

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
для виконання лабораторних робіт**

**з освітньої компоненти  
«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»**

**Харків – 2026**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 5 січня 2026 р., протокол № 7.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальностей G3 «Електрична інженерія» (освітні програми «Електричний транспорт» і «Електропостачання та ресурсозберігаючі технології») і J7 «Залізничний транспорт» (освітня програма «Електровози та електропоїзди») усіх форм здобуття освіти.

Укладачі:

доценти Н. П. Карпенко,

В. П. Нерубацький

Рецензент

доц. Д. Л. Сушко

## ЗМІСТ

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП                                                                                                   | 4  |
| ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ<br>ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ                                              | 9  |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1                                                                                    |    |
| Дослідження генератора постійного струму з незалежним збудженням                                        | 12 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2                                                                                    |    |
| Дослідження генератора постійного струму з паралельним<br>і змішаним збудженням                         | 17 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3                                                                                    |    |
| Дослідження засобів регулювання частоти обертання двигуна<br>постійного струму з паралельним збудженням | 22 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4                                                                                    |    |
| Дослідження режиму динамічного гальмування                                                              | 28 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5                                                                                    |    |
| Дослідження двигуна постійного струму з послідовним збудженням                                          | 33 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6                                                                                    |    |
| Дослідження двигуна постійного струму з паралельним збудженням                                          | 42 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7                                                                                    |    |
| Дослідження розподілу втрат у двигуні постійного струму                                                 | 49 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8                                                                                    |    |
| Дослідження трифазного трансформатора                                                                   | 56 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9                                                                                    |    |
| Дослідження позначення виводів обмоток трифазного трансформатора                                        | 63 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10                                                                                   |    |
| Дослідження трифазного асинхронного двигуна                                                             | 69 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 11                                                                                   |    |
| Дослідження однофазного конденсаторного асинхронного двигуна                                            | 74 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ                                                                                       | 80 |

## ВСТУП

Освітня компонента «Електричні машини» є однією з базових фундаментальних освітніх компонент професійної підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальностями G3 «Електрична інженерія» (освітні програми «Електричний транспорт» і «Електропостачання та ресурсозберігаючі технології») і J7 «Залізничний транспорт» (освітня програма «Електровози та електропоїзди»). Її опанування спрямоване на формування у здобувачів вищої освіти системи фундаментальних інженерних знань і практичних умінь у сфері електромеханічного перетворення енергії, які становлять методологічну основу для подальшого вивчення спеціальних і професійно орієнтованих освітніх компонент і забезпечують готовність розв'язувати інженерні завдання у відповідній галузі.

Електричні машини є основними елементами систем електропривода, тягового електрообладнання, електропостачання та енергетичної інфраструктури. Для фахівців у сфері електричного транспорту і залізничної тяги електричні машини мають визначальне значення, оскільки саме вони переважно зумовлюють техніко-економічні характеристики рухомого складу. Від параметрів і конструктивних особливостей тягових і допоміжних електричних машин залежать динамічні властивості поїздів, енергетична ефективність перевізного процесу, надійність роботи приводів за різних режимів навантаження, а також рівень експлуатаційної безпеки. Крім того, раціональний вибір і правильна експлуатація електричних машин дають змогу зменшити втрати електроенергії, підвищити ресурс основних вузлів і знизити витрати на технічне обслуговування і ремонт. Для здобувачів освітніх програм, орієнтованих на електропостачання, електроенергетику та ресурсозберігаючі технології, електричні машини є невід'ємною складовою систем генерації, перетворення, передавання та споживання електричної енергії. Вони є важливим об'єктом вивчення для

аналізу енергоефективності, оптимізації режимів роботи і зменшення енергетичних втрат у мережах і установках. Ґрунтовне розуміння принципів дії, характеристик і умов експлуатації електричних машин створює основу для формування професійних компетентностей майбутніх інженерів і сприяє впровадженню сучасних енергоощадних рішень у практику електроенергетичних і транспортних систем.

Лабораторний практикум за освітньою компонентою «Електричні машини» спрямований на закріплення теоретичних знань, набутих під час лекційних і практичних занять, і формування у здобувачів вищої освіти практичних навичок експериментального дослідження електричних машин. Виконання лабораторних робіт забезпечує розуміння фізичних процесів, що відбуваються в електричних машинах за різних режимів роботи, а також розвиток умінь працювати з електротехнічними установками, вимірювальними приладами та експериментальними стендами.

Методичні вказівки розроблені з урахуванням вимог освітніх програм бакалаврського рівня та орієнтовані на формування таких результатів навчання, як здатність аналізувати електромагнітні та електромеханічні процеси, інтерпретувати експериментальні дані, оцінювати вплив конструктивних і режимних параметрів на характеристики електричних машин, а також робити обґрунтовані інженерні висновки. Особливу увагу приділяють розвитку навичок самостійної роботи, технічного мислення та культури оформлення результатів експериментальних досліджень.

Комплекс лабораторних робіт охоплює 11 експериментальних досліджень, які логічно узгоджені зі структурою курсу та послідовністю викладання навчального матеріалу. Більшість лабораторного практикуму становлять роботи, присвячені дослідженню машин постійного струму в генераторному та двигунному режимах. У межах цих робіт розглядають генератори з незалежним, паралельним і змішаним збудженням, а також двигуни постійного струму з паралельним і послідовним збудженням. Це

дає змогу здобувачам освіти проаналізувати вплив способу збудження на зовнішні, механічні та регульовальні характеристики, пускові властивості та стійкість роботи машин.

Окремі лабораторні роботи присвячені дослідженню методів регулювання частоти обертання двигунів постійного струму та режиму динамічного гальмування, що має важливе практичне значення для електроприводів засобів транспорту, зокрема тягових електроприводів електровозів та електропоїздів. Дослідження розподілу втрат у двигуні постійного струму формує уявлення про джерела енергетичних втрат і шляхи підвищення коефіцієнта корисної дії, що відповідає сучасним вимогам енергоефективності та ресурсозбереження.

Лабораторні роботи з трифазних трансформаторів спрямовані на вивчення принципу дії, конструктивних особливостей та експлуатаційних характеристик трансформаторів, які широко застосовувані в системах електропостачання і тягових підстанціях. Під час виконання робіт здобувачі вищої освіти набувають навичок визначення параметрів трансформатора, аналізу режимів холостого ходу і короткого замикання, а також правильного позначення та ідентифікації виводів обмоток, що є необхідним для практичної діяльності інженера-електрика.

Завершальний розділ лабораторного практикуму присвячено дослідженню асинхронних електродвигунів – трифазного та однофазного конденсаторного. Асинхронні двигуни є найбільш поширеним типом електричних машин змінного струму, що широко використовуються як у промислових електроприводах, так і тягових системах рухомого складу залізничного транспорту. Виконання відповідних лабораторних робіт забезпечує формування навичок експериментального визначення робочих і механічних характеристик, аналізу пускових режимів і впливу навантаження на основні показники роботи двигунів.

Методичні вказівки побудовано за єдиною структурою, яка передбачає наявність мети лабораторної роботи, підготовку для лабораторної роботи, робоче завдання, порядок виконання лабораторної роботи, обробку результатів і запитання для захисту лабораторної роботи. Такий підхід відповідає рівню підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти і сприяє системному засвоєнню навчального матеріалу.

Важливою складовою лабораторного практикуму є дотримання вимог щодо охорони праці та електробезпеки під час роботи з електроустановками. Формування навичок безпечної експлуатації електричних машин і вимірювального обладнання є обов'язковим елементом професійної підготовки бакалаврів за зазначеними спеціальностями.

Загальною метою виконання лабораторних робіт є поглиблення і закріплення теоретичних положень курсу «Електричні машини», формування розуміння фізичної природи досліджуваних явищ і процесів, а також набуття практичного досвіду проведення експериментальних досліджень на лабораторних стендах. Активна участь здобувачів вищої освіти у виконанні експериментів сприяє оволодінню методиками проведення вимірювань та оброблення отриманих результатів. На основі експериментальних даних здобувачі вищої освіти повинні набути вміння аналізувати й оцінювати основні властивості електричних машин.

Лабораторний практикум потребує обов'язкової попередньої самостійної підготовки. Для виконання робіт у лабораторії допускають здобувачів вищої освіти, які опанували відповідний теоретичний матеріал, підготували відповіді на запитання для захисту лабораторної роботи, а також ознайомилися з методикою проведення експерименту, використовуваним обладнанням і вимірювальними засобами.

Для фіксації результатів досліджень здобувач вищої освіти повинен мати окремий робочий зошит, необхідний для подальшого оформлення звіту. З метою запобігання помилкам під час аналізу принципових схем і

роботи з лабораторними стендами необхідно знати умовні графічні позначення та літерні коди електротехнічних елементів і пристроїв відповідно до чинних стандартів. Перед початком виконання лабораторних робіт здобувачі вищої освіти зобов'язані ознайомитися з основними вимогами техніки безпеки та неухильно дотримуватися вказівок викладача лабораторних занять у процесі проведення експериментальних досліджень.

Лабораторні роботи виконують у складі бригад чисельністю зазвичай від трьох до п'яти осіб, що обумовлено необхідністю одночасного зняття значної кількості показань вимірювальних приладів і регулювання кількох параметрів досліджуваного об'єкта. Під час виконання роботи кожному члену бригади визначають конкретні функції, які в подальшому потрібно чергувати з метою набуття всебічних практичних навичок.

Після завершення лабораторної роботи здобувачі вищої освіти оформлюють звіт, який вважають зарахованим за умови відповідності встановленим вимогам і успішної відповіді на запитання викладача. При цьому здобувач вищої освіти повинен демонструвати знання конструкції та принципу дії досліджуваного об'єкта, призначення елементів електричної схеми, розуміння фізичних процесів, що зумовлюють отримані результати, а також уміння пояснити послідовність виконання експериментальних операцій. Звіти з лабораторних робіт мають містити схеми електричних кіл, експериментальні дані, отримані з вимірювальної та реєструвальної апаратури, результати вимірювань, необхідні розрахунки, графічні залежності та стислий висновок за підсумками виконаної роботи.

Загалом виконання лабораторних робіт за освітньою компонентою «Електричні машини» забезпечує формування базових професійних компетентностей, необхідних для подальшого вивчення спеціальних фахових освітніх компонент, виконання курсових і кваліфікаційних робіт, а також для майбутньої практичної діяльності фахівців у галузях електричної інженерії та залізничного транспорту.

## **ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Під час виконання лабораторних робіт у лабораторії електричних машин здобувачі вищої освіти зобов'язані суворо дотримуватися вимог техніки безпеки, електробезпеки та протипожежної безпеки. Недотримання встановлених вимог може призвести до ураження електричним струмом, механічних травм або виходу з ладу дорогого лабораторного устаткування. Виконання наведених нижче вимог є обов'язковою умовою допуску до роботи і безпечного проведення експериментальних досліджень.

1 Під час першого відвідування лабораторії необхідно уважно ознайомитися з вимогами щодо виконання лабораторних робіт. Після проведення викладачем вступного інструктажу з техніки безпеки та протипожежної безпеки здобувач вищої освіти зобов'язаний підтвердити факт інструктажу особистим підписом у лабораторному журналі. Осіб, які не пройшли інструктаж або не підтвердили його проходження, не допускають виконувати лабораторні роботи.

2 Лабораторні роботи виконують на навчальних стендах, які є діючими електромеханічними установками. За певних умов такі установки можуть становити підвищену небезпеку ураження електричним струмом або механічного травмування. Працювати дозволено лише на тому стенді, який визначений викладачем. Самовільне перемикання режимів роботи стендів, зміна схеми або втручання в роботу сусідніх установок суворо заборонені.

3 Для гарантування безпеки праці та збереження електротехнічного обладнання здобувачі вищої освіти повинні знати, розуміти і неухильно дотримуватися встановлених вимог техніки безпеки протягом усього часу перебування в лабораторії. Недотримання вимог техніки безпеки є грубим порушенням навчальної дисципліни.

4 Починаючи роботу з будь-яким електротехнічним пристроєм, необхідно переконатися, що він відключений від джерел живлення, а органи регулювання лабораторних автотрансформаторів, джерел живлення та регуляторів напруги встановлені в положення «Нуль». Перед поданням напруги на зібрану схему слід упевнитися у відсутності людей у зоні потенційної небезпеки. Увімкнення установки дозволено лише після візуального огляду схеми та отримання дозволу від викладача.

5 Категорично заборонено торкатися неізолюваних проводів, з'єднувальних затискачів, струмопровідних частин і будь-яких елементів електричних кіл, що перебувають під напругою. Заборонено також виконувати будь-які вимірювання або регулювання без використання передбачених конструкцією органів керування.

6 Монтаж, демонтаж і будь-які зміни електричних схем потрібно виконувати виключно за повністю вимкнених джерел живлення. Після вимкнення живлення необхідно дочекатися повного розряду ємнісних елементів схеми, якщо такі передбачені конструкцією стенда.

7 Під час складання електричного кола необхідно забезпечувати надійність і високу щільність усіх контактних з'єднань. Заборонено використовувати провідники без наконечників або штирів. Після завершення монтажу зайві провідники, вимірювальні прилади та допоміжне обладнання потрібно прибрати з робочого місця. Робоче місце має бути в охайному стані протягом усього часу виконання лабораторної роботи.

8 Заборонено вмикати лабораторну установку без попередньої перевірки зібраної схеми викладачем. Помилки у схемі можуть призвести до коротких замикань, аварійних режимів роботи, виходу з ладу обладнання, вимірювальних приладів і виникнення нещасних випадків.

9 Необхідно стежити за відповідністю апаратури, що вмикають, реостатів і вимірювальних приладів роду струму, номінальним значенням напруги і струму, передбаченим умовами проведення експерименту.

Перевищення допустимих значень параметрів може призвести до перегріву елементів схеми та пошкодження ізоляції.

10 У разі раптового зникнення напруги живлення потрібно негайно вимкнути лабораторну установку, перевести повзунки потенціометрів і автотрансформаторів у положення мінімальної напруги та повідомити про це викладача. Повторне вмикання установки без дозволу заборонено.

11 Розбирати електричну схему можна лише з дозволу викладача після повного знеструмлення установки. Після завершення роботи здобувач вищої освіти зобов'язаний здати робоче місце у справному і впорядкованому стані.

12 Особливу обережність необхідно проявляти під час роботи з електричними машинами та агрегатами, що мають обертові частини. Для запобігання захопленню одягу елементами, що обертаються, одяг має щільно прилягати, бути без вільних або звисаючих деталей. Довге волосся потрібно зібрати або заховати під головний убір.

13 Заборонено доторкатися до частин електричних машин, що обертаються, з метою їх гальмування або зупинки, навіть за умови вимкнених джерел живлення. Зупиняти машини можна лише штатними засобами керування.

14 У разі виявлення будь-яких несправностей електротехнічного обладнання або ознак ненормальної роботи схеми (перегоряння запобіжників, поява іскор, диму, спалахів тощо) необхідно негайно вимкнути стенд від мережі за допомогою кнопки аварійного вимкнення та негайно повідомити про це викладача. Самостійне усунення несправностей категорично заборонено.

15 Заборонено виконання лабораторних робіт одноосібно за відсутності викладача в лабораторії. Дотримання цієї вимоги є необхідною умовою оперативного реагування в разі виникнення аварійних або небезпечних ситуацій.

## Лабораторна робота 1

### ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З НЕЗАЛЕЖНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

#### Мета лабораторної роботи

Вивчення конструкції та визначення силових характеристик генератора постійного струму з незалежним збудженням.

#### 1.1 Підготовка для лабораторної роботи

1.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

1.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### 1.2 Робоче завдання

1.2.1 Зібрати експериментальну електричну схему відповідно до рисунка 1.1 і запросити викладача для її перевірки.

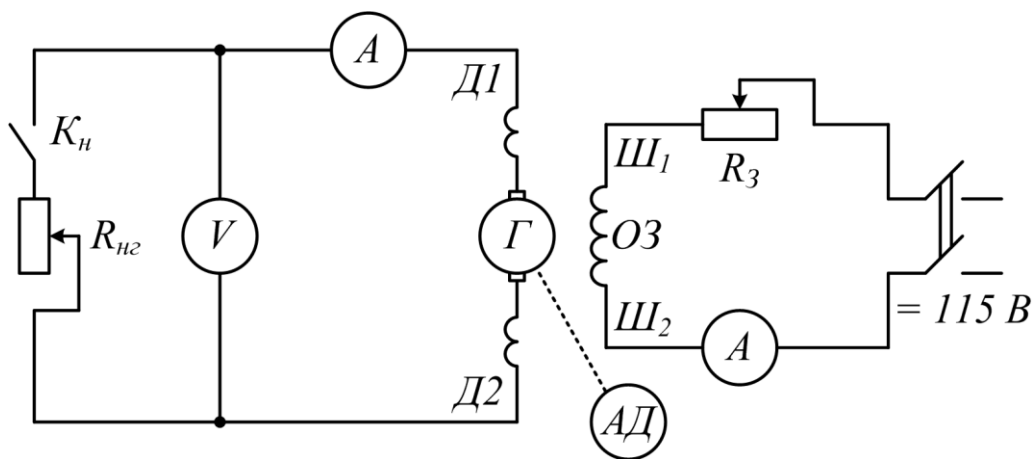


Рисунок 1.1

1.2.2 Увімкнути приводний асинхронний двигун кнопкою «ПУСК».

1.2.3 Зняти характеристику холостого ходу  $E = f(i_3)$  для  $I_{н2} = 0$ .

1.2.4 Зняти сімейство зовнішніх характеристик генератора  $U = f(I_{н2})$

для  $i_3 = \text{const}$  за трьох струмів збудження.

1.2.5 Зняти сімейство регулюючих характеристик генератора  $U = f(I_{нг})$  для  $U = \text{const}$ .

### 1.3 Порядок виконання лабораторної роботи

1.3.1 Для запобігання пошкодженню вимірювальних приладів перед ввімкненням потрібно перевірити збіжність діапазонів вимірювання всіх приладів з очікуваними значеннями напруг і струмів.

1.3.2 Перед ввімкненням перевірити: опір реостата  $R_{нг}$  та  $R$  має бути максимальним, вимикач  $K_n$  вимкнутий.

1.3.3 Для зняття характеристик холостого ходу необхідно змінювати струм збудження так, щоб підходити до точки вимірювання з одного боку. Для зняття характеристик холостого ходу потрібно встановити максимальний струм збудження і змінювати його до нуля. За нульового струму збудження необхідно виміряти напругу остаточного магнетизму.

1.3.4 Для зняття сімейства зовнішніх характеристик встановити  $i_{з1} = i_{з\max}$ ;  $i_{з2} = 0,75 \cdot i_{з\max}$ ;  $i_{з3} = 0,5 \cdot i_{з\max}$ .

1.3.5 Для зняття сімейства регулюючих характеристик напругу приймати рівною 90, 115 і 130 В.

1.3.6 Для зняття зовнішніх і регулюючих характеристик обов'язково потрібно фіксувати момент, коли  $I_{нг} = 0$ , – цим досягають вимкнення ключа  $K_n$ .

1.3.7 Для отримання будь-якої залежності в графічному режимі достатньо зафіксувати 5-7 точок.

1.3.8 Результати вимірювань слід записати в таблиці 1.1-1.3.

1.3.9 Вимкнути приводний двигун кнопкою «СТОП» і розібрати електричну схему досліджень.

Таблиця 1.1 – Характеристика холостого ходу

|          |  |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|--|
| $i_z, A$ |  |  |  |  |  |
| $U, B$   |  |  |  |  |  |

Таблиця 1.2 – Зовнішні характеристики

|         |             |  |
|---------|-------------|--|
| $i_3 =$ | $I_{H2}, A$ |  |
|         | $U, B$      |  |
| $i_3 =$ | $I_{H2}, A$ |  |
|         | $U, B$      |  |
| $i_3 =$ | $I_{H2}, A$ |  |
|         | $U, B$      |  |

Таблиця 1.3 – Регулюючі характеристики

|       |             |  |
|-------|-------------|--|
| $U =$ | $I_{H2}, A$ |  |
|       | $I_{H2}, A$ |  |
| $U =$ | $I_{H2}, A$ |  |
|       | $I_{H2}, A$ |  |
| $U =$ | $I_{H2}, A$ |  |
|       | $I_{H2}, A$ |  |

## 1.4 Обробка результатів

1.4.1 За даними таблиць побудувати характеристики генераторів (три графіки кожного з сімейств побудувати в одній і тій самій системі координат).

1.4.2 Пояснити характер і взаємне розташування графіків.

1.4.3 Зробити висновки за лабораторною роботою.

1.4.4 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

## Запитання для захисту лабораторної роботи

1 Які основні вузли машини постійного струму та яке їхнє функціональне призначення?

2 Які елементи входять до складу статора генератора постійного струму з незалежним збудженням?

3 Які конструктивні особливості має якір генератора постійного струму?

4 Який вигляд має схема електричних з'єднань генератора постійного струму з незалежним збудженням?

5 Яке призначення обмотки збудження в генераторі постійного струму з незалежним збудженням?

6 Як саме здійснюється живлення обмотки збудження в генераторі з незалежним збудженням?

7 У чому полягає фізична сутність явища реакції якоря?

8 Як реакція якоря впливає на магнітне поле головних полюсів генератора?

9 Як саме реакція якоря впливає на напругу генератора з навантаженням?

10 Як можна підвищити навантаження генератора постійного струму за незмінної частоти обертання?

11 Які параметри необхідно змінювати для регулювання напруги генератора з незалежним збудженням?

12 Що називають регулювальною характеристикою генератора постійного струму?

13 Як саме експериментально знімати регулювальну характеристику генератора?

14 Що називають зовнішньою характеристикою генератора постійного струму?

15 Як знімають зовнішню характеристику генератора в лабораторних умовах?

16 Чим можна пояснити зниження напруги генератора зі зростанням навантаження?

17 Яку роль у падінні напруги генератора відіграє опір якірного кола?

18 Які основні види втрат енергії виникають у генераторі постійного струму з незалежним збудженням?

19 Які втрати належать до електричних втрат у генераторі постійного струму?

20 Які втрати належать до магнітних втрат у генераторі постійного струму?

21 Чи виникають втрати від вихрових струмів у сталі якоря генератора?

22 Чи спостерігають втрати від вихрових струмів у станині та головних полюсах генератора?

23 Як змінюються втрати від вихрових струмів зі зростанням напруги генератора і з чим це пов'язано?

24 Як змінюється електрорушійна сила генератора зі зростанням струму навантаження?

25 Чому зі збільшенням навантаження відбувається зміна електрорушійної сили генератора?

26 Як впливає зміна частоти обертання якоря на величину електрорушійної сили генератора?

27 Чому електрорушійна сила генератора прямо пропорційна частоті обертання якоря?

28 Як змінюються втрати в якірному колі генератора зі зростанням струму навантаження?

29 Які елементи входять до складу якірного електричного кола генератора постійного струму?

30 Яку частку (у відсотках) номінальної потужності генератора зазвичай споживає обмотка збудження?

31 Як саме температура обмоток впливає на опір якірного кола та напругу генератора постійного струму?

32 Яке призначення комутатора в генераторі постійного струму?

## Лабораторна робота 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ І ЗМІШАНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

#### Мета лабораторної роботи

Вивчення конструкції і властивостей генератора з паралельним збудженням і визначення впливу обмотки послідовного збудження (серієсної обмотки) на характеристики генератора.

#### 2.1 Підготовка до лабораторної роботи

2.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

2.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### 2.2 Робоче завдання

2.2.1 Зібрати електричну схему експерименту відповідно до рисунка 2.1 і запросити викладача для її перевірки.

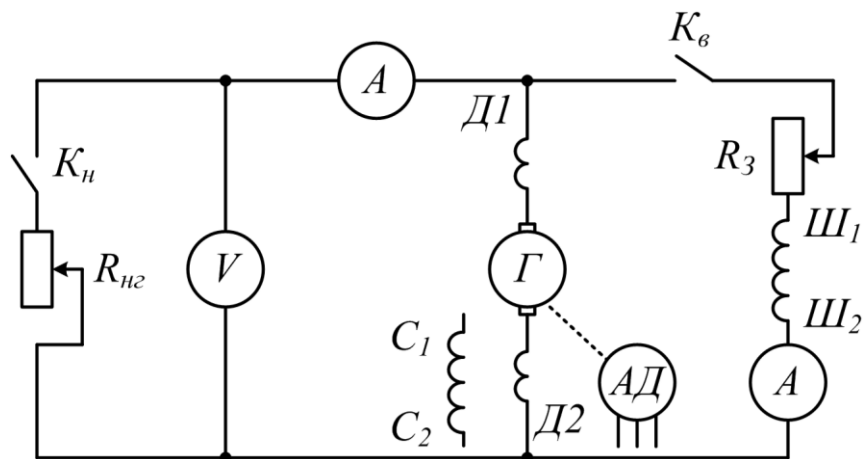


Рисунок 2.1

2.2.2 Зняти характеристику холостого ходу.

2.2.3 Зняти сімейство зовнішніх характеристик.

2.2.4 Зняти сімейство регулюючих характеристик.

2.2.5 Увімкнути в якірне коло серієсну обмотку та зняти зовнішню характеристику.

2.2.6 Змінити полярність увімкнення серієсної обмотки та ще раз зняти зовнішню характеристику.

### 2.3 Порядок виконання лабораторної роботи

2.3.1 Для запобігання пошкодженню апаратів і приладів перед увімкненням слід перевірити таке: опір реостатів  $R_{нг}$  і  $R$  має бути максимальним, ключ  $K_{нг}$  вимкнений.

2.3.2 Слід зменшувати опір  $R_z$  (регулятор праворуч на верхній панелі стенда) до самозбудження машини. Якщо самозбудження не виникло, треба змінити полярність увімкнення шунтової обмотки. Довівши напругу до максимальної, можна починати знімати характеристику холостого ходу. Із досягненням максимального значення струму збудження слід зафіксувати його і вимкнути обмотку збудження ключем  $K_6$ . Необхідно зафіксувати значення напруги для  $i_z = 0$ . Результати вимірювань записати в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика холостого ходу

|          |  |
|----------|--|
| $I_z, A$ |  |
| $U, B$   |  |

2.3.3 Сімейство зовнішніх характеристик слід знімати, починаючи зі струму навантаження, який дорівнює 0, чого досягають вимкненням ключа  $K_n$ . Сімейство характеристик знімати, встановивши максимальну напругу в режимі холостого ходу 115 В (або іншу, за вказівкою викладача). Навантаження встановлювати регулятором навантаження (регулятор знаходиться праворуч на боковій панелі стенда) до струму 12-15 А. Результати вимірювань записати в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Зовнішні характеристики

|             |        |  |
|-------------|--------|--|
| $I_{н2}, A$ |        |  |
| $R_{31}$    | $U, B$ |  |
| $R_{32}$    | $U, B$ |  |

2.3.4 Сімейство регулюючих характеристик знімати для напруг 90 і ~120 В (або інших, за вказівкою викладача). Обов'язково зафіксувати точку  $I_{н2} = 0$ . Максимальний струм навантаження – 12-15 А. Результати вимірювань записати в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Регулюючі характеристики

|             |          |  |
|-------------|----------|--|
| $I_{н2}, A$ |          |  |
| $U = 120 B$ | $I_3, A$ |  |
| $U = 90 B$  | $I_3, A$ |  |

2.3.5 Зовнішню характеристику за ввімкненої серієсної обмотки знімати для першого (узгоджене) і другого (протivismкання) варіантів ввімкнення за такого положення регулятора збудження, щоб у режимі холостого ходу напруга на якорі дорівнювала 120 В. Результати вимірювань записати в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Зовнішні характеристики за змішаного збудження

|             |        |  |
|-------------|--------|--|
| $I_{н2}, A$ |        |  |
| Варіант 1   | $U, B$ |  |
| Варіант 2   | $U, B$ |  |

2.3.6 Розібрати електричну схему досліджень.

## 2.4 Обробка результатів

2.4.1 За даними таблиць 2.1-2.3 необхідно побудувати характеристику холостого ходу, сімейства зовнішніх і регулюючих характеристик, а за

даними таблиці 2.4 – зовнішні характеристики для обох варіантів серієсної обмотки. Визначити, у якому випадку серієсна обмотка ввімкнена послідовно, а в якому – зустрічно.

2.4.2 За даними таблиці 2.1 визначити величину критичного опору, а також значення напруги в режимі холостого ходу за опору в колі збудження, встановленого за вказівкою викладача.

2.4.3 Визначити, нехтуючи розмагнічувальним впливом реакції якоря, величину напруги для заданого опору кола збудження і струму навантаження.

2.4.4 Зробити висновки з лабораторної роботи.

2.4.5 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

### **Запитання для захисту лабораторної роботи**

- 1 Які основні конструктивні вузли має машина постійного струму?
- 2 Яке функціональне призначення якоря та магнітної системи в генераторі постійного струму?
- 3 Який вигляд має принципова схема електричних з'єднань генератора постійного струму зі змішаним збудженням?
- 4 Чим відрізняється принцип дії генератора з паралельним збудженням від генератора зі змішаним збудженням?
- 5 Які особливості мають зовнішні характеристики генераторів незалежного та паралельного збудження?
- 6 Чому зовнішня характеристика генератора паралельного збудження має спадний характер?
- 7 Які фізичні причини зумовлюють відмінності між зовнішніми характеристиками генераторів незалежного та паралельного збудження?
- 8 Які основні умови самозбудження генератора постійного струму необхідно виконати?

9 Яку роль відіграє залишкова намагніченість магнітної системи в процесі самозбудження?

10 Як за характеристикою холостого ходу визначити критичний опір кола збудження генератора?

11 Що називають критичним опором обмотки збудження і від чого він залежить?

12 За яких умов необхідно знімати зовнішню характеристику генератора паралельного збудження?

13 Які параметри підтримувані сталими під час зняття зовнішньої характеристики генератора паралельного збудження?

14 Як саме експериментально знімають регулюючу характеристику генератора паралельного збудження?

15 Що відображає регулююча характеристика генератора постійного струму?

16 У чому полягає перевага генератора паралельного збудження порівняно з генератором незалежного збудження?

17 Якими способами можна регулювати напругу генератора паралельного збудження?

18 Які види втрат виникають у генераторах постійного струму з паралельним і змішаним збудженням?

19 Які з втрат належать до постійних, а які до змінних у генераторі постійного струму?

20 Якому приблизному значенню дорівнює відношення номінальної потужності генератора до потужності, витраченої на його збудження?

21 У якому генераторі – із незалежним чи паралельним збудженням – струм короткого замикання є більшим?

22 У якому генераторі – із незалежним чи паралельним збудженням – діапазон регулювання напруги є більшим?

### Лабораторна робота 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

### Мета лабораторної роботи

Вивчення засобів регулювання частоти обертання двигуна постійного струму за рахунок зміни напруги на якорі та зміни струму збудження (зміна робочого магнітного потоку).

### 3.1 Підготовка до лабораторної роботи

3.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

3.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

### 2.2 Робоче завдання

3.2.1 Зібрати електричну схему експерименту відповідно до рисунка 3.1 і запросити викладача для її перевірки.

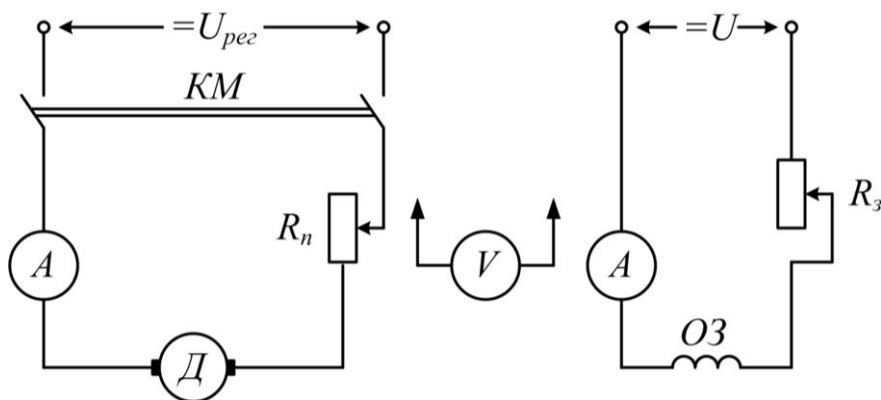


Рисунок 3.1

3.2.2 Запустити двигун виведенням пускового реостата.

3.2.3 Запустити двигун повільним підніманням напруги.

3.2.4 Зняти залежність  $n = f(i_s)$  для трьох значень напруги на якорі (за вказівкою викладача).

3.2.5 Зняти залежність  $n = f(U_a)$  для трьох значень струмів збудження (за вказівкою викладача), змінюючи напругу на якорі джерелом живлення.

3.2.6 Зняти залежність  $n = f(U_a)$  для одного зі значень збудження (за вказівкою викладача), змінюючи опір кола якоря.

3.2.7 Perez'єднати схему, як показано на рисунку 3.2, і запросити викладача для її перевірки.

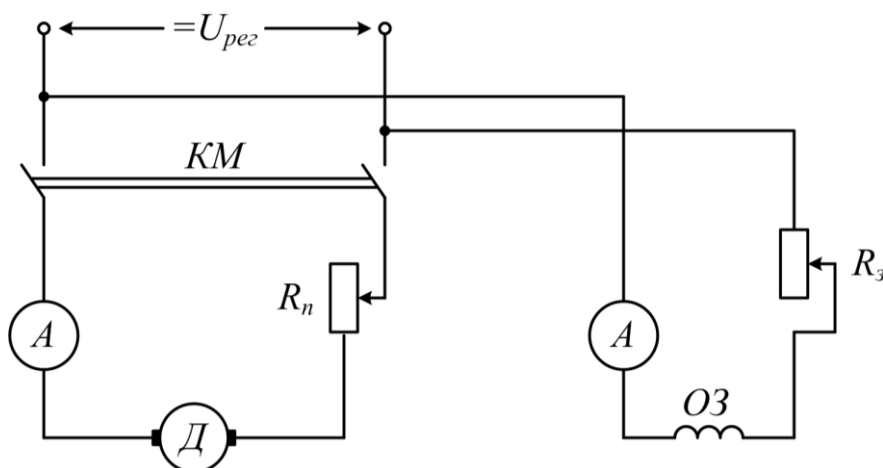


Рисунок 3.2

3.2.8 Зняти залежність частоти обертання двигуна паралельного збудження від напруги джерела живлення.

### 3.3 Порядок виконання лабораторної роботи

3.3.1 Для запобігання пошкодженню обладнання та приладів слід перевірити таке:

- із пуском опір у колі збудження має бути мінімальним, а струм збудження – максимальним;
- тумблер режиму має бути в положенні «Режим тяги».

3.3.2 Із реостатним пуском опір у колі якоря має бути максимальним, а напруга джерела живлення – 115 В.

3.3.3 Із пуском повільним підніманням напруги опір у колі якоря слід встановити мінімальним, напругу джерела живлення – близькою до нуля.

3.3.4 Після пуску частоту обертання встановити 1200-1400 об/хв (за вказівкою викладача) і знижувати її, змінюючи струм збудження або опір у колі якоря, або напругу джерела живлення.

3.3.5 Характеристики  $n = f(i_z)$  знімати за незмінної напруги джерела живлення, результати вимірювань слід записати в таблицю 3.1. Характеристики  $n = f(U_a)$  знімати за незмінного значення  $i_z$ . Результати вимірювань записати в таблиці 3.2 і 3.3.

Таблиця 3.1 – Залежність частоти обертання від струму збудження

|         |                    |  |
|---------|--------------------|--|
| $U_a =$ | $i_z, \text{ A}$   |  |
|         | $n, \text{ об/хв}$ |  |
| $U_a =$ | $i_z, \text{ A}$   |  |
|         | $n, \text{ об/хв}$ |  |
| $U_a =$ | $i_z, \text{ A}$   |  |
|         | $n, \text{ об/хв}$ |  |

Таблиця 3.2 – Залежність частоти обертання від напруги на якорі (зміна напруги на якорі джерелом живлення)

|         |                    |  |
|---------|--------------------|--|
| $i_z =$ | $U_a, \text{ В}$   |  |
|         | $n, \text{ об/хв}$ |  |
| $i_z =$ | $U_a, \text{ В}$   |  |
|         | $n, \text{ об/хв}$ |  |
| $i_z =$ | $U_a, \text{ В}$   |  |
|         | $n, \text{ об/хв}$ |  |

3.3.6 Увімкнути коло збудження на клеми «МЕРЕЖА», здійснити пуск, встановити частоту обертання 1200 об/хв і змінити залежність  $n = f(U_a)$ , не змінюючи положення регулятора збудження. Результати вимірювань записати в таблицю 3.4.

Таблиця 3.3 – Залежність частоти обертання від напруги на якорі

|         |                   |  |
|---------|-------------------|--|
| $i_3 =$ | $U_a, \text{В}$   |  |
|         | $n, \text{об/хв}$ |  |
|         | $I_a, \text{А}$   |  |

Таблиця 3.4 – Залежність частоти обертання від напруги джерела живлення ( $R_3 = \text{const}$ )

|                   |  |
|-------------------|--|
| $U, \text{В}$     |  |
| $i_3, \text{А}$   |  |
| $n, \text{об/хв}$ |  |

3.3.7 Розібрати електричну схему досліджень.

### 3.4 Обробка результатів

3.4.1 Побудувати графіки  $n = f(i_3)$  згідно з таблицею 3.1 в одній системі координат.

3.4.2 Побудувати графіки  $n = f(U_a)$  згідно з таблицею 3.2 в одній системі координат.

3.4.3 Побудувати графіки  $n = f(U_a)$  згідно з таблицями 3.3 і 3.4 в одній системі координат.

3.4.4 Пояснити поведінку кривих різних графіків, їхнє взаємне розташування.

3.4.5 Зробити висновки з лабораторної роботи.

3.4.6 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

### Запитання для захисту лабораторної роботи

1 Як і за рахунок яких електромагнітних явищ у двигуні постійного струму виникає обертальний момент?

2 Якими електричними та магнітними параметрами визначають частоту обертання двигуна постійного струму?

3 Який основний фізичний фактор (напруга живлення, момент навантаження чи опір якоря) визначає струм машини в режимі двигуна?

4 Як зміниться частота обертання двигуна постійного струму з паралельним збудженням у режимі холостого ходу з обривом кола збудження?

5 Як зміниться частота обертання двигуна паралельного збудження під навантаженням з обривом кола збудження?

6 Чи можливе регулювання частоти обертання двигуна постійного струму за рахунок зміни струму збудження, починаючи з нульової частоти обертання?

7 Чи можливе регулювання частоти обертання двигуна постійного струму зміною напруги на якорі, починаючи з нульової частоти обертання?

8 Як зміниться струм якоря двигуна, що працює за сталого моменту навантаження, якщо в коло якоря ввести додатковий опір?

9 Чи зміниться напрям обертання двигуна постійного струму зі зміною полярності напруги на його затискачах?

10 Якими способами можна змінити напрям обертання двигуна постійного струму?

11 Який із параметрів режиму двигуна (обертальний момент, струм якоря, частота обертання чи струм збудження) зміниться з введенням опору в коло якоря?

12 Що є більшим у режимі двигуна: напруга на затискачах якоря чи електрорушійна сила якоря?

13 Як зміниться частота обертання двигуна паралельного збудження з введенням додаткового опору в коло обмотки збудження?

14 Якими способами може здійснюватися пуск двигуна постійного струму?

15 Які електричні та магнітні фактори, окрім механічних причин, обмежують розширення верхньої межі регулювання частоти обертання з послабленням поля?

16 Яку приблизну потужність має двигун постійного струму, який допускають пускати безпосередньо від мережі («напрямую»)?

17 Якими параметрами електричного кола та машини визначають пусковий струм двигуна постійного струму?

18 Чому пусковий струм двигуна постійного струму значно перевищує номінальний струм?

19 Яку роль відіграє пусковий реостат у колі якоря двигуна постійного струму?

20 Як впливає регулювання напруги якоря на механічну характеристику двигуна паралельного збудження?

21 Як змінюється форма механічної характеристики з регулюванням частоти обертання за рахунок послаблення магнітного поля?

22 Який спосіб регулювання частоти обертання забезпечує найбільшу енергетичну ефективність і чому?

23 У яких межах доцільно застосовувати регулювання частоти обертання за рахунок зміни струму збудження?

24 Які втрати потужності зростають з регулюванням частоти обертання введенням додаткового опору в коло якоря?

25 Як змінюється коефіцієнт корисної дії двигуна за реостатного способу регулювання частоти обертання?

26 Чому двигуни постійного струму з паралельним збудженням мають майже жорстку механічну характеристику?

27 Який вплив має момент навантаження на частоту обертання двигуна паралельного збудження?

28 Які небезпечні режими роботи можливі з обривом кола збудження і чому?

## Лабораторна робота 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ ДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ

#### Мета лабораторної роботи

Вивчення впливу на режим динамічного гальмування величини опору навантаження та величини струму збудження.

#### 4.1 Підготовка до лабораторної роботи

4.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

4.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### 4.2 Робоче завдання

4.2.1 Зібрати електричну схему експерименту відповідно до рисунка 4.1 і запросити викладача для її перевірки.

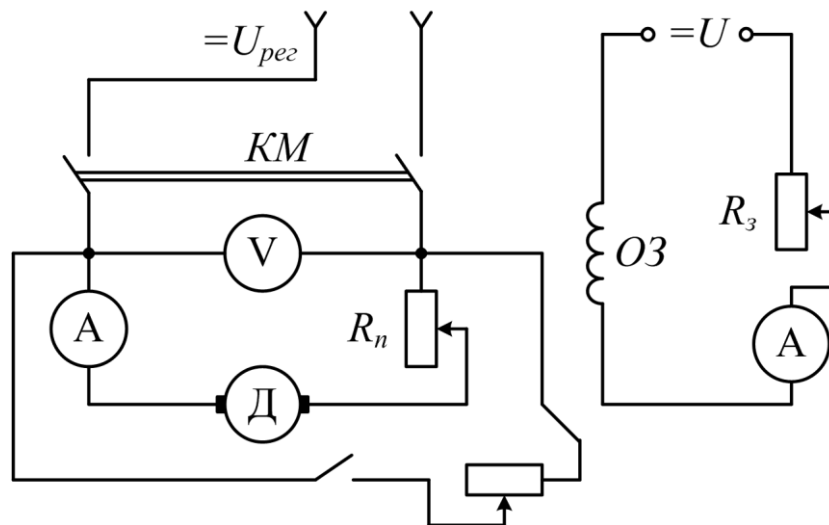


Рисунок 4.1

4.2.2 Виконати пуск двигуна, вивести його на природну характеристику, виміряти час гальмування для вільного вибігу, зафіксувати час вибігу.

4.2.3 Виконати пуск двигуна, вивести його на природну характеристику і зробити режим динамічного гальмування.

4.2.4 Повторити дослід 4.2.2, виставляючи кожного разу новий опір у колі якоря та вимірюючи протяжність гальмування. Записати результати в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Час гальмування за різних опорів у колі якоря ( $n = \text{___}$  об/хв,  $i_z = \text{___}$  А)

|                         |  |
|-------------------------|--|
| $R_{\text{гальм}}$ , Ом |  |
| $T_{\text{гальм}}$ , с  |  |

4.2.5 Виконати пуск двигуна, вивести його на природну характеристику, встановити опір у колі якоря за вказівкою викладача та здійснити режим динамічного гальмування.

4.2.6 Повторити дослід 4.2.5 три-чотири рази, кожного разу вимірюючи струм у колі збудження та протяжність гальмування. Гальмування кожного разу починати від однакової частоти обертання. Записати результати вимірювань у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Час гальмування за різних струмів збудження ( $n = \text{___}$  об/хв,  $R = \text{___}$  Ом)

|                        |  |
|------------------------|--|
| $I_z$ , А              |  |
| $T_{\text{гальм}}$ , с |  |

### 4.3 Порядок виконання лабораторної роботи

4.3.1 Для запобігання пошкодженню приладів і апаратури безпосередньо перед кожним пуском двигуна слід перевірити таке:

- пуско-гальмівний опір (лівий регулятор) має бути максимальним;
- опір у колі збудження (правий регулятор) має бути мінімальним, а струм збудження – максимальним;

- тумблер режиму має бути в положенні «Режим тяги»;
- без дозволу викладача не вмикати амперметр, який вимірює струм якоря.

4.3.2 Пуск двигуна здійснювати натиском на кнопку «ПУСК», виведення на природну характеристику – зменшенням пуско-гальмівного опору до нуля.

4.3.3 Встановлювати необхідну величину гальмівного опору і режим динамічного гальмування можна тільки після того, коли тумблер режиму роботи переведений у положення «Режим гальмування».

4.3.4 Величину гальмівного опору оцінювати приблизно, виходячи з положення ковзунка регулятора. Повний опір пуско-гальмівного опору – 17 Ом.

4.3.5 Для виконання пункту 4.2.6 встановлювати режим безпосередньо перед гальмуванням у такому порядку:

- запустити двигун та вивести його на природну характеристику;
- зменшити напругу на якорі до 50-60 В;
- встановити необхідний струм збудження;
- регулюючи напругу на якорі, встановити вибрану частоту обертання.

4.3.6 Режим гальмування та відлік часу починають із натисканням кнопки «Гальмо». Закінчення режиму гальмування визначати після закінчення обертання вала. Із зупинкою машини кнопку «Гальмо» відпустити. Секундомір зафіксує час гальмування.

4.3.7 Для визначення часу вільного вибігу спочатку натиснути на кнопку «СТОП», а потім відразу на кнопку «Гальмо». Час вільного вибігу, починаючи з частоти обертання \_\_\_\_ об/хв, для  $i_3 =$  \_\_\_\_ А.

4.3.8 Розібрати електричну схему досліджень.

## **4.4 Обробка результатів**

4.4.1 Побудувати графіки залежності часу гальмування від величини опору в колі якоря і струму збудження.

4.4.2 Пояснити поведінку одержаних залежностей.

4.4.3 Зробити висновки з лабораторної роботи.

4.4.4 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

### **Запитання для захисту лабораторної роботи**

1 Який режим роботи електродвигуна називають режимом динамічного гальмування?

2 У чому полягає фізична сутність режиму динамічного гальмування електричних машин?

3 Як саме реалізований режим динамічного гальмування двигуна паралельного збудження?

4 Як здійснюваний режим динамічного гальмування двигуна послідовного збудження?

5 Які особливості має динамічне гальмування двигуна незалежного збудження?

6 Чому за динамічного гальмування якір електродвигуна необхідно вмикати на опір, а не на коротке замикання?

7 Які небезпечні наслідки можуть виникнути із замиканням якоря електродвигуна накоротко в режимі динамічного гальмування?

8 Яку роль відіграє гальмівний резистор у режимі динамічного гальмування?

9 Чи можна повністю зупинити локомотив на горизонтальній ділянці колії лише за рахунок динамічного гальмування?

10 Від яких факторів залежить можливість повного гальмування локомотива в режимі динамічного гальмування?

11 У яких режимах руху локомотива динамічне гальмування є найбільш доцільним?

12 Як впливає частота обертання якоря на величину гальмувального моменту за динамічного гальмування?

13 Як саме можна збільшити гальмувальний момент для заданої частоти обертання двигуна?

14 Як впливає струм якоря на гальмувальний момент у режимі динамічного гальмування?

15 Яку роль відіграє магнітний потік у формуванні гальмувального моменту?

16 У чому полягає основний недолік динамічного гальмування з точки зору енергетичних втрат?

17 Куди відведена електрична енергія, що вироблена двигуном за режиму динамічного гальмування?

18 Які фактори визначають усталену швидкість локомотива на спуску за динамічного гальмування?

19 Чому для малих швидкостей ефективність динамічного гальмування суттєво зменшується?

20 Як обмеження гальмувального моменту впливає на тривалість процесу гальмування?

21 Чому динамічне гальмування зазвичай поєднують з іншими видами гальмування?

22 Які теплові обмеження накладені на елементи кола за тривалого динамічного гальмування?

23 Які параметри електродвигуна необхідно контролювати під час проведення лабораторного дослідження динамічного гальмування?

24 Які основні висновки можна зробити про ефективність і доцільність застосування режиму динамічного гальмування в тягових електроприводах?

## **Лабораторна робота 5**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПОСЛІДОВНИМ ЗБУДЖЕННЯМ**

#### **Мета лабораторної роботи**

Вивчення властивостей і характеристик двигуна з послідовним збудженням за режимах тяги, роботи на штучних характеристиках і режиму послаблення магнітного поля головних полюсів.

#### **5.1 Підготовка до лабораторної роботи**

5.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

5.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### **5.2 Робоче завдання**

Робота складається з двох частин: 1 – дослідження для повного магнітного поля головних полюсів; 2 – для послабленого поля.

##### **Частина 1**

5.2.1 Зібрати електричну схему експерименту відповідно до рисунка 5.1 і запросити викладача для її перевірки.

5.2.2 Здійснити пуск двигуна, вийти на природну характеристику і розвантажити двигун, зменшуючи збудження на навантаженні генератора. У розвантаженому стані частота обертання не має перевищувати 2200 об/хв.

5.2.3 Навантажувати двигун, збільшуючи навантаження генератора. Показання приладів записати в таблицю 5.1.

5.2.4 Повернутися у вихідне положення та ввести три ступені опору в колі якоря.

5.2.5 Повторити два-три рази цикл вимірювань за пунктом 5.2.3, змінюючи величину падіння напруги на додатковому опорі.

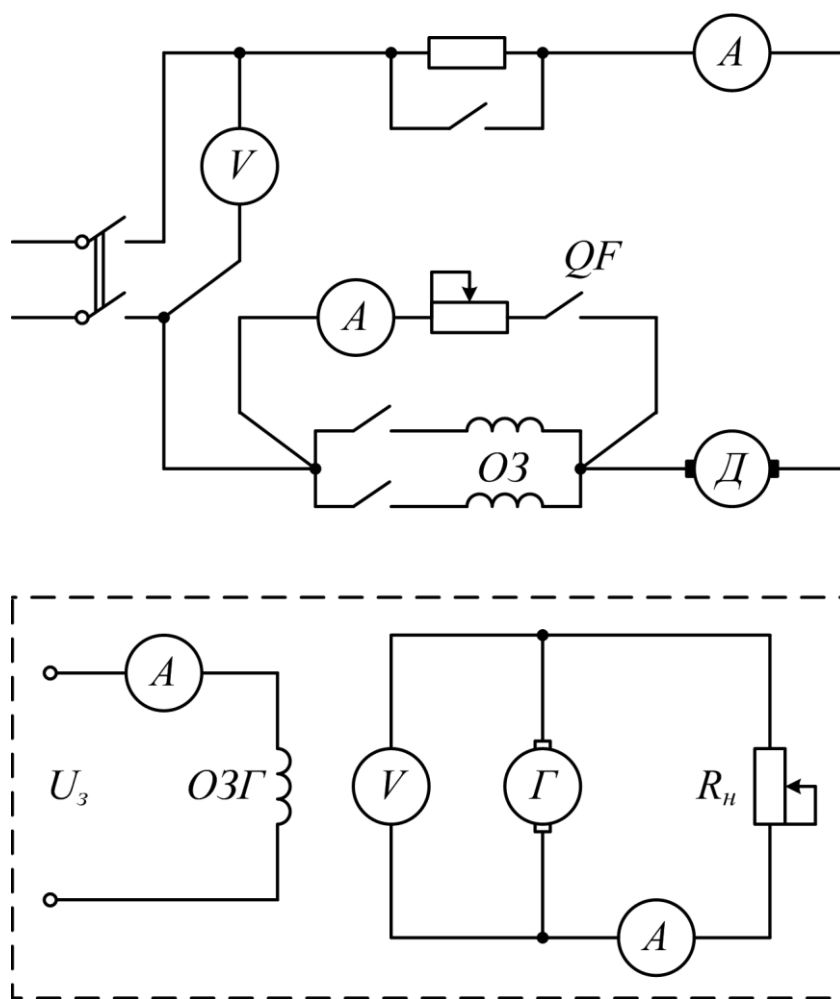


Рисунок 5.1

Таблица 5.1 – Характеристики для повного поля ( $U_d = \text{___ B}$ )

| $R_{\partial\partial\partial}, \text{ Ом}$ | $I_{\partial}, \text{ A}$ | $n, \text{ об/хв}$ | $U_a, \text{ B}$ | $I_z, \text{ A}$ | $U_z, \text{ B}$ | $U_{\partial\partial\partial}, \text{ B}$ |
|--------------------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------------------|
|                                            |                           |                    |                  |                  |                  |                                           |
|                                            |                           |                    |                  |                  |                  |                                           |
|                                            |                           |                    |                  |                  |                  |                                           |
|                                            |                           |                    |                  |                  |                  |                                           |
|                                            |                           |                    |                  |                  |                  |                                           |
|                                            |                           |                    |                  |                  |                  |                                           |
|                                            |                           |                    |                  |                  |                  |                                           |
|                                            |                           |                    |                  |                  |                  |                                           |

## Частина 2

5.2.6 Увімкнути ключ  $QF$  послаблення поля збудження двигуна та ввести три ступені опору реостата послаблення поля. Зняти залежність  $n = f(I_o)$ , змінюючи навантаження генератора за рахунок регулювання збудження і струму навантаження генератора. Дані вимірювань записати в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Характеристики для послаблення поля

| Кількість ступенів послаблення поля | $I_o$ , А | $n$ , об/хв | $I_z$ , А | $I_n$ , А | $I_e$ , А | $U_e$ , В |
|-------------------------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |
|                                     |           |             |           |           |           |           |

### 5.3 Порядок виконання лабораторної роботи

5.3.1 Для запобігання пошкодженню приладів та обладнання перед пуском перевірити таке:

– опір у колі якоря має бути максимальним;

- ключ шунтування обмотки збудження має бути розімкнутим;
- регулятор збудження генератора (ковзунок праворуч на верхній панелі), а також опір навантаження генератора (регулятор праворуч на боковій стороні стенда) мають бути в середньому положенні.

5.3.2 Перед пуском вибрати напрямок обертання за рахунок натискання кнопки на горизонтально розташованому кнопковому посту. Пуск здійснюйте за рахунок натискання кнопки «Пуск» (вертикальний кнопковий пост).

5.3.3 Після пуску перевірити напругу на двигуні, за необхідності відрегулювати її. Номінальна напруга на двигуні має складати 160 В.

5.3.4 Напругу на двигуні  $U_\phi$  і падіння на додатковому опорі вимірювати вольтметром, підключаючи його до потрібних схем.

5.3.5 Не допускати зростання частоти обертання більш ніж 2200 об/хв.

5.3.6 Не допускати зростання струму якоря більш ніж 2,2 А.

5.3.7 У процесі роботи напруга на двигуні може змінюватися. Для фіксування результатів відрегулювати напругу так, щоб вона дорівнювала номінальній або заздалегідь встановленій за вказівкою викладача.

5.3.8 Розібрати електричну схему досліджень.

## **5.4 Обробка результатів**

### **Частина 1**

5.4.1 Розрахувати за даними таблиці 5.1 значення потужності на валу двигуна, моменту, споживаної потужності, коефіцієнта корисної дії, суму механічних втрат потужності та втрат потужності в сталі.

5.4.1.1 Потужність на валу двигуна розрахувати, виходячи з балансу потужностей:

$$P_2 = U_\phi I_\phi + I_\phi^2 R_\phi + 2\Delta U_\phi + (P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}}). \quad (5.1)$$

Величину механічних втрат потужності генератора і втрат у сталі визначати залежно від частоти обертання за емпіричним виразом

$$(P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}})_z \approx 12 \left( \frac{n}{1800} \right), \quad (5.2)$$

де  $n$  – частота обертання, об/хв.

Падіння частоти в ковзунковому контакті електрощіток  $2\Delta U = 2$  В.  
Опір якорного кола – 0,65 Ом.

#### 5.4.1.2 Величина моменту на валу

$$M = \frac{9,55 \cdot P_2}{n}, \quad (5.3)$$

де  $M$  – момент на валу, Н·м;

$P$  – потужність, Вт;

$n$  – частота обертання, об/хв.

#### 5.4.1.3 Споживана потужність

$$P_1 = U_o \cdot I_o. \quad (5.4)$$

#### 5.4.1.4 Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = P_2 / P_1. \quad (5.5)$$

5.4.2 Розрахувати величину додаткового опору в кожному циклі вимірювань за даними таблиці 5.1, використовуючи закон Ома  $R_{\text{доп}} = U_{\text{доп}} / I$  для кожного струму двигуна, усереднити отримані значення.

5.4.3 Розрахувати втрати потужності в колі якоря двигуна  $P_a$ , втрати в щітковому опорі  $P_{еллц}$ , втрати в додатковому опорі  $P_r$ , механічні втрати і втрати в сталі за виразами

$$P_a = I_\delta^2 \cdot R_\delta; \quad P_{еллц} = 2\Delta U \cdot I_\delta; \quad P_r = I_\delta^2 \cdot R_{\delta\delta\delta}; \quad (5.6)$$

$$P_{мех} + P_{ст} = P_1 \cdot (1 - \eta) - P_a - P_{еллц} - P_r, \quad (5.7)$$

де  $R_\delta$  – опір кола якоря, що дорівнює 8,8 Ом;

$2\Delta U = 2$  В, як було зазначено раніше;

$R_{\delta\delta\delta}$  – величина додаткового опору в колі якоря.

Результати розрахунків слід записати в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунків

| $R_{\delta\delta\delta}$ ,<br>Ом | $I_\delta$ ,<br>А | $P_1$ ,<br>Вт | $P_2$ ,<br>Вт | $\eta$ ,<br>% | $M$ ,<br>Н·м | $P_a$ ,<br>Вт | $P_r$ ,<br>Вт | $P_{мех} + P_{ст}$ ,<br>Вт |
|----------------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------------------|
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |
|                                  |                   |               |               |               |              |               |               |                            |

5.4.4 Побудувати природні та штучні швидкісні характеристики, залежності  $\eta = f(P_2)$  для різних значень  $R_{\partial\partial\partial}$ , залежності кожного з видів втрат потужності від струму якоря для випадку, коли  $R_{\partial\partial\partial} = 0$ .

## Частина 2

5.4.5 Обробку результатів виконати подібно до пунктів 5.4.1-5.4.3, якщо  $R_{\partial\partial\partial} = 0$ . Результати розрахунків записати в таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунків ( $U_{\partial} = \underline{\hspace{1cm}}$  В)

| Кількість<br>ступенів<br>послаблення<br>поля | $I_{\partial}$ ,<br>А | $P_1$ ,<br>Вт | $P_2$ ,<br>Вт | $\eta$ ,<br>% | $M$ ,<br>Н·м | $P_a$ ,<br>Вт | $P_r$ ,<br>Вт | $P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}}$ ,<br>Вт |
|----------------------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|------------------------------------------|
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |
|                                              |                       |               |               |               |              |               |               |                                          |

5.4.6 Побудувати сімейство швидкісних і механічних характеристик для різних ступенів послаблення поля. Побудувати графічні залежності  $\eta = f(P_2)$  в одній системі координат.

5.4.7 Зробити висновки з лабораторної роботи.

5.4.8 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

### **Запитання для захисту лабораторної роботи**

1 Якою є схема електричних з'єднань двигуна постійного струму з послідовним збудженням за наявності додаткових полюсів і пускового (польового) опору?

2 Яке призначення додаткових полюсів у двигуні постійного струму з послідовним збудженням?

3 Для чого у схемі двигуна послідовного збудження застосовано опір для послаблення магнітного поля?

4 Яке призначення пускового опору в колі якоря двигуна послідовного збудження?

5 Який вигляд має сімейство штучних механічних характеристик двигуна з послідовним збудженням?

6 Якими способами можна отримати штучні характеристики двигуна постійного струму з послідовним збудженням?

7 Чим відрізняються природні та штучні характеристики двигуна з послідовним збудженням?

8 Що відбувається з двигуном послідовного збудження в разі обриву обмотки збудження?

9 Як зміниться струм якоря з введенням додаткового опору в його коло за умови сталого навантажувального моменту?

10 Чому введення опору в коло якоря призводить до зміни електромагнітного моменту двигуна?

11 Чим пояснити широке застосування двигунів послідовного збудження для тягових режимів роботи?

12 Які властивості механічної характеристики роблять двигун послідовного збудження придатним для тяги?

13 Чому додаткові опори в колі якоря застосовують лише під час пуску та гальмування?

14 Які наслідки матиме тривале ввімкнення пускового опору в робочому режимі двигуна?

15 Як здійснюваний режим динамічного гальмування двигуна постійного струму з послідовним збудженням?

16 Які електричні з'єднання необхідні для реалізації динамічного гальмування двигуна постійного струму з послідовним збудженням?

17 Як реалізований режим рекуперативного гальмування двигуна з послідовним збудженням?

18 За яких умов можливе рекуперативне гальмування двигуна постійного струму з послідовним збудженням?

19 Чим небезпечне раптове скидання напруги живлення для двигуна послідовного збудження?

20 Чому двигун послідовного збудження не допущено до роботи на холостому ході?

21 Які існують способи пуску двигуна постійного струму з послідовним збудженням?

22 У чому полягає особливість пуску двигуна послідовного збудження під навантаженням?

23 Як змінюється пусковий струм двигуна з використанням пускового опору?

24 Які основні види втрат енергії мають місце у двигуні постійного струму з послідовним збудженням?

25 Які втрати належать до електричних, а які до механічних у двигуні послідовного збудження?

26 Які втрати у двигуні не залежать від струму навантаження?

27 Як саме результати лабораторного дослідження підтверджують теоретичні властивості двигуна з послідовним збудженням?

## Лабораторна робота 6

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

#### Мета лабораторної роботи

Вивчення конструкції, принципу дії та характеристик двигуна з паралельним збудженням.

#### 6.1 Підготовка до лабораторної роботи

6.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

6.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### 6.2 Робоче завдання

6.2.1 Зібрати електричну схему експерименту відповідно до рисунка 6.1 і запросити викладача для її перевірки.

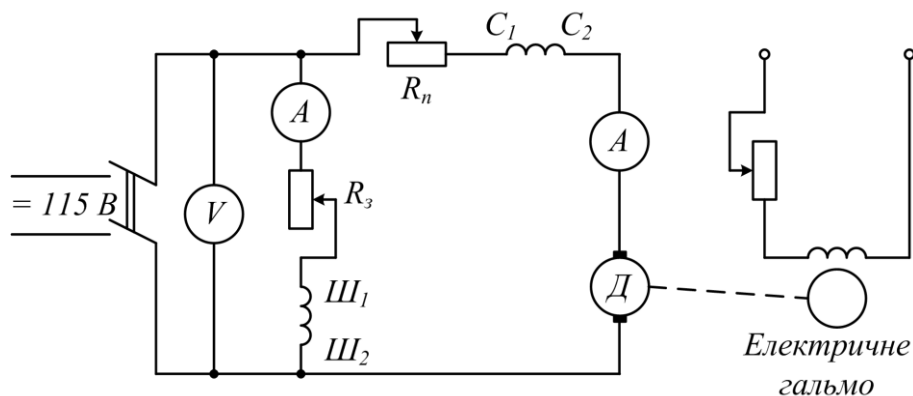


Рисунок 6.1

6.2.2 Здійснити пуск двигуна, перейти на природну характеристику і встановити частоту обертання за вказівкою викладача.

6.2.3 Зняти залежність  $n = f(I_a)$ . Струм якоря змінювати, навантажуючи двигун гальмом. Результати вимірювань записати в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Природні характеристики

| Параметр                                       | Дослід         |              |                    | Розрахунок   |               |               |               |
|------------------------------------------------|----------------|--------------|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                | $n$ ,<br>об/хв | $I_a$ ,<br>А | $\alpha$ ,<br>град | $M$ ,<br>Н·м | $P_1$ ,<br>Вт | $P_2$ ,<br>Вт | $\eta$ ,<br>% |
| $U_1 = \_\_\text{ В}$<br>$I_3 = \_\_\text{ А}$ |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                |                |              |                    |              |               |               |               |
| $U_1 = \_\_\text{ В}$<br>$I_3 = \_\_\text{ А}$ |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                |                |              |                    |              |               |               |               |
| $U_1 = \_\_\text{ В}$<br>$I_3 = \_\_\text{ А}$ |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                |                |              |                    |              |               |               |               |

6.2.4 Зменшувати струм збудження до такої величини, щоб частота обертання в режимі холостого ходу (ключ гальма ввімкнений) дорівнювала 1400 об/хв. Повторити пункт 6.2.3.

6.2.5 Встановити максимальний струм збудження і повторити пункт 6.3.3.

6.2.6 Вимкнути двигун і гальмо. У коло якоря ввімкнути додатковий опір, як вказано на рисунку 6.2, і встановити його мінімальну величину.

6.2.7 Здійснити пуск двигуна, перейти на природну частоту обертання за вказівкою викладача.

6.2.8 Зняти залежність  $n = f(I_a)$ . Струм якоря змінювати, навантажуючи двигун гальмом. Результати вимірювань записати в таблицю 6.2.

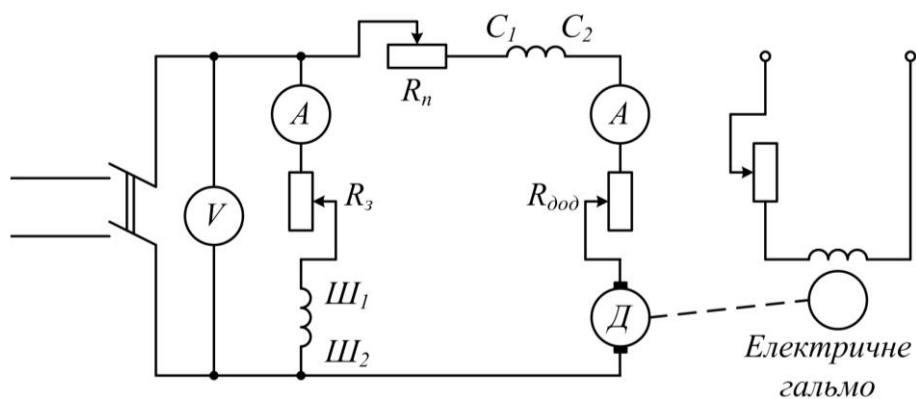


Рисунок 6.2

Таблиця 6.2 – Штучні характеристики ( $U_1 = \text{___ V}$ ,  $I_3 = \text{___ A}$ )

| Параметр                                              | Дослід         |              |                    | Розрахунок   |               |               |               |
|-------------------------------------------------------|----------------|--------------|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                       | $n$ ,<br>об/хв | $I_a$ ,<br>А | $\alpha$ ,<br>град | $M$ ,<br>Н·м | $P_1$ ,<br>Вт | $P_2$ ,<br>Вт | $\eta$ ,<br>% |
| $U_{dod} = \text{___ V}$<br>$R_{dod} = \text{___ Ом}$ |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                       |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                       |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                       |                |              |                    |              |               |               |               |
| $U_{dod} = \text{___ V}$<br>$R_{dod} = \text{___ Ом}$ |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                       |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                       |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                       |                |              |                    |              |               |               |               |
| $U_{dod} = \text{___ V}$<br>$R_{dod} = \text{___ Ом}$ |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                       |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                       |                |              |                    |              |               |               |               |
|                                                       |                |              |                    |              |               |               |               |

6.2.9 Повернутися в режим холостого ходу та ввести додатковий опір у коло якоря. Повторити пункт 6.2.8. Для максимального струму якоря

поміряти падіння напруг на додатковому опорі, записати цю величину в таблицю 6.2.

6.2.10 Повторити експеримент для двох-трьох значень додаткового опору.

### **6.3 Порядок виконання лабораторної роботи**

6.3.1 Для запобігання пошкодженню приладів та обладнання перед кожним пуском слід перевірити таке:

- опір резистора в колі якоря (лівий регулятор) має бути максимальним, а в колі збудження (правий регулятор) – мінімальним;
- гальмо має бути ввімкнене, а регулятор струму збудження гальма (передня вертикальна панель) – у крайньому положенні, якщо повертати ручку проти годинникової стрілки.

6.3.2 Після пуску та зменшення опору в колі якоря до нуля натиснути кнопку «ШУНТ». Так встановлено режим штучних характеристик.

6.3.3 Навантажувати двигун, орієнтуючись за струмом якоря та положенням противаги гальма. Струм якоря не має перевищувати 15 А, а противага гальма не має вpirатися в обмежувач.

6.3.4 Максимальна частота обертання двигуна не має перевищувати 1500 об/хв.

6.3.5 Із навантаженням двигуна напруга мережі трохи знижується. За напругу мережі  $U_1$  слід приймати середнє значення, розраховане як пів суми напруги мережі для мінімального та максимального струмів якоря.

6.3.6 Вимірювати для струму якоря 10 А і більше максимально швидко, бо додатковий опір не розрахований на такі струми.

6.3.7 Розібрати електричну схему досліджень.

### **6.4 Обробка результатів**

6.4.1 Розрахувати за даними таблиці 6.1 значення моменту на валу, споживаної потужності, коефіцієнта корисної дії.

6.4.1.1 Величина моменту на валу електродвигуна, Н·м,

$$M = 9,81 \cdot G \cdot L \cdot \sin \alpha, \quad (6.1)$$

де  $\alpha$  – кут відхилення протизаваги, град;

$L$  – довжина плеча протизаваги,  $L = 0,21$  м;

$G$  – вага протизаваги,  $G = 6$  кг.

6.4.1.2 Споживана потужність  $P_1$

$$P_1 = U_1 \cdot (I_a + I_3). \quad (6.2)$$

6.4.1.3 Потужність на валу  $P_2$  і коефіцієнт корисної дії

$$P_2 = \frac{M \cdot n}{9,55}; \quad (6.3)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad (6.4)$$

де  $n$  – частота обертання, об/хв.

6.4.1.4 Розрахувати за даними таблиці 6.2 величини додаткових опорів.

6.4.1.5 Повторити розрахунки пунктів 6.5.1.1-6.5.1.3 для даних таблиці 6.2.

6.4.2 Побудувати за даними таблиці 6.1 швидкісні робочі характеристики для всіх значень струмів збудження в одних осях координат.

6.4.3 Побудувати за даними таблиці 6.1 моментні робочі характеристики для всіх значень струмів збудження в одних осях координат.

6.4.4 Побудувати в одних осях координат за даними таблиці 6.1 залежності  $\eta = f(P_2)$ ;  $n = f(P_2)$ ;  $I_a = f(P_2)$  для  $R_{\text{дод}} = 0$ .

6.4.5 За даними таблиці 6.2 побудувати в одних осях координат швидкісні штучні характеристики  $n = f(I_a)$  для всіх значень додаткового опору, а також природну характеристику для  $R_{\text{доп}} = 0$ .

6.4.6 За даними таблиці 6.2 побудувати в одних осях координат штучні механічні характеристики для всіх значень додаткового опору, а також природну характеристику для  $R_{\text{доп}} = 0$ .

6.4.7 Побудувати за даними таблиці 6.2 в одних осях координат залежності  $\eta = f(P_2)$  для всіх значень додаткового опору, у тому числі  $R_{\text{доп}} = 0$ .

6.4.8 Зробити висновки з лабораторної роботи.

6.4.9 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

### **Запитання для захисту лабораторної роботи**

1 Як пояснити фізичний механізм виникнення обертового моменту в електродвигуні постійного струму?

2 Як зміниться струм якоря двигуна паралельного збудження, що працює з постійним моментом, якщо напругу на якорі збільшити на 30 %, і чим це пояснити?

3 Які основні функції виконує додатковий опір, увімкнений у коло якоря двигуна постійного струму?

4 Як зміниться частота обертання двигуна, якщо напругу на якорі зменшити на 30 % за незмінної напруги обмотки збудження, і чому?

5 Як зміниться частота обертання двигуна паралельного збудження, що працює в режимі холостого ходу, з обривом кола збудження?

6 Як вплине обрив кола збудження на частоту обертання двигуна, що працює під навантаженням?

7 Якими способами можна зменшити або обмежити пусковий струм двигуна постійного струму?

8 Якими параметрами визначають нахил механічної характеристики двигуна постійного струму?

9 Яким має бути магнітний потік двигуна в момент пуску – мінімальним чи максимальним – і чому саме, як це забезпечено у двигуні паралельного збудження?

10 Для яких режимів роботи (тривалих чи короткочасних) доцільно використовувати двигуни на штучних характеристиках і з яких причин?

11 Чому у двигунах постійного струму не застосовують зустрічне вмикання серієсної обмотки збудження?

12 У якому випадку двигун за однакового моменту навантаження буде розганятися швидше – зі стабілізуючою обмоткою чи без неї, і чому?

13 Яка принципова відмінність двигуна постійного струму з паралельним збудженням від двигуна з послідовним збудженням?

14 Як залежить електромагнітний момент двигуна паралельного збудження від струму якоря?

15 Чому механічну характеристику двигуна паралельного збудження вважають жорсткою?

16 Як впливає зміна струму збудження на швидкість обертання двигуна?

17 Яким є співвідношення між електрорушійною силою якоря, напругою живлення та падінням напруги на опорі якоря?

18 Як змінюється струм якоря зі зростанням моменту навантаження на валу двигуна?

19 Чому пуск двигуна постійного струму без пускового опору є неприпустимим?

20 Які переваги має двигун постійного струму з паралельним збудженням порівняно з іншими типами двигунів постійного струму?

21 Як впливає насичення магнітного кола на робочі характеристики двигуна?

22 Які параметри двигуна визначають його пускові властивості?

## Лабораторна робота 7

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ВТРАТ У ДВИГУНІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

#### Мета лабораторної роботи

Вивчення властивостей двигуна постійного струму, шляхів передавання потужності та її втрат в елементах конструкції двигуна.

#### 7.1 Підготовка до лабораторної роботи

7.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

7.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### 7.2 Робоче завдання

7.2.1 Зібрати електричну схему експерименту відповідно до рисунка 7.1 і запросити викладача для її перевірки.

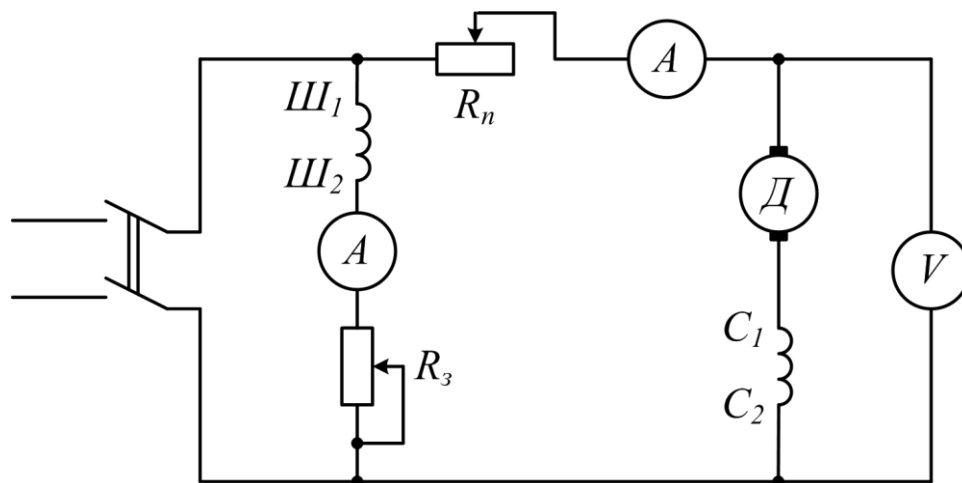


Рисунок 7.1

7.2.2 Запустити двигун, натиснувши пускову кнопку лівого кнопкового посту, і вивести двигун на природну характеристику. Шунтування пускового опору не виконувати!

7.2.3 Встановити струм збудження 2,8; 2,5; 1,5; 1,0 А і, змінюючи напругу на якорі, для кожного зі струмів збудження встановити частоту обертання 1200 об/хв. Записати показання приладів у таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати досліджень втрат потужності

| $i_z$ ,<br>А | Дослід         |              |              | Розрахунок    |               |                        |                                            |
|--------------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------------------|--------------------------------------------|
|              | $n$ ,<br>об/хв | $I_a$ ,<br>А | $U_1$ ,<br>В | $P_1$ ,<br>Вт | $P_2$ ,<br>Вт | $P_{\text{щ}}$ ,<br>Вт | $(P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}})$ ,<br>Вт |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |
|              |                |              |              |               |               |                        |                                            |

7.2.4 Повторити пункт 7.2.3 для кількох інших частот обертання за вказівкою викладача.

### **7.3 Порядок виконання лабораторної роботи**

7.3.1 Перед ввімкненням агрегату слід перевірити таке:

- пусковий опір має бути максимальним (лівий регулятор у крайньому положенні, якщо обертати його за годинниковою стрілкою);
- опір у колі якоря обмотки збудження має бути мінімальним (правий регулятор у крайньому положенні, якщо обертати його проти годинникової стрілки).

7.3.2 Вимірювані значення струму якоря лежать у межах 2-5 А, тому для підвищення точності вимірювання потрібно замінити стаціонарний амперметр у колі струму якоря на інший, із межею вимірювання 5 А.

7.3.3 Перед пуском перевірити положення стрілок вимірювальних приладів, встановити їх на нуль (якщо їхні положення відмінні від нуля).

7.3.4 Для малих значень струму збудження обертальний момент невеликий, тому зміна частоти обертання, струму та напруги відбувається повільно. Перед тим як записати дані приладів, потрібно переконатися, що вони не змінюються.

7.3.5 Експеримент потребує підвищеної ретельності вимірювань. Слід бути уважними!

7.3.6 Розібрати електричну схему досліджень.

### **7.4 Обробка результатів**

7.4.1 Розрахувати споживану потужність, втрати потужності в обмотках якірного кола, у контакті щіток, втрати потужності в сталі та механічні.

7.4.1.1 Споживана потужність

$$P_1 = U_1 \cdot I_a. \quad (7.1)$$

7.4.1.2 Втрати потужності на обмотках кола якоря

$$P_a = I_a^2 \cdot R_a, \quad (7.2)$$

де  $R_a = 1,81 \text{ Ом}$ .

7.4.1.3 Втрати потужності в електричному розрахунковому контакті щіток

$$P_{щ} = 2 \cdot \Delta U_{щ} \cdot I_a. \quad (7.3)$$

Щітковий контакт нелінійний. У цьому випадку, коли щільність струму в контакті менш ніж  $10 \text{ А/см}^2$ , слід прийняти  $\Delta U_{щ} \approx 0,35 \cdot I_a$ .

7.4.1.4 Втрати у сталі та механічні втрати

$$P_{ст} + P_{мех} = P_1 - (P_a + P_{щ}). \quad (7.4)$$

Дані розрахунків слід записати в таблицю 7.1.

7.4.2 Визначення механічних втрат відбувається за рахунок розподілу втрат, визначених у пункті 7.4.1.4, графічним методом. Необхідно побудувати в одній системі координат залежність  $P_{ст} + P_{мех} = f(i_2)$  кожної частоти обертання. Заповнити таблицю 7.2 і побудувати графік  $P_{мех} = f(n)$ , провівши плавну криву за даними таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Залежність механічних втрат від частоти обертання

|                      |  |  |  |  |
|----------------------|--|--|--|--|
| $n, \text{об/хв}$    |  |  |  |  |
| $P_{мех}, \text{Вт}$ |  |  |  |  |

7.4.3 Для визначенні втрат у сталі необхідно заповнити таблицю 7.3, причому величину  $P_{мех}$  визначити з уже побудованого графіка  $P_{мех} = f(n)$ ,

а значення  $(P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}})$  взяти з таблиці 7.1. Побудувати залежності  $P_{\text{ст}} = f(n)$  для рівних частот обертання. Ретельно виконуючи роботу будуючи графіки, усі лінії перетинатимуться майже в одній точці – ця точка визначає додаткові втрати машини.

Таблиця 7.3 – Залежність втрат у сталі від частоти обертання

| $i_3, \text{А}$ | $n, \text{об/хв}$ | $(P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}}), \text{Вт}$ | $P_{\text{мех}}, \text{Вт}$ | $P_{\text{ст}}, \text{Вт}$ |
|-----------------|-------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |
|                 |                   |                                               |                             |                            |

7.4.4 Розрахувати коефіцієнт корисної дії двигуна для струму навантаження і частоти обертання, заданих викладачем. Для розрахунків приймати падіння напруги в щітках  $\Delta U_{\text{щ}} \approx 2 \text{ В}$ .

7.4.5 Зробити висновки з лабораторної роботи.

7.4.6 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

### **Запитання для захисту лабораторної роботи**

- 1 Які основні види втрат виникають у двигуні постійного струму?
- 2 Які електричні втрати мають місце в обмотці якоря двигуна постійного струму?
- 3 Які магнітні втрати виникають у сталі якоря та чим вони зумовлені?
- 4 У чому полягає фізична сутність механічних втрат у двигуні постійного струму?
- 5 Як залежать втрати в обмотці якоря від струму навантаження двигуна?
- 6 Як змінюються магнітні втрати залежно від частоти обертання якоря?
- 7 Як впливає напруга живлення на величину основних видів втрат у двигуні постійного струму?
- 8 У яких режимах роботи необхідно враховувати втрати в обмотці збудження?
- 9 За яких умов втратами в обмотці збудження можна знехтувати?
- 10 Як саме визначають загальну потужність втрат у двигуні постійного струму?
- 11 Як розраховують коефіцієнт корисної дії двигуна постійного струму?
- 12 Які експериментальні та розрахункові дані необхідні для визначення коефіцієнта корисної дії двигуна?
- 13 Як на величину коефіцієнта корисної дії двигуна постійного струму впливає наявність компенсаційної обмотки?
- 14 Як товщина листів електротехнічної сталі якоря впливає на магнітні втрати і коефіцієнт корисної дії машини?

15 Чому втрати в станині та головних полюсах часто вважають рівними нулю?

16 За яких умов припущення про відсутність втрат у станині є обґрунтованими?

17 Що розуміють під додатковими втратами у двигунах постійного струму?

18 Які фізичні процеси зумовлюють виникнення додаткових втрат у двигунах постійного струму?

19 Як саме додаткові втрати враховують під час розрахунку коефіцієнта корисної дії?

20 Чому двигуни постійного струму, що живляться від випрямлячів, мають нижчий коефіцієнт корисної дії?

21 Який вплив мають пульсації струму та напруги на величину втрат у тяговому електричному двигуні?

22 Які значення коефіцієнта корисної дії вважають типовими для двигунів постійного струму потужністю 5 кВт?

23 Які значення коефіцієнта корисної дії є характерними для двигунів постійного струму потужністю 10-50 кВт?

24 Які орієнтовні значення коефіцієнта корисної дії мають двигуни постійного струму великої потужності (100-1000 кВт)?

25 У яких випадках необхідно враховувати втрати на вентиляцію?

26 Від яких факторів залежать втрати на вентиляцію та охолодження двигуна?

27 Які з видів втрат є найбільшими у відсотковому відношенні для двигуна постійного струму?

28 Які умови відповідають режиму максимального коефіцієнта корисної дії двигуна постійного струму?

## Лабораторна робота 8

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

#### Мета лабораторної роботи

Вивчення конструкції та властивостей трифазного трансформатора на основі дослідів холостого ходу та короткого замикання, а також залежностей струмів холостого ходу та короткого замикання від напруги.

#### 8.1 Підготовка до лабораторної роботи

8.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

8.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### 8.2 Робоче завдання

8.2.1 Зібрати електричну схему для проведення експерименту холостого ходу відповідно до рисунка 8.1 і запросити викладача для її перевірки.

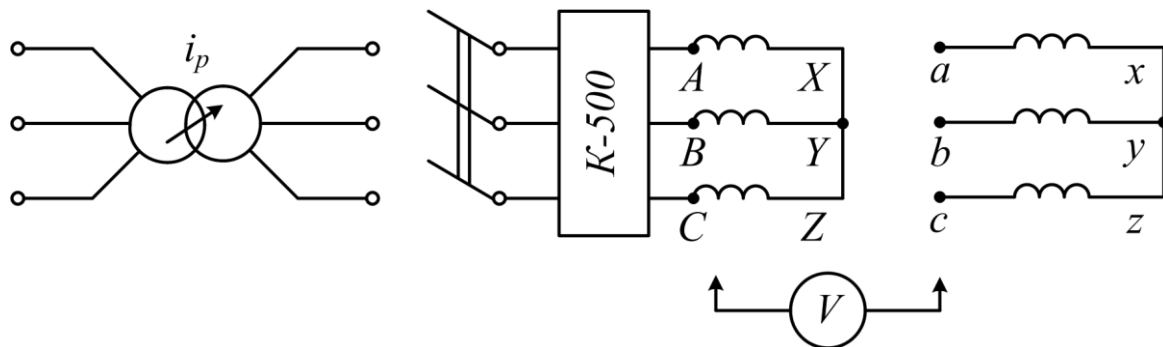


Рисунок 8.1

8.2.2 Дослідити холостий хід. Результати вимірювань записати в таблицю 8.1.

8.2.3 Зняти залежність величини струму холостого ходу від напруги на первинній обмотці. Результати вимірювань записати в таблицю 8.2.

Таблиця 8.1 – Результати експерименту холостого ходу

| $U_A$ | $U_B$ | $U_C$ | $J_A$ | $J_B$ | $J_C$ | $U_a$ | $U_b$ | $U_c$ | $P_{OA}$ | $P_{OB}$ | $P_{OC}$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
|       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |

Таблиця 8.2 – Залежність струму холостого ходу від напруги

| $U_1$ , В    |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--|--|--|--|--|--|--|
| $I_{1X}$ , А |  |  |  |  |  |  |  |

8.2.4 Зібрати електричну схему для проведення експерименту короткого замикання відповідно до рисунка 8.2 і запросити викладача для її перевірки.

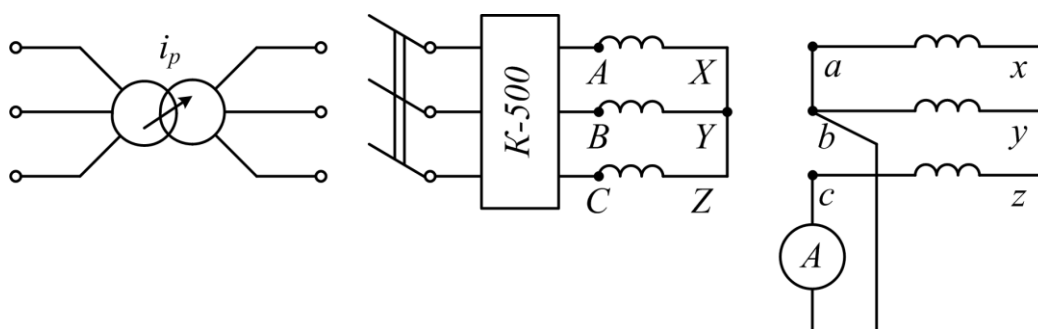


Рисунок 8.2

8.2.5 Провести експеримент короткого замикання. Результати вимірювань записати в таблицю 8.3.

8.2.6 Зняти залежність струму первинної і струму закороченої вторинної обмоток від напруги на первинній обмотці. Результати вимірювань записати в таблицю 8.4.

Таблиця 8.3 – Результати дослідження короткого замикання

| $U_A$ | $U_B$ | $U_C$ | $I_A$ | $I_B$ | $I_C$ | $P_A$ | $P_B$ | $P_C$ | $I_{2H}$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |

Таблиця 8.4 – Залежність струму короткого замикання від напруги

|                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U_1, \text{В}$    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $I_{1K}, \text{А}$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $I_{2K}, \text{А}$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

### 8.3 Порядок виконання лабораторної роботи

8.3.1 Напруга трифазної мережі на стенд подана від індукційного регулятора. Для запобігання пошкодженню приладів та обладнання будь-який дослід слід починати з мінімальної напруги. Перемикач напруги на приладі К-500 має бути ввімкнений на межу 450 В.

8.3.2 Дослід холостого ходу виконують для одного значення напруги на обмотці, що дорівнює номінальній. Магнітна система трифазного тристрижневого трансформатора, який використано для дослідження, несиметрична, несиметрична також лінійна напруга мережі живлення. У цьому випадку за напругу і струм холостого ходу потрібно приймати середнє арифметичне значення з трьох значень фазних напруг і струмів відповідно. Досліджувати холостий хід і коротке замикання необхідно вимірюючи фазні величини струмів і напруг. Схему заміщення також будують для однієї фази трансформатора. Номінальна фазна напруга досліджуваного трансформатора складає 220 В, лінійна – 380 В.

8.3.3 Залежність струму холостого ходу від напруги фактично є кривою намагнічування трансформатора. Для одержання цієї кривої необхідно змінювати напругу індукційним регулятором від мінімальної до 250-260 В. Записувати тільки ті результати, які лежать у межах рівня вимірювальних приладів.

8.3.4 Дослід короткого замикання потрібно виконувати для одного значення струму, що дорівнює номінальному. Оскільки напруга короткого замикання мала, цей дослід обов'язково починають із мінімальної напруги. За величину номінального первинного струму приймають такий струм, за

якого струм вторинної обмотки дорівнює (для досліджуваного трансформатора) 0,4 А.

8.3.5 Залежність первинного і вторинного струмів у режимі короткого замикання від напруги потрібно знімати, підвищуючи напругу до тих пір, поки вторинний струм не дорівнюватиме 0,5-0,6 А.

8.3.6 Розібрати електричну схему досліджень.

## 8.4 Обробка результатів

8.4.1 Розрахувати параметри схеми заміщення за результатами дослідів ХХ і КЗ, накреслити схему заміщення та проставити значення розрахованих опорів.

8.4.2 Побудувати графік залежності  $U_{2x} = f(U_1)$  і пояснити її вигляд.

8.4.3 Побудувати графік залежностей  $I_{1K} = f(U_1)$  і  $I_{2K} = f(U_1)$  в одній системі координат і пояснити вигляд залежностей.

8.4.4 Розрахувати і побудувати залежність  $\eta = f(\beta)$  і  $U_1/U_{2H} = f(\beta)$  для  $\cos \varphi_2 = 0,8$  (відставання) чи іншого (за завданням викладача).  
Результати розрахунку записати в таблицю 8.5.

Таблиця 8.5 – Результати розрахунків

| $\beta$ | $\beta \cdot S \cdot \cos \varphi_2$ | $\beta^2 P_K$ | $\eta$ | $\beta \cos(\varphi_2 - \varphi_{2H})$ | $\Delta U$ | $U_2/U_H$ |
|---------|--------------------------------------|---------------|--------|----------------------------------------|------------|-----------|
| 0       |                                      |               |        |                                        |            |           |
| 0,25    |                                      |               |        |                                        |            |           |
| 0,5     |                                      |               |        |                                        |            |           |
| 0,75    |                                      |               |        |                                        |            |           |
| 1,0     |                                      |               |        |                                        |            |           |
| 1,25    |                                      |               |        |                                        |            |           |

8.4.5 Заповнити таблиці 8.6-8.9 номінальних параметрів і розрахованих величин. Розрахунки проводити за такими виразами:

$$K = U_{1X}/U_{2X}; \quad Z_m = U_{1H}/I_{2X}; \quad r_m = P_0/I_0^2; \quad X_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2}.$$

$$Z_K = U_K/I_{1H}; \quad r_K = P_K/I_{1H}^2; \quad X_m = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}.$$

$$X_1 \cong X_K/2; \quad X_2' \cong X_1; \quad X_2 = X_2'/K^2.$$

$$S_H = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H; \quad \beta = I/I_H; \quad P_0^* = 3 \cdot P_0/S_H; \quad I_0^* = I_0/I_H;$$

$$u_K \% = U_K/U_H \%; \quad P_K^* = 3P_K/S_H; \quad \varphi_K = \arctg \frac{X_K}{r_K}.$$

$$\Delta U \% = \beta \cdot u_K \% \cos(\varphi_2 - \varphi_K); \quad U_2 = U_{2X} \left( 1 - \frac{\Delta U \%}{100} \right).$$

$$\eta = \frac{S_H \cdot \cos \phi}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \phi_2 + 3 \cdot P_K \cdot \beta^2}.$$

$$Z_B = U_{1H}/I_{1H}.$$

Примітки: 1)  $P_0$  і  $P_K$  – значення для однієї фази; 2) будь-яке відповідне значення опору обчислюють за відношенням до  $Z_B$ .

Заповнюючи таблиці, потрібно враховувати, що за номінальні значення в трансформаторі приймають фазні значення напруги і струму, а втрати потужності холостого ходу та короткого замикання, струм холостого ходу та напругу короткого замикання вказують у відносних одиницях.

Таблиця 8.6 – Номінальні параметри та результати розрахунків

| $U_{1H},$<br>В | $U_{2H},$<br>В | $I_{1H},$<br>А | $I_{2H},$<br>А | $S_H \cdot \cos \varphi_H,$<br>В·А | $u_K,$<br>% | $\eta_{ном},$<br>% | Схема<br>з'єднань |
|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------------|-------------|--------------------|-------------------|
|                |                |                |                |                                    |             |                    |                   |

Таблиця 8.7 – Номінальні параметри та результати розрахунків

| $U_{1K},$<br>В | $U_{2K},$<br>В | $I_0,$<br>А | $I_0^*$ | $P_K,$<br>Вт | $P_K^*$ | $P_0,$<br>Вт | $P_0^*$ |
|----------------|----------------|-------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
|                |                |             |         |              |         |              |         |

Таблиця 8.8 – Номінальні параметри та результати розрахунків

|         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $Z_m$ , | $Z_m^*$ | $X_m$ , | $X_m^*$ | $r_m$ , | $r_m^*$ | $Z_K$ , | $Z_K^*$ |
| Ом      |         | Ом      |         | Ом      |         | Ом      |         |
|         |         |         |         |         |         |         |         |

Таблиця 8.9 – Номінальні параметри та результати розрахунків

|         |         |         |         |         |         |          |     |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----|
| $r_K$ , | $r_K^*$ | $X_K$ , | $X_K^*$ | $X_1$ , | $X_2$ , | $X_2'$ , | $K$ |
| Ом      |         | Ом      |         | Ом      | Ом      | Ом       |     |
|         |         |         |         |         |         |          |     |

8.4.6 Зробити висновки з лабораторної роботи.

8.4.7 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

#### **Запитання для захисту лабораторної роботи**

1 Завдяки якому фізичному явищу виникає електрорушійна сила в обмотках трансформатора?

2 За рахунок чого формується магнітний потік у магнітопроводі трансформатора?

3 Яку частку номінального струму (у відсотках) зазвичай становить струм холостого ходу трансформатора?

4 Що називають потоком розсіювання трансформатора та де він замикається?

5 Як саме у лабораторних умовах реалізовано режим короткого замикання трансформатора?

6 Чому дослід короткого замикання трансформатора виконують зі зниженою напругою живлення?

7 Що розуміють під напругою короткого замикання трансформатора?

8 Які види втрат є переважаючими в трансформаторі в режимі холостого ходу та з яких причин?

9 Які втрати домінують у трансформаторі в режимі короткого замикання і чому?

10 Як зміниться струм холостого ходу трансформатора з двократним збільшенням опору первинної обмотки та чим це пояснити?

11 Що є опором намагнічувального контуру трансформатора?

12 Що розуміють як приведені величини в теорії трансформаторів?

13 Який вигляд має повна схема заміщення трансформатора і яке фізичне значення мають її елементи?

14 Який вигляд має спрощена схема заміщення трансформатора та які фізичні процеси вона описує?

15 Як влаштований трифазний трансформатор і з яких основних конструктивних елементів він складається?

16 Якими факторами визначений нахил зовнішньої характеристики трансформатора?

17 За яких умов коефіцієнт корисної дії трансформатора досягає максимального значення?

18 Якою є загальна формула для визначення електрорушійної сили обмотки трансформатора?

19 Як впливає навантаження на величину вторинної напруги трансформатора?

20 Чим зумовлене нагрівання обмоток трансформатора під час роботи?

21 Як саме частота живильної напруги впливає на магнітний потік у трансформаторі?

22 Які основні припущення приймають під час побудови схем заміщення трансформатора?

## **Лабораторна робота 9**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЗНАЧЕННЯ ВИВОДІВ ОБМОТОК ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

#### **Мета лабораторної роботи**

Вивчення методів визначення початків і кінців обмоток і їхнього взаємного розташування у трифазному трансформаторі, ознайомлення зі схемами та групами з'єднання обмоток.

#### **9.1 Підготовка до лабораторної роботи**

9.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

9.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### **9.2 Робоче завдання**

9.2.1 Визначити пари виводів, які належать одній обмотці.

9.2.2 Визначити обмотки високої (ВН) і низької (НН) напруг.

9.2.3 Визначити обмотки ВН і НН, які розташовані на одному стрижні.

9.2.4 Визначити початки та кінці обмоток ВН.

9.2.5 Визначити початки та кінці обмоток НН.

9.2.6 Зібрати схему та групу з'єднань обмоток трансформатора за вказівкою викладача і побудувати векторну діаграму електрорушійної сили.

9.2.7 Виміряти і розрахувати міжфазні напруги обмоток трансформатора.

#### **9.3 Порядок виконання лабораторної роботи**

9.3.1 На горизонтальну панель стенда виведені 12 кінців обмоток трифазного трансформатора. Визначають парні виводи, які належать кожній обмотці, за допомогою приладу-індикатора, розташованого на вертикальній панелі стенда. До виводу 1 слід приєднати один кінець індикатора та визначити другий вивід обмотки під'єднанням другого кінця індикатора до

клем 2-12. Далі знайти виводи всіх обмоток так само серед невизначених кінців. Дані вимірювань записати в таблицю 9.1.

Таблиця 9.1 – Позначення виводів обмоток трансформатора

| Виводи обмоток (1-12) | Розподіл напруги на обмотках, В | Виводи обмоток ВН і НН | Розподіл напруг із живленням обмоток НН (виводи) |  |  | Розподіл обмоток на фазах | Позначення виводів обмоток |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|--|--|---------------------------|----------------------------|
|                       |                                 |                        |                                                  |  |  |                           |                            |
|                       |                                 |                        |                                                  |  |  |                           |                            |
|                       |                                 |                        |                                                  |  |  |                           |                            |
|                       |                                 |                        |                                                  |  |  |                           |                            |
|                       |                                 |                        |                                                  |  |  |                           |                            |
|                       |                                 |                        |                                                  |  |  |                           |                            |
|                       |                                 |                        |                                                  |  |  |                           |                            |

9.3.2 Визначають обмотки ВН і НН увімкненням однієї з обмоток, виводи якої визначені в пункті 9.3.1, на знижену напругу 20-50 В. Напругу виставляють за вказівкою викладача. Необхідно виміряти напругу на виводах інших обмоток трансформатора за допомогою вольтметра, розташованого на вертикальній панелі стенда. Для увімкнення вольтметра межу вимірювань слід встановити до 500 В, вмикаючи тумблер в положення 1:10. У процесі вимірювань межу вимірювань потрібно змінювати відповідно до величини напруги на виводах обмоток. Дані вимірювань записати в таблицю 9.1 і проаналізувати отримані результати. Якщо виміряна напруга не перевищує рівень підведеної напруги, то вона підведена до обмотки ВН, на інших обмотках ВН напруга буде приблизно вдвічі меншою, якщо напруга підведена до обмотки, розташованої на середньому стрижні осердя. Якщо напруга підведена до обмотки, розташованої на одному з крайніх стрижнів, то напруга

на обмотці ВН середнього стрижня складатиме приблизно  $2/3$  підведеної, а на другому крайньому стрижні –  $1/3$ , інші виводи будуть належати обмоткам НН, напруга на яких буде нижче за поріг чутливості вольтметра. Якщо вимірювана напруга перебільшить подачу, то вона буде підведена до виводів обмотки НН. На обмотці ВН, яка розташована на одному стрижні з обмоткою НН, на яку подана напруга, напруга буде найбільшою. Якщо цей стрижень середній, то на інших обмотках ВН напруга приблизно дорівнюватиме половині напруги обмотки ВН середнього стрижня. На інших обмотках НН напруга буде суттєво нижче за підведену. Дані вимірювань записати в таблицю 9.1 і вказати в ній обмотки ВН і НН.

9.3.3 Для визначення обмоток, розташованих на одному стрижні потрібно подати на обмотку НН знижену напругу 20-50 В. Напругу встановлюють за вказівкою викладача. Виміряти напругу на обмотках ВН, використовуючи вольтметр, на межі вимірювань до 500 В. Максимальна напруга буде на шуканій обмотці ВН. На інших обмотках ВН напруга буде значно нижчою. Діючи подібним способом, визначити пари обмоток, розташованих на інших двох стрижнях. Дані вимірювань напруг і розподілу обмоток по стрижнях чи фазах записати в таблицю 9.1, позначивши пари обмоток фазами  $A, a; B, b; C, c$ .

9.3.4 Для визначення початків і кінців обмоток потрібно з'єднати послідовно дві обмотки ВН, наприклад фази  $A$  і  $B$ . Подати на них знижену напругу до 220 В (встановлюють за вказівкою викладача) і виміряти напругу на обмотці ВН вільної фази  $C$ . Якщо вона буде суттєво нижче за підведену, то кінці, куди підведена напруга, будуть початком обмотки ВН фаз  $A$  і  $B$ . Кінці цих обмоток позначають  $X$  та  $Y$ . Якщо напруга на вільній фазі  $C$  буде співрозмірною з підведеною, то напруга підведена до початку фази  $A$  і кінця другої фази  $Y$  (або початку  $B$  і кінця  $X$ ), інші виводи обмоток ВН потрібно позначити  $X$  та  $B$  (або  $Y$  та  $A$ ). Щоб переконатися в цьому, після зняття напруги в останньому варіанті поміняти полярність однієї з обмоток ВН.

Після подавання напруги має повторитися перший варіант увімкнення. Для визначення полярності обмотки ВН фази  $C$  її потрібно ввімкнути послідовно з однією з визначених обмоток. На другій визначеній обмотці слід виміряти напругу. За результатами вимірювання визначити полярність обмотки ВН фази  $C$ . Позначити початок як  $C$ , а кінець як  $Z$ .

9.3.5 Для позначення виводів обмоток НН з'єднати обмотки ВН і НН однієї фази, подати на обмотку ВН напругу до 220 В (за вказівкою викладача) і виміряти напругу на колі двох обмоток. Якщо вона буде більше за подану, то з'єднати кінець шостої фази обмотки ВН із початком фази обмотки НН. Якщо менше – кінець фази обмотки ВН із кінцем фази обмотки НН. Дані визначення полярності обмоток НН записати в таблицю 9.1.

9.3.6 Схеми з'єднань трансформатора можуть бути «зірка» або «трикутник» (схему «зигзаг» у цій роботі не розглядають). Для з'єднання обмоток зіркою з'єднати разом кінці обмоток трьох фаз. Для з'єднання трикутником кінець фази  $A$  з'єднують із початком фази  $B$ , кінець фази  $B$  з'єднують із початком фази  $C$ , кінець фази  $C$  з'єднують із початком фази  $A$ . Напругу подають (знімають) на початку фаз. Групу з'єднання трансформатора визначають як кут зрушення фаз лінійних електрорушійних сил первинної та вторинної обмоток. У трифазних системах цей кут кратний  $30^\circ$ . Остання обставина дає змогу приймати позначення групи в часових частках на циферблаті годинника. Вектор первинної лінійної електрорушійної сили скерований на цифру 12 (або 0), вектор вторинної однойменної електрорушійної сили вказує групу. Наприклад, група 11 еквівалентна зміщенню на  $30^\circ$ , група 0 визначає синфазні електрорушійні сили. Будуючи векторну діаграму для заданої викладачем групи з'єднань, необхідно на діаграмі з'єднати точки початків обмоток  $A$  та  $a$ . Фазні електрорушійні сили обмоток ВН і НН скеровані від кінців обмоток до їхніх початків і будуть для кожної фази (стрижня) збігатися за фазою (будуть паралельні). Лінійна електрорушійна сила  $E_{AB}$

направлена від  $A$  до  $B$ ,  $E_{3B}$  – від  $a$  до  $b$  і т. д. Користуючись вказаними правилами, побудувати векторну діаграму первинних і вторинних електрорушійних сил, що відповідають заданій групі з'єднань. Зібрати схему та групу з'єднань трансформатора відповідно із завданням.

9.3.7 Розібрати електричну схему досліджень.

## **9.4 Обробка результатів**

9.4.1 Пояснити дані таблиці 9.1, розглядаючи магнітні потоки взаємної індукції в тристрижневому трансформаторі.

9.4.2 Зробити висновки з лабораторної роботи.

9.4.3 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

### **Запитання для захисту лабораторної роботи**

1 Який принцип дії трансформатора та з яких основних конструктивних елементів він складається?

2 Які схема та групи з'єднань застосовують для обмоток трифазного трансформатора і що саме характеризує група з'єднань?

3 Який вигляд має схема заміщення трансформатора, яке її призначення та який фізичний зміст мають її параметри?

4 Чому зі зміною струму вторинної обмотки трансформатора відбувається відповідна зміна струму в первинній обмотці?

5 Якими способами можна регулювати напругу вторинної обмотки трансформатора?

6 Які умови необхідно виконувати з увімкненням трансформатора на паралельну роботу і чому це є обов'язковим?

7 Що є початком і кінцем фазної обмотки трансформатора?

8 Для чого необхідно визначати і правильно позначати виводи обмоток трифазного трансформатора?

9 Які стандартні літерні та цифрові позначення застосовують для виводів первинних і вторинних обмоток трансформатора?

10 Які методи використовують для експериментального визначення початку та кінця обмоток?

11 У чому полягає метод вольтметра для визначення полярності обмоток трансформатора?

12 Як використовують метод пробного з'єднання для встановлення відповідності виводів обмоток?

13 Яку роль відіграє векторна діаграма напруг для визначення групи з'єднання трансформатора?

14 Як пов'язані між собою група з'єднання трансформатора та фазовий зсув між лінійними напругами?

15 Що означає годинникове позначення груп з'єднання трифазних трансформаторів?

16 Які особливості мають з'єднання обмоток за схемами «зірка», «трикутник» і «зигзаг»?

17 Як впливає схема з'єднання обмоток на величину фазних і лінійних напруг трансформатора?

18 Які помилки можуть виникнути з неправильним визначенням виводів обмоток?

19 Які наслідки може мати неправильне маркування виводів під час експлуатації трансформатора?

20 Яких вимог техніки безпеки необхідно дотримуватися під час дослідження виводів обмоток трансформатора?

21 Як впливає симетрія навантаження на режими роботи трифазного трансформатора?

## **Лабораторна робота 10**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА**

#### **Мета лабораторної роботи**

Вивчення конструкції та характеристик трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

#### **10.1 Підготовка до лабораторної роботи**

10.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

10.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### **10.2 Робоче завдання**

10.2.1 Зібрати електричну схему експерименту відповідно до рисунка 10.1 і запросити викладача для її перевірки.

10.2.2 Виконати пуск двигуна.

10.2.3 Записати в таблицю 10.1 значення напруги, струму, активної потужності та частоти обертання в режимі холостого ходу.

10.2.4 Подати збудження навантажувального генератора і замкнути якірне коло.

10.2.5 Змінити механічну характеристику двигуна  $n = f(M)$ . Зміну моменту виконати спочатку збільшуючи збудження, а потім зменшуючи опір якірного кола генератора. Максимальний струм навантаження встановити за вказівкою викладача. Усього виконати шість-сім вимірювань для різних значень моменту навантаження (відхилень показника кута повороту балансирної машини). Записати показання пристроїв і кута відхилення в таблицю 10.1.

10.2.6 Виконати необхідні розрахунки і побудувати в одній системі координат графіки  $\eta = f(P_2)$ ,  $\cos \varphi = f(P_2)$ ,  $n = f(P_2)$ ,  $s = f(P_2)$ ,  $P_1 = f(P_2)$ , а також механічну характеристику  $n = f(M)$ .

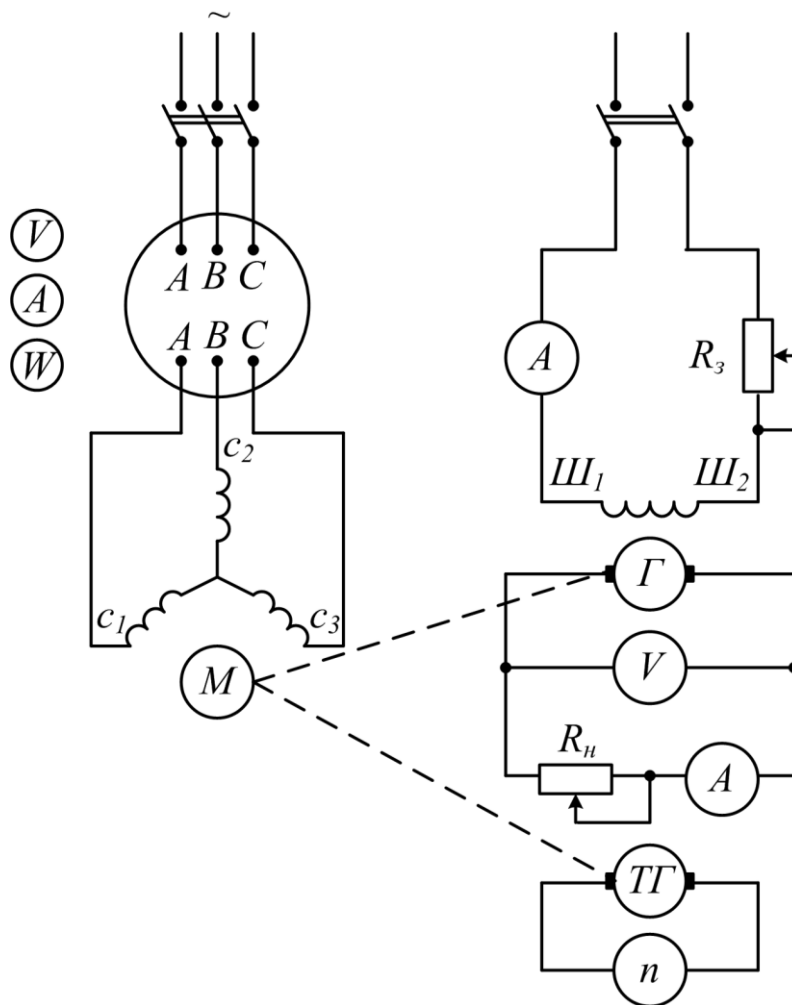


Рисунок 10.1 – Схема для дослідження характеристик трифазного асинхронного двигуна

Таблиця 10.1

| Дослід |     |       |     |     |     |     | Розрахунок |        |     |                |     |
|--------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------------|--------|-----|----------------|-----|
| $U$    | $I$ | $P_1$ | $n$ | $U$ | $I$ | $M$ | $P_2$      | $\eta$ | $S$ | $\cos \varphi$ | $s$ |
|        |     |       |     |     |     |     |            |        |     |                |     |
|        |     |       |     |     |     |     |            |        |     |                |     |
|        |     |       |     |     |     |     |            |        |     |                |     |
|        |     |       |     |     |     |     |            |        |     |                |     |
|        |     |       |     |     |     |     |            |        |     |                |     |
|        |     |       |     |     |     |     |            |        |     |                |     |

### 10.3 Порядок виконання лабораторної роботи

10.3.1 Щоб уникнути виходу вимірювальних пристроїв та обладнання з ладу, перед пуском слід перевірити таке:

- показник фаз комплексу К-540 має бути в положенні  $N$  (нейтраль);
- показники опорів навантаження «НАВАН» і збудження «ЗБУДЖ»

мають знаходитися в крайньому положенні, якщо обертати їх проти стрілки годинника. При цьому опори мають бути максимальними.

10.3.2 Пуск двигуна виконувати в такій послідовності:

- ввімкнення автомата  $\sim 380$  В зліва на вертикальній панелі;
- набір схеми живлення: натиснути кнопку « $\equiv$ » трифазного живлення – горизонтальний кнопковий пост на панелі;
- «ПУСК» – вертикальний кнопковий пост на панелі;
- за малих значень кута повороту балансирної машини можлива помилка, пов'язана з наявністю тертя в підшипниках і малим значенням моменту. Перед початком роботи встановити показник поворотів на «0», повернувши машину.

10.3.3 Розібрати електричну схему досліджень.

### 10.4 Обробка результатів

10.4.1 Корисний момент на валу двигуна  $M$  визначити за графіком залежності моменту від кута повороту балансирної машини.

10.4.2 Корисну потужність на валу двигуна  $P_2$ , Вт, і коефіцієнт корисної дії  $\eta$  визначають за виразами

$$P_2 = \frac{M \cdot n}{9,55}; \quad (10.1)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad (10.2)$$

де  $n$  – частота обертання, об/хв;

$M$  – момент на валу, Н·м.

10.4.3 Коефіцієнт потужності двигуна  $\cos\varphi$  визначають як відношення активної до повної потужності.

Повна потужність

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (10.3)$$

або

$$S = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I, \quad (10.4)$$

де  $U$  – лінійна напруга;

$U_{\phi}$  – фазна напруга;

$I$  – фазний струм.

Тоді

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S}, \quad (10.5)$$

де  $P_1$  – потужність, виміряна ватметром.

10.4.4 Величина ковзання асинхронного двигуна

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100\%, \quad (10.6)$$

де  $n_1$  – синхронна частота обертання,  $n_1 = 60 \cdot \frac{f}{p}$ ;

$p$  – кількість пар полюсів, що дорівнює 2;

$n = 1500$  об/хв.

10.4.5 Зробити висновки з лабораторної роботи.

10.4.6 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

### **Запитання для захисту лабораторної роботи**

- 1 У чому полягає принцип роботи трифазного асинхронного двигуна?
- 2 Чому для роботи асинхронного двигуна необхідна наявність ковзання?
- 3 Що називають синхронною частотою обертання асинхронного двигуна?
- 4 Як саме у статорі асинхронного двигуна утворюється рухоме магнітне поле?
- 5 Якою є частота електрорушійної сили і струму в обмотці ротора асинхронного двигуна?
- 6 Скільки фаз має короткозамкнена обмотка ротора асинхронного двигуна?
- 7 Що розуміють під приведеною асинхронною машиною?
- 8 У чому полягає негативний вплив асинхронного двигуна на мережу живлення, особливо за малих навантажень?
- 9 Що називають механічною характеристикою асинхронної машини?
- 10 Які основні види втрат потужності виникають під час роботи асинхронного двигуна?
- 11 Що таке електромагнітна потужність асинхронної машини?
- 12 Якими способами поліпшують пускові характеристики короткозамкнених асинхронних двигунів?
- 13 Чим можна пояснити підвищений струм холостого ходу асинхронного двигуна порівняно з трансформатором?
- 14 Як можна змінити напрямок обертання ротора асинхронного двигуна?
- 15 Яка різниця між короткозамкненим і фазним ротором?
- 16 Які причини нагрівання асинхронного двигуна під час роботи?

## **Лабораторна робота 11**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО КОНДЕНСАТОРНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА**

#### **Мета лабораторної роботи**

Вивчення характеристик конденсаторного асинхронного двигуна.

#### **11.1 Підготовка до лабораторної роботи**

11.1.1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом за тематикою роботи.

11.1.2 Підготувати попередній звіт із лабораторної роботи.

#### **11.2 Робоче завдання**

11.2.1 Зібрати електричну схему експерименту відповідно до рисунка 11.1 і запросити викладача для її перевірки.

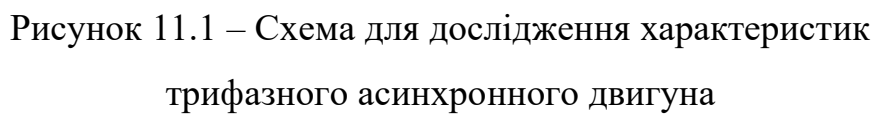
11.2.2 Виконати пуск двигуна.

11.2.3 Записати в таблицю 11.1 значення напруги, струму, активної потужності та частоти обертання в режимі холостого ходу.

11.2.4 Подати збудження навантажувального генератора і замкнути якірне коло.

11.2.5 Змінити механічну характеристику двигуна  $n = f(M)$ . Зміну моменту виконати спочатку збільшуючи збудження, а потім зменшуючи опір якірного кола генератора. Максимальний струм навантаження встановити за вказівкою викладача. Усього виконати шість-сім вимірювань для різних значень моменту навантаження (відхилень показника кута повороту балансирної машини). Записати показання пристроїв і кута відхилення в таблицю 11.1.

11.2.6 Виконати необхідні розрахунки і побудувати характеристики конденсаторного асинхронного двигуна:  $n = f(P_2)$ ,  $\eta = f(P_2)$ ,  $s = f(P_2)$ ,  $M = f(P_2)$ ,  $I = f(P_2)$ ,  $\cos \varphi = f(P_2)$  і механічну характеристику  $n = f(M)$ .

[illegible]

### 11.3 Порядок виконання лабораторної роботи

11.3.1 Щоб уникнути виходу вимірюваних пристроїв та обладнання з ладу, перед пуском слід перевірити таке:

- показник фаз комплексу К-540 має бути в положенні  $N$  (нейтраль);
- показники опорів навантаження «НАВАН» і збудження «ЗБУДЖ»

мають знаходитися в крайньому положенні, якщо обертати їх проти стрілки годинника. При цьому опори мають бути максимальними.

11.3.2 Пуск двигуна виконувати у такій послідовності:

- ввімкнення автомата  $\sim 380$  В зліва на вертикальній панелі;
- набір схеми живлення: натиснути кнопку « $\equiv$ » трифазного живлення – горизонтальний кнопковий пост на панелі;
- «ПУСК» – вертикальний кнопковий пост на панелі;
- за малих значень кута повороту балансирної машини можлива помилка, пов'язана з наявністю тертя в підшипниках і малим значенням моменту. Перед початком роботи встановити показник поворотів на «0», повернувши машину.

11.3.3 Розібрати електричну схему досліджень.

### 11.4 Обробка результатів

11.4.1 Корисний момент на валу двигуна  $M$  визначити за графіком залежності моменту від кута повороту балансирної машини.

11.4.2 Корисну потужність  $P_2$ , Вт, на валу двигуна і коефіцієнт корисної дії визначають за виразами

$$P_2 = \frac{M \cdot n}{9,55}; \quad (11.1)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad (11.2)$$

де  $n$  – частота оборотів, об/хв;

$M$  – момент на валу, Н·м.

11.4.3 Косинус  $\varphi$  двигуна визначають як відношення активної до повної потужності:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S}, \quad (11.3)$$

де  $P_1$  – повна споживча потужність, вимірювана ватметрами;

$S$  – повна потужність,

$$S = U \cdot I. \quad (11.4)$$

Напруга  $U$ , що підведена до двигуна,

$$U = \sqrt{2 \cdot U_a^2 + 2 \cdot U_b^2 - U_c^2} \quad (11.5)$$

або

$$U = \sqrt{3} \cdot U_\phi, \quad (11.6)$$

де  $U_\phi$  – визначають пристроями за трифазного живлення.

#### 11.4.4 Величина ковзання асинхронного двигуна

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100\%, \quad (11.7)$$

де  $n_1$  – синхронна частота обертання,  $n_1 = 1500$  об/хв.

#### 11.4.5 Зробити висновки з лабораторної роботи.

11.4.6 Підготуватися відповідати на запитання для захисту лабораторної роботи.

### **Запитання для захисту лабораторної роботи**

1 Чому з живленням асинхронного двигуна від однофазної мережі відсутній власний пусковий момент?

2 Які основні способи пуску застосовують в однофазних асинхронних двигунах?

3 Із яких причин коефіцієнт корисної дії однофазного асинхронного двигуна є нижчим порівняно з трифазним?

4 Який характер і значення струму, що протікає в обмотках однофазного асинхронного двигуна під час роботи?

5 Що називають еквівалентним ковзанням однофазного асинхронного двигуна?

6 Як саме можна змінити напрямок обертання ротора конденсаторного однофазного двигуна?

7 Які електричні схеми найчастіше використовують для ввімкнення трифазного асинхронного двигуна в однофазну мережу?

8 Який принцип дії однофазного конденсаторного асинхронного двигуна?

9 Яку роль відіграє конденсатор у створенні пускового та робочого моментів двигуна?

10 Чим відрізняються пусковий, робочий і пуско-робочий конденсатори?

11 Як впливає ємність конденсатора на пускові та робочі характеристики двигуна?

12 Які типи однофазних асинхронних двигунів розрізняють за способом пуску?

13 Чому в однофазному двигуні використовують допоміжну (пускову) обмотку?

14 Як формується оберতальне магнітне поле в конденсаторному двигуні?

15 Які втрати потужності є характерними для однофазного асинхронного двигуна?

16 Як змінюється ковзання однофазного двигуна зі зростанням навантаження?

17 Який вплив має несиметрія магнітного поля на роботу однофазного двигуна?

18 Як визначають пусковий момент однофазного асинхронного двигуна?

19 Чому однофазні асинхронні двигуни мають підвищений рівень вібрацій і шуму?

20 Які конструктивні особливості має ротор однофазного асинхронного двигуна?

21 Як впливає напруга живлення на робочі характеристики конденсаторного двигуна?

22 Які методи експериментального визначення коефіцієнта корисної дії однофазного двигуна застосовують у лабораторних умовах?

23 Чому пусковий струм однофазного асинхронного двигуна є більшим за номінальний?

24 Які режими роботи однофазного двигуна вважають недопустимими?

25 Які параметри двигуна можна визначити за результатами лабораторного експерименту?

26 Як впливає зміна навантаження на частоту обертання ротора?

27 Які переваги та недоліки мають однофазні конденсаторні двигуни порівняно з трифазними?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д. В. Ципленков, О. Б. Іванов, О. В. Бобров та ін. Дніпро: НТУ «ДП», 2020. 408 с.
- 2 Ковальов О. В. Електричні машини : курс лекцій. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. 175 с.
- 3 Видмиш А. А., Штуць А. А. Електричні машини: навч.-метод. посіб. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2019. Ч. I. 134 с.
- 4 Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори : навч. посіб. / за ред. В. І. Мілих. Харків: ФОП Панов А. М., 2017. 452 с.
- 5 Електричні машини і апарати : навч. посіб. / Ю. М. Куценко, В. Ф. Яковлев, В. М. Смуригін та ін. Київ: Аграрна освіта, 2013. 449 с.
- 6 Белікова Л. Я., Шевченко В. П. Електричні машини : навч. посіб. Одеса: Наука і техніка, 2012. 480 с.
- 7 Калиниченко С. П., Карпенко Н. П. Машини постійного струму: конспект лекцій. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Ч. 1. 70 с.
- 8 Яцун М. А. Електричні машини : підручник. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2011. 464 с.
- 9 Андрієнко В. М., Куєвда В. П. Електричні машини : навч. посіб. Київ: НУХТ, 2010. 366 с.
- 10 Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини : підручник. Київ: Знання, 2009. 399 с.
- 11 Кінаш А. Т. Електротехніка. Електричні машини : навч. посіб. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 152 с.
- 12 Півняк Г. Г., Шкрабець Ф. П., Довгань В. П. Електричні машини : навч. посіб. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. 331 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
для виконання лабораторних робіт

з освітньої компоненти  
*«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»*

Відповідальний за випуск Нерубацький В. П.

Редактор Ібрагімова Н. В.

---

Підписано до друку 12.01.2026 р.  
Умовн. друк. арк. 5,0. Тираж . Замовлення № .  
Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.