чому слід міряти опір обмотки в кінці дослідження режиму короткого замикання?
8. За допомогою яких приладів можна виміряти величину початкового пускового моменту?

9. При яких напругах мережі вимірюють струм і втрати короткого замикання?

10. Як можна проконтролювати правильність визначення коефіцієнта потужності по розрахунковій формулі?

11. Якщо немає можливості провести виміри режиму короткого замикання при номінальній напрузі то як перерахувати результати досліджень на номінальну напругу?

Заходи безпеки під час виконання досліджень в лабораторії надійності та сертифікації якості електричних машин

Перед початком досліджень проводиться інструктаж з правил безпеки згідно з інструкцією з охорони праці, затвердженою розпорядженням декана ФЕА. Після вивчення і перевірки знань цієї інструкції прізвище кожного студента заноситься до контрольного листа, де він ставить свій особистий підпис.

Під час виконання досліджень студентам забороняється :

- заходити за задню частину дослідницького стенду, торкатись неізовльованих струмопровідних частин обладнання, а також конструкцій обладнання, які обертаються;
- збирати схеми або робити перемикання в них, усувати недоліки без відключення установки;
- ставати на робочий стіл, або на фундаментну плиту машин;
- стояти поряд з незахищеними кожухами, муфтами, дисками, та частинами машини, що обертаються;
- підключати та знімати з'єднувальні провідники під напругою;
- розбирати схеми, виривати з'єднувальні провідники;

- приєднувати провідники до приладів, машин та апаратів без дозволу викладача;
- користуватися реостатами з порушеними контактами;
- самостійно робити переключення на панелі приладів;
- вмикати вимикачі для включення напруги без дозволу викладача;
- виконувати дослідження одному;

Студенти зобов'язані:

- перед включенням напруги попередити всіх членів бригади голосом: «Обережно вмикаю!» перевіривши заздалегідь чи торкається хто-небудь до струмопровідних частин, або частин машин, які можуть обертатися;
- не залишати дослідницький стенд без нагляду, постійно спостерігаючи за його справною роботою;

Після закінчення роботи необхідно відключити стенд від напруги, навести порядок на робочому місці, повідомити викладача про всі неполадки, чи відхилення від норми, виявлені під час роботи.

Список рекомендованої літератури

1. Білінський Й. Й., Костюк О. П. Електромеханічні системи та електропривод : навч. посіб. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 248 с.
2. Костюк О. П., Жуйков В. Я. Енергоефективні електромеханічні системи : навч. посіб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 312 с.
3. Плахотнюк О. В., Кучерук В. Ю. Асинхронні електродвигуни: режими роботи та енергетичні показники: монографія. – Харків: ХНТУ, 2018. – 198 с.
4. Гаврилук В. С. Електричні машини змінного струму : підручник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 364 с.
5. Бурбело М. Й., Сегеда М. С. Електричні машини та основи електропривода : навч. посіб. – Львів: Магнолія 2006, 2016. – 420 с.
6. Boldea I. Electric Machines: Steady State, Transients, and Design with MATLAB. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 824 p.
7. Chapman S. J. Electric Machinery Fundamentals. – 5th ed. – New York: McGraw-Hill, 2017. – 688 p.
8. Krishnan R. Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control. – Boston: Pearson, 2018. – 640 p.
9. Pyrhönen J., Jokinen T., Hrabovcova V. Design of Rotating Electrical Machines. – Chichester: John Wiley & Sons, 2014. – 512 p.
10. IEEE Std 112-2017. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. – IEEE, 2017.
11. IEC 60034-2-1:2014/A1:2021. Rotating electrical machines – Methods for determining losses and efficiency. – IEC, 2021.
12. Alam M., Islam M. Energy-efficient operation of induction motors under abnormal conditions // *IEEE Transactions on Energy Conversion*. – 2019. – Vol. 34, No. 3. – P. 1342–1350.

13. Zhang Y., Wang L., Chen H. Short-circuit behavior and thermal stress analysis of induction motors // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, No. 18. – P. 1–16.

ДОДАТОК А

Алгоритм роботи зі стендом по дослідженню режиму короткого замикання асинхронного двигуна

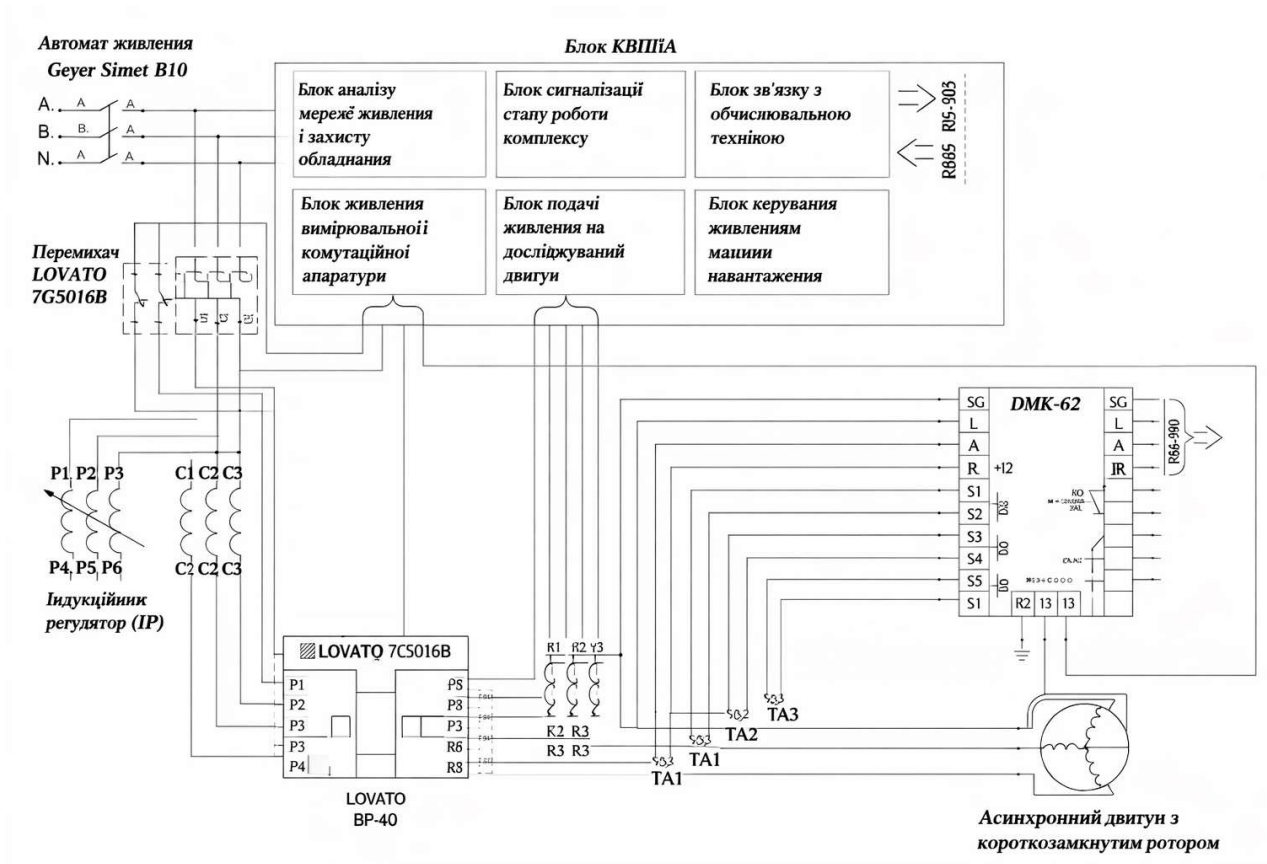
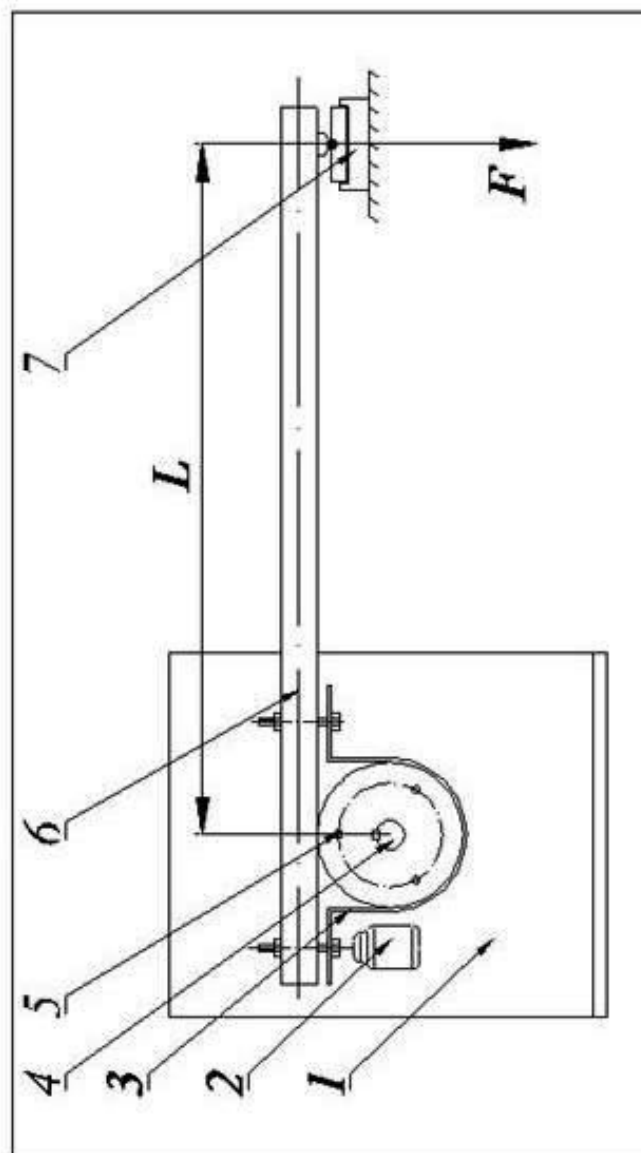


Рисунок 16 – Блок-схема дсліду короткого замикання



Позначення:

- 1 - Фланець кріплення машини;
- 2 - Протипага;
- 3 - Хомут сталевий з резиновою вкладкою всередині;
- 4 - Привідний кінець валу досліджуваної машини;
- 5 - З'єднувальна муфта;
- 6 - Ричаг;
- 7 - Високоточний динамометр.

Для того, щоб виміряти на динамометрі значення перевести в ньютон-метри необхідно помножити ці показання на $g=9.8 \text{ м/с}^2$ та довжину плеча вимірювання.

Рисунок 17 – Конструкція гальмівного пристрою

Далі =>

ІНДУКЦІЙНИЙ РЕГУЛЯТОР (ІР)



Рисунок 18 — Індукційний регулятор

ЦИФРОВИЙ МУЛЬТИМЕТР DMC-62

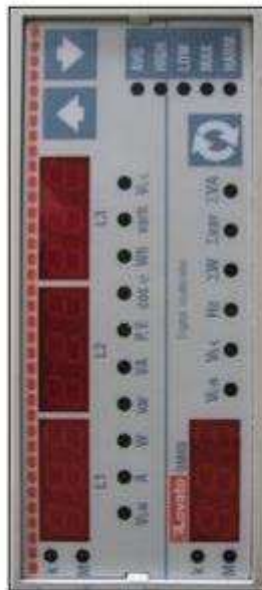


Рисунок 19 — Цифровий мультиметр DMC-62

Далі =>

АСИНХРОННИЙ ДВИГУН

Паспортні данні асинхронного двигуна

Тип: MS9024;
Ступінь захисту: IP 55;
Номинальна частота обертання: 1390 об/хв;
Потужність: 1,5кВт;
ККД 78%;
Номинальна напруга: 220/380 В;
Коефіцієнт потужності: $\cos(\phi) = 0,79$;
Номинальний струм: 6,4/3,7 А;
Номинальний момент: 10,3 Нм;
Кратність пускового струму: $i_n = 4,6$;
Кратність пускового моменту: $m_n = 2,3$;
Кратність максимального моменту: $m_M = 2,5$;
Вага: 13,9кг. □



Рисунок 20 — Асинхронний двигун

**РОЗПОЧАТИ
ДОСЛІД =>**

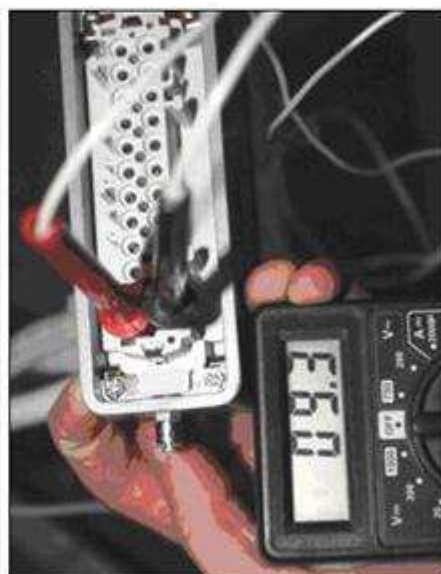


Рисунок 21 – Вимірювання опору фази двигуна

Вимірювання опору фази двигуна

Для визначення втрат в обмотці необхідно виміряти опір фази двигуна. Для цього необхідно перед проведенням досліджу короткого замикання вимкнути живлення лабораторного стенду і роз'єднати промісловий роз'єм Wieland revos 2.4. На штекері роз'єму, гнізда що відповідають клемам досліджуваного двигуна мають кольорові позначення:

● - фаза A;

● - фаза C;

● - фаза B;

● - нульова точка двигуна.

У випадку, коли опір вимірювався в холодному стані двигуна, отриманий в результаті опір необхідно привести до условно робочої температури 75 градусів за Цельсієм. Це виконується за допомогою формули:

$$R_{75} = R_{\theta} \cdot \frac{235 + 75}{235 + \theta};$$

де: θ - температура за якої проводилося вимірювання;

R_{θ} - виміряний опір.

Опір фази досліджуваного двигуна, виміряний по закінченню досліджу короткого замикання: $R=4.6 \text{ Ом}$.

Далі =>



Рисунок 22 — Вимикач регульованого джерела напруги

Ввімкнення режиму живлення від регульованого джерела напруги:

Обладнання що використовується в стенді для живлення досліджуваного двигуна не передбачає пониження напруги без зміни частоти живлення. Тому електрична схема з'єднань для підключення зовнішнього регульованого джерела напруги попередньо закладена в режимах роботи стенду та вмикається автоматично при ввімкненні автоматичного вимикача LOVATO 7GS016B. Вимикач знаходиться на задній стороні стенду і передбачен для перемикання викладачем або лаборантом.

Далі =>

Підключення індукційного регулятора:

Для підключення живлення через індукційний регулятор використовується промисловий роз'єм Wieland брш+PE

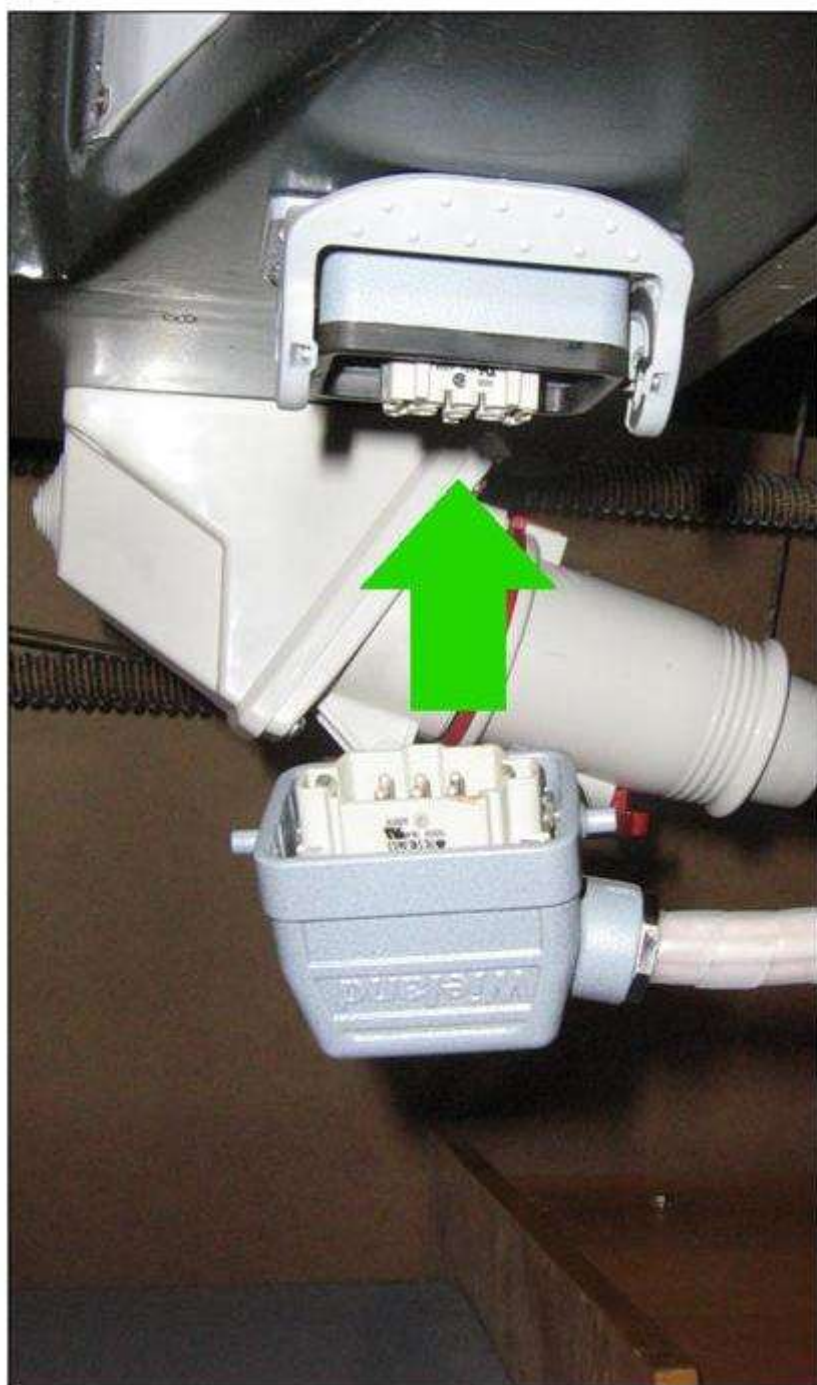


Рисунок 23 – Підключення індукційного регулятора

Далі =>



Ввімкнення двигуна:

1. Ввімкнути живлення комплексу
2. Ввімкнути живлення вимірювальних приладів
3. Ввімкнути коло живлення двигуна
4. Підготувати прямий пуск двигуна (ППД)
5. Виконати прямий пуск двигуна (ППД)

Рисунок 2.4а — Порядок ввімкнення асинхронного двигуна



Ввімкнення двигуна:

1. Ввімкнути живлення комплексу
2. Ввімкнути живлення вимірювальних приладів
3. Ввімкнути коло живлення двигуна
4. Підготувати прямий пуск двигуна (ППД)
5. Виконати прямий пуск двигуна (ППД)



Рисунок 246 — Порядок ввімкнення асинхронного двигуна



Ввімкнення двигуна:

1. Ввімкнути живлення комплексу
2. Ввімкнути живлення вимірювальних приладів
3. Ввімкнути коло живлення двигуна
4. Підготувати прямий пуск двигуна (ППД)
5. Виконати прямий пуск двигуна (ППД)



Рисунок 2.4в – Порядок ввімкнення асинхронного двигуна

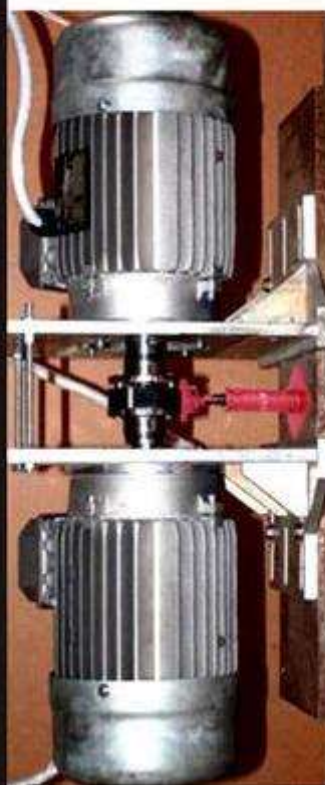
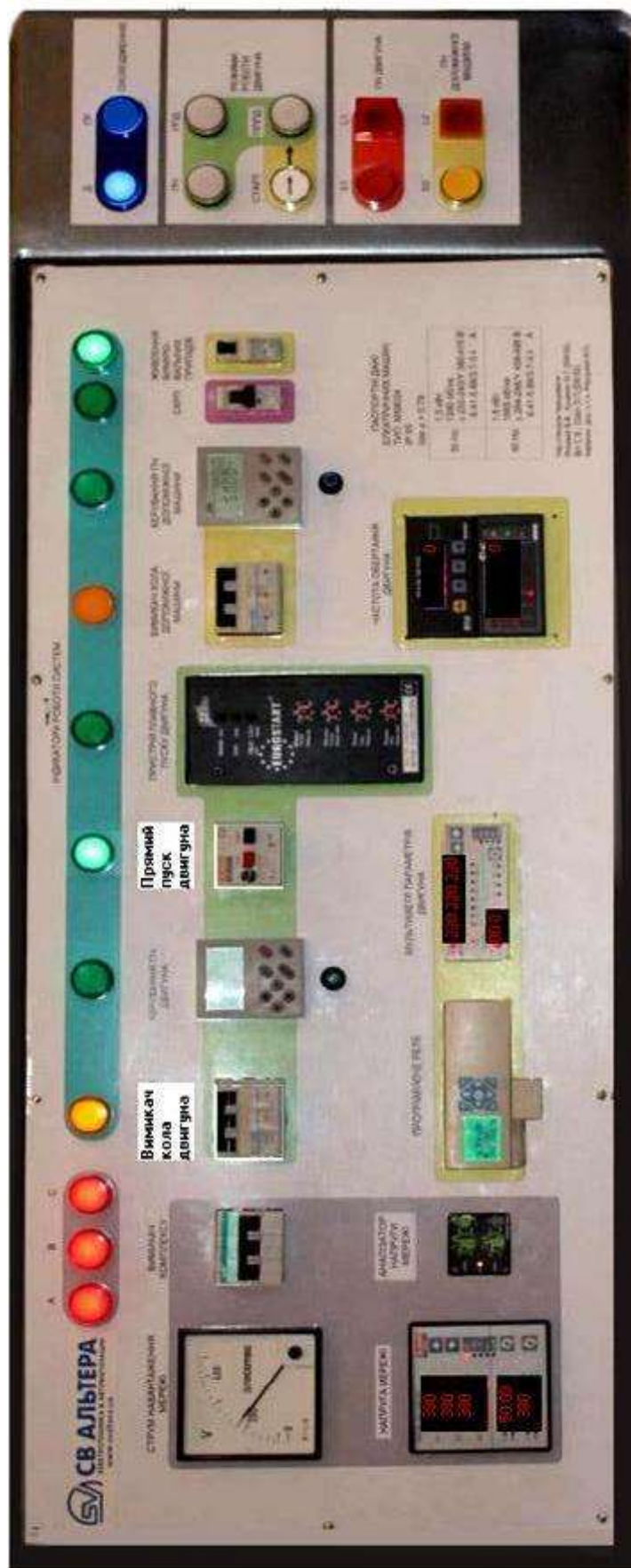


Ввімкнення двигуна:

1. Ввімкнути живлення комплексу
2. Ввімкнути живлення вимірювальних приладів
3. Ввімкнути коло живлення двигуна
4. Підготувати прямий пуск двигуна (ППД)
5. Виконати прямий пуск двигуна (ППД)



Рисунок 2.4г – Порядок ввімкнення асинхронного двигуна



Ввімкнення двигуна:

1. Ввімкнути живлення комплексу
2. Ввімкнути живлення вимірювальних приладів
3. Ввімкнути коло живлення двигуна
4. Підготувати прямий пуск двигуна (ППД)
5. Виконати прямий пуск двигуна (ППД)

Рисунок 2-4д – Порядок ввімкнення асинхронного двигуна



Ввімкнення двигуна:

1. Ввімкнути живлення комплексу
2. Ввімкнути живлення вимірювальних приладів
3. Ввімкнути коло живлення двигуна
4. Підготувати прямий пуск двигуна (ППД)
5. Виконати прямий пуск двигуна (ППД)

Цифровой моментометр



Цифровой мультиметр ДМК-62



Зміна напруги мережі



Після ввімкнення режиму роботи від зовнішнього джерела регульованої напруги, досліджуваний двигун автоматично ввімкнеться на напругу, яка подається з індукційного регулятора (ІР). Вимірювання обертового моменту та відповідних значень лінійних струмів, підведеної лінійної напруги та спожитої потужності виконуються короткочасно один раз для номінальної напруги, а потім аналогічні виміри виконуються для пониженої напруги, починаючи зі значення 111В.

Подати відповіді на

Далі $\hat{=}$

Рисунок 25 — Вимірювання величин досліді КЗ

Таблиця 8 - Результати вимірювання дослід короткого замикання

N	$U_{AB} В$	$U_{BC} В$	$U_{CA} В$	$I_{L1} А$	$I_{L2} А$	$I_{L3} А$	P, кВт	Q, квар	S, кВа	PF	M, Н·м
1	393	396	387	17,4	17,7	17,5	8400	8590	11900	0,69	23,715
2	111	111	111	4,08	4,07	4,04	456	651	795	0,57	1,125
3	102	101	100	3,56	3,56	3,52	345	508	614	0,54	0,7134
4	81	84	83	2,71	2,75	2,77	178	325	371	0,48	0,2606
5	62	63	64	2	1,98	2	98	190	214	0,45	0,1234
6	42	42	43	1,22	1,21	1,2	40	85	92	0,4	0,0205
7	28	28	28	0,67	0,68	0,66	13	34	37	0,36	0
8	21	21	21	0,42	0,43	0,41	6	18	19	0,29	0
9	15	15	15	0,23	0,25	0,21	2	8	8	0,24	0

**Побудувати характеристики
дослід короткого замикання**

Далі =>

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОТКОГО ЗАМІКАННЯ

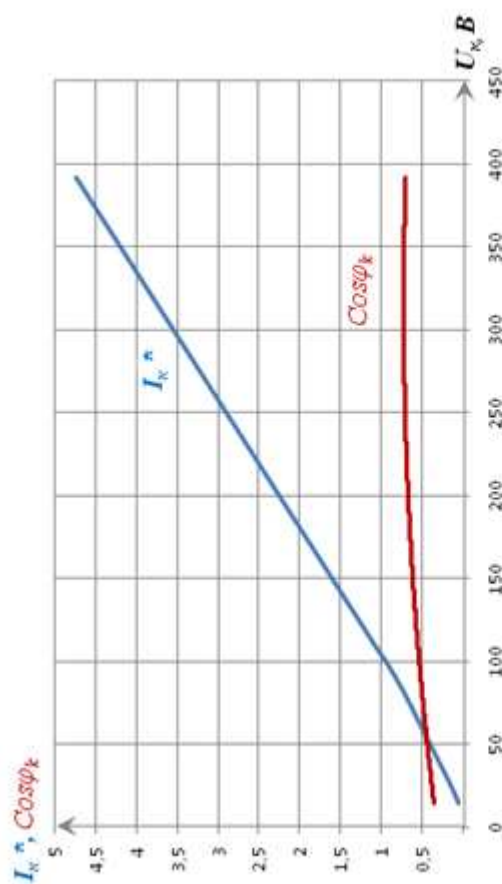


Рисунок 26 — Характеристика залежності струму короткого замикання та коефіцієнту потужності від напруги короткого замикання

Для кожного вимірювання необхідно розрахувати значення: лінійної напруги короткого замикання U_k , як середню арифметичну з вимірянних напруг; лінійний струм короткого замикання I_k , як середній арифметичний з вимірянних струмів в кожній фазі; підведеної потужності P_k відповідає значення виміряної активної потужності; коефіцієнт потужності визначається за формулою:

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_k I_k}$$

Повернутись до
таблиці

Таблиця 9 - Втрати короткого замикання в залізі, обмотках статора та ротора.

N	U _к , В	U ^{^(2)} , о.е. ^{^(2)}	P _{ст} [^] , о.е.	P _{ст} , Вт	P _{м1} , Вт	P _{м2} , Вт
1	392	1,0641	0,03618	54,27191	4426,816	3919,593
2	111	0,0853	0,0029	4,3516	237,7538	208,1131
3	101	0,0706	0,0024	3,602846	181,1354	134,7339
4	82,66	0,0473	0,0016	2,413203	108,3726	51,23961
5	63	0,0274	0,00093	1,401794	57,21664	28,13107
6	42,33	0,0124	0,00042	0,632848	21,08304	9,94127
7	28	0,0054	0,0002	0,276898	6,46416	4,635914
8	21	0,003	0,000104	0,155755	2,54016	2,059721
9	15	0,0015	0,000053	0,079467	0,76176	0,253291

Втрати в обмотці статора P_{м1} визначаються за формулою:

$$P_{м1} = 3I_{\kappa}^2 R_{\theta};$$

де R_θ - опір однієї фази статора асинхронного двигуна в момент дослід. По закінченню дослід короткого замикання одна фаза обмотки статора має опір R_θ = 4,8 Ом.

Втрати в обмотці ротора P_{м2} вирахуємо віднявши від підведеної потужності втрати в обмотці статора та втрати в залізі, взяті з дослід холостого ходу відповідно до напруги U_к: $P_{м2} = P_{\kappa} - P_{ст} - P_{зл}$.

Побудувати характеристики залежності втрат та потужності короткого замикання від U_к

Далі =>

Дослід короткого замикання завершено.

Вихід