

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЧЕРНІГІВСЬКИЙ КОЛЕГІУМ» імені Т.Г.ШЕВЧЕНКА

Кафедра
технологічної освіти
та інформатики

М. ХОВРИЧ

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ
РОБІТ З КУРСУ**

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ЧАСТИНА 2

Чернігів
2018

УДК 621.3 (072)
ББК 32
Х 68

Рецензенти:

Торубара О.М., декан технологічного факультету, доктор педагогічних наук, професор кафедри професійної освіти та безпеки життєдіяльності Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка

Дятлов Ю.В., завідувач кафедри фізики та астрономії, кандидат історичних наук, доцент Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка

Ховрич М.О.

Х 68 «Електротехніка». Навчально-методичний посібник для підготовки бакалавра напрямку 014.10 Середня освіта (Трудове навчання та технології), 015.20, 015.21 Професійна освіта. Частина 2. – Чернігів: Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка, 2018. –79 с.

УДК 621.3 (072)
ББК 32

Рекомендовано до друку Вченою радою
технологічного факультету
Національного університету «Чернігівський колегіум»
імені Т.Г.Шевченка
(протокол №5 від 21 грудня 2018 року)

© М. О. Ховрич, 2018

ДАНІ ПРО СТУДЕНТА

(прізвище)

(ім'я)

(по-батькові)

(група)

Номер та назва лабораторної роботи	Дата виконання	Дата захисту	Бали	Підпис викладача
9. Вивчення трансформаторів.				
10. Дослідження однофазного трансформатора				
11. Вивчення однофазних двигунів				
12. Дослідження однофазного асинхронного двигуна з пусковою обмоткою				
13. Вивчення трифазних асинхронних двигунів				
14. Дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором				

ВИВЧЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Мета роботи: вивчити будову, технічні характеристики та галузі застосування одно- та трифазних трансформаторів. Навчитись з'єднувати трансформатори з сіткою та споживачами, однофазні трансформатори в трифазну групу.

Знати: будову, принцип дії трансформаторів.

Вміти: проводити розмітку виводів трансформаторів; визначати технічні параметри трансформаторів; однофазні трансформатори з'єднувати в трифазну групу.

Обладнання: 1. Однофазний трансформатор 220/36 В. 2. Три фазний трансформатор. 3. Вольтметри 0 – 50 В, 0 – 75 – 150 – 300 – 600 В – 2 шт. 4. Авометр.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Трансформатором називається статичний електромагнітний апарат, який перетворює змінний струм однієї напруги в змінний струм іншої напруги тої ж частоти.

Однією з важливих функцій трансформатора є його здатність перетворювати напругу, що створюють електричні генератори, в значно вищу напругу ліній електропередач. Це дає можливість передавати великі електричні потужності на далекі відстані без великих втрат потужності. Не менш важливою функцією трансформатора є можливість мати у виробництві та побуті різні значення напруги, хоча до трансформаторної підстанції й підводиться одна напруга (6, 10, 35 або 110 кВ).

Трансформатори класифікують так.

1. За кількістю фаз (однофазні – для трансформації однофазного струму та трифазні - для трансформації трифазного струму).

2. За способом охолодження (сухі, коли охолодження їх здійснюється повітрям навколишнього середовища, й масляні, в яких магнітопровід з обмотками занурюється в бак з трансформаторним маслом, яке відбирає від них тепло).

3. За вторинною напругою (підвищувальні, коли вторинна

напруга вища за первинну, й знижувальні, коли вторинна напруга нижча за первинну).

4. За кількістю обмоток (двохобмоткові, що мають по одній первинній та вторинній обмотці, а також багато обмоткові, що мають одну первинну і кілька вторинних обмоток).

5. За призначенням (силові та вимірювальні). До перших належать ті трансформатори, які живлять споживача незалежно від його навантаження, а до других – ті, що живлять електровимірювальні прилади чи кола релейного захисту й керування.

6. За типом магнітопроводу: стержньові, броньові, тороїдні.

Основними активними елементами трансформатора є його осердя (магнітопровід) і обмотки. Осердя трансформатора створює замкнене магнітне коло, що підсилює магнітний зв'язок обмоток. Його виготовляють з пластин електротехнічної сталі, яка має велику магнітну проникність і малі втрати. Пластини ізолювані одна від одної ізоляційним лаком (іноді папером). Товщина пластин 0,5 і 0,35мм для частоти 50 Гц, для вищих частот – 0,2 і 0,1 мм.

У малопотужних трансформаторах для радіоелектроніки та вимірювальних трансформаторах осердя іноді виготовляють з пермалою, що має дуже малі питомі втрати на перемагнічування.

Залежно від конструкції трансформатора або автотрансформатора осердя бувають різні за формою. Осердя стержньових

трансформаторів (рис.1) складаються із стержнів і ярем. На ярмах обмотку не розміщують. Площа перерізу ярма дорівнює площі перерізу стержня або більша від неї на 5-10% для зменшення магнітного опору

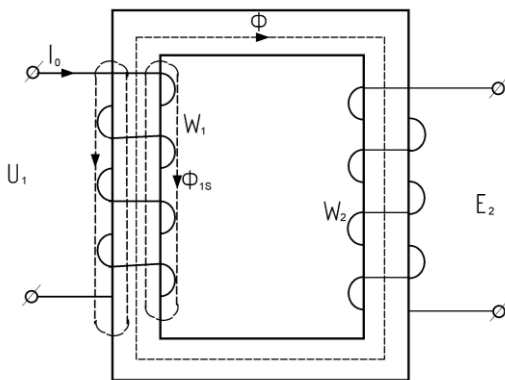


Рис. 1

магнітопроводу. Броньові трансформатори мають ярма, площа перерізу яких становить 50 або 55% площі перерізу стержня. Листи осердя стягують за допомогою шпильок і кутників, або швелерів, що з обох боків прилягають до верхнього і нижнього ярем, але ізольовані від осердя і між собою. Крім того, виготовляють кільцеві осердя, навиті із стрічки холоднокатаної сталі. Площу перерізу осердя розраховують за заданою потужністю.

Конструктивно найдоцільніше котушки обмоток виготовляти циліндричної форми з порожниною для розміщення осердя також циліндричної форми. Котушки обмоток виготовляють з дроту круглого або прямокутного перерізу, найчастіше ізольованого емаллю (марки ПЕ), бавовняними (паперовими) або скляними нитками (марок ПБО, ПБД, ПСО, ПСД), спеціальним кабельним папером та іншими ізоляційними матеріалами.

Кількість витків обмоток визначають залежно від величини низької і високої напруг, магнітної індукції та площі перерізу осердя. Поперечний переріз дроту визначають за величинами струму та питомої густини струму, відповідно до умов охолодження дроту. Трансформатори залежно від кількості обмоток бувають дво-, три- і багатообмотковими. Відповідно до системи струмів розрізняють одно-, три- і багатофазні трансформатори.

Під обмоткою багатофазного трансформатора розуміють сукупність усіх фазних обмоток однакової напруги, з'єднаних між собою за відповідною схемою. Та з обмоток трансформатора, до якої підводиться енергія змінного струму, називається первинною, а та від якої енергія відводиться, – вторинною.

Обмотка з вищою напругою на затискачах називається обмоткою високої напруги (**ВН**), з нижчою напругою – обмоткою низької напруги (**НН**). Якщо вторинна напруга більша за первинну, то трансформатор називають підвищувальним, а коли менша – знижувальним. Обмотку **НН** розміщують на ізольованому стержні, а обмотку **ВН** поверх неї концентрично відносно осердя.

Трансформатори мають своє маркування, яке складається з букв і цифр: перша буква *T* або *O* означає трифазний або однофазний, друга буква *M* або *C* – масляний або сухий, третя і четверта букви означають особливості конструкції; чисельник числового маркування означає потужність (кВА), знаменник – найвищу напругу (кВ). Наприклад, **TM 25/10** – трифазний з масляним охолодженням, потужністю 25 кВА на напругу 10 кВ; **TMH 1000/20** – те саме, але з регулюванням напруги під навантаженням (потужністю 1000 кВА на напругу 20 кВ).

Принцип дії трансформатора ґрунтується на законі електромагнітної індукції. Якщо первинну обмотку трансформатора приєднати до джерела з синусоїдною напругою U то в ній виникає змінний струм I . Цей струм створює робочий магнітний потік $\vec{\Phi}$, який замикається по магнітопроводу, і потік розсіювання $\vec{\Phi}_{d1}$, замкнений навколо витків обмотки. Змінний за часом магнітний потік збуджує в первинній обмотці е. р. с. індукції \vec{E}_1 , а у вторинній обмотці – е. р. с. взаємодіючої індукції \vec{E}_2 : $\vec{E}_2 : \vec{E}_1 = 4,44 f w_1 \vec{\Phi}_m$; $\vec{E}_2 = 4,44 f w_2 \vec{\Phi}_m$, де f – частота; w_1 і w_2 – число витків первинної і вторинної обмоток. Магнітний потік розсіювання $\vec{\Phi}_{d1}$, пропорційний струмові в обмотці, збуджує в ній е.р.с. самоіндукції $\vec{E}_{1d} = 4,44 f w_2 \vec{\Phi}_{1d} = \vec{I}_1 X_1$, де опір X_1 можна розглядати як індуктивний опір обмотки зумовлений розсіюванням магнітного потоку. Для кола первинної обмотки, за другим законом Кірхгофа, можна записати: $\vec{U}_1 = -\vec{E}_1 + \vec{I}_0 X_1 + \vec{I}_0 R_1$.

Для трансформування трифазного струму використовують трифазну групу (рис. 2,а), яка складається з трьох однофазних трансформаторів, або найчастіше – трифазні тристержневі трансформатори (рис. 2, б), в яких Ш-подібне осердя має три стержні з первинною і вторинною обмотками на кожному.

Обмотки мають стандартне позначення: в обмотках вищої напруги початок – *A, B, C*, кінці – *X, Y, Z*; в обмотках нижчої напруги відповідно – *a, b, c* і *x, y, z*.

Первинні обмотки з'єднують незалежно від вторинних зіркою або трикутником. Внаслідок цього відношення лінійних напруг залежить не тільки від відношення числа витків (коефіцієнта трансформації), а й від способу з'єднання їх.

На щитку трансформатора зазначають основні номінальні величини, за якими визначають можливість і режим використання його, а саме: лінійні напруги; лінійні струми; повну потужність; частоту; число фаз; схему і групу з'єднання; режим роботи (тривалий або короточасний); спосіб охолодження; масу.

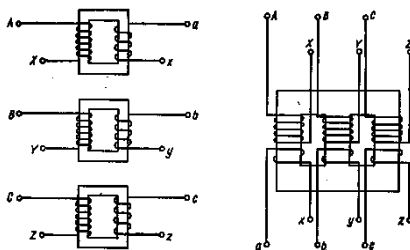


Рис. 2а

26

Крім того, в довідниках вказуються: втрати у сталі і в обмотках при номінальному навантаженні, струм холостого ходу у відсотках від $\vec{I}_{ном}$, напруга короткого замикання у відсотках від $\vec{U}_{ном}$.

Більш докладну інформацію про будову, принцип дії і процеси, що відбуваються у трансформаторі можна отримати у наведеній літературі.

САМОСТІЙНА ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Вивчити способи одержання схем з'єднань трансформаторів та методи розмітки виводів.
2. Відповісти письмово на одне (згідно варіанту) із контрольних запитань.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з вимірювальними приладами та обладнанням, яке використовується в роботі, записати до протоколу їх паспортні дані. Технічні характеристики

трансформаторів записати поруч з їх електричною схемою виконаною згідно ГОСТ, та вивчити їх будову.

2. Визначити кількість витків одного однофазних трансформаторів (за вказівкою викладача) методом додаткової обмотки. Для цього скласти схему згідно рис. 3. Порахуйте кількість витків обмотки W_0 та виміряйте напруги U_1 , U_2 та U_0 . З рівняння

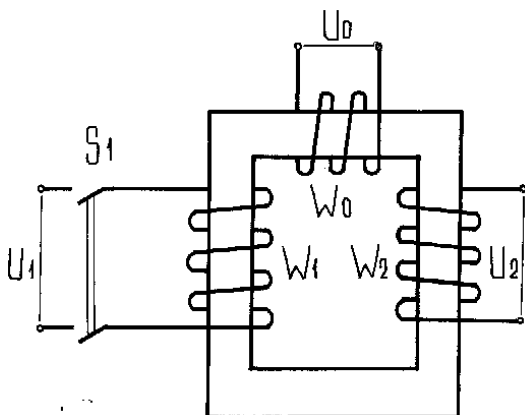


Рис. 3.

$\frac{U_1}{U_0} = \frac{W_1}{W_0}$ знаходять W_1 , а з

рівняння

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

знаходять W_2 . Дані дослідження запишіть до таблиці 1.

3. Визначити початки A і кінці X виводів обмоток однофазних трансформаторів, призначених для створення трифазної групи. Для цього зберіть схему рис. 4.

Виміряйте напругу U та U' . Коли $U > U'$, то обмотки з'єднано зустрічно,

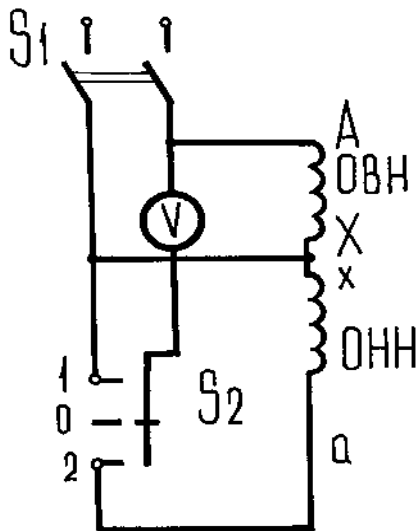


Рис. 4. Схема для визначення початків та кінців обмоток

якщо $U < U'$ – обмотки з'єднано послідовно. Інтерпретацію результату показано на рис. 5. Результати записати до таблиці 2.

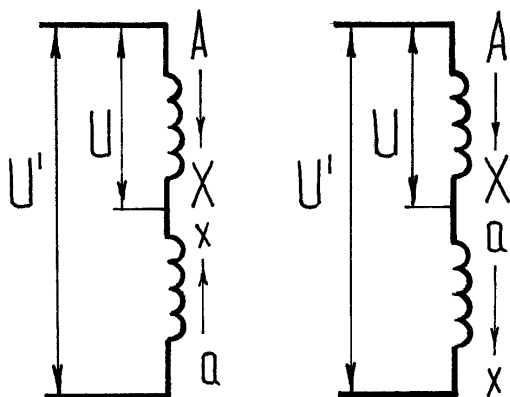


Рис. 5. Інтерпретація результатів вимірювання.

4. З'єднати обмотки трифазної групи в схемі з'єднань, указані в табл. 3. та виміряти лінійні і фазні напруги на затискачах обмоток **ВН** та **НН**. Для цього трифазні групи приєднати до сітки з напругою **380/220 В**. Одержані результати занести в табл.3.

5. Перевірити розмітку початків і кінців виводів трифазного стержньового трансформатора, з'єданого по схемі. Для цього до фази, обмотки якої знаходяться на середньому стержні, підводять до обмотки **ВН** відповідно напругу змінного струму (рис. 6). Якщо розмітка вірна, то на двох інших обмотках напруга буде в 1,5 раз більша. Якщо розмітка невірна, то розмітити правильно та підключити трансформатор до сітки на відповідну напругу.

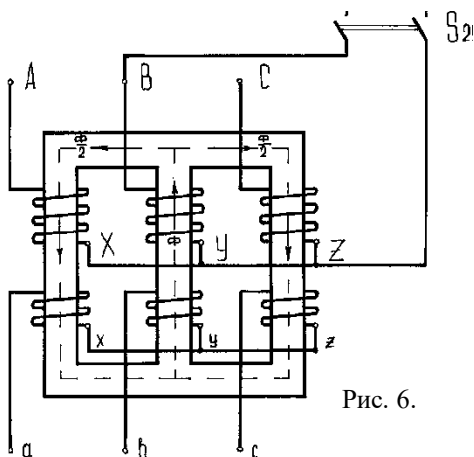


Рис. 6.

Виміряти лінійні та фазні напруги первинної та вторинної обмоток. Результати занести до таблиці 4.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Назвіть основні частини трансформатора та їх призначення.
2. Поясніть спосіб визначення кількості витків обмоток трансформатора методом додаткової обмотки.
3. Як позначають виводи однофазних та трифазних трансформаторів та як їх розміщують на клемній платі?
4. Як за зовнішніми ознаками та за допомогою вольтметра визначити обмотки вищої та нижчої напруги?
5. Поясніть метод розмітки виводів однофазних трансформаторів.
6. Поясніть метод розмітки та перевірки розмітки виводів трифазних трансформаторів.
7. Дати визначення трансформатора. Необхідність і галузі застосування трансформаторів.
8. Назвіть особливості, переваги та недоліки трифазних груп і трифазних стержньових трансформаторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Загальна електротехніка /В.А.Вартабедян – 4-е вид., перероб. и доп. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1986. – С. 20-37.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат. 1983. – С. 73-84.
3. Электротехника /А.П. Трегуб; Под ред. Э.В. Кузнецова. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – С. 102-127.
4. Общая электротехника: Учеб пособие для вузов / Под ред. д-ра техн. наук А.Т. Блажкина; 4-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинград. отд-ние, 1986. – С. 66-86.
5. Волынский Б.А. и др. Электротехника / Б.А. Волынский, Е.Н. Зейн, В.Е. Шатерников: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 78.

ЗВІТ ДО РОБОТИ

1. Накресліть та проаналізуйте векторну діаграму трансформатора при активно-індуктивному навантаженні.

2. Дані вимірювань та розрахунку кількості витків трансформатора занесіть до таблиці 1.

Табл. 1

Виміряно				Обчислено	
W_0	U_0	U_1	U_2	W_1	W_2

3. Результати визначення початків та кінців обмоток трансформатора.

Табл.2

Виміряно		Результат
U_1	U^I	

4. Дані вимірювань напруг у трифазній групі у відповідності до даних дослідження.

Табл. 3

Схема з'єднань	Виміряно											Обчислено		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_A	U_B	U_C	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_a	U_b	U_c	$U_{л1}/U_{л2}$	$U_{\phi 1}/U_{\phi 2}$

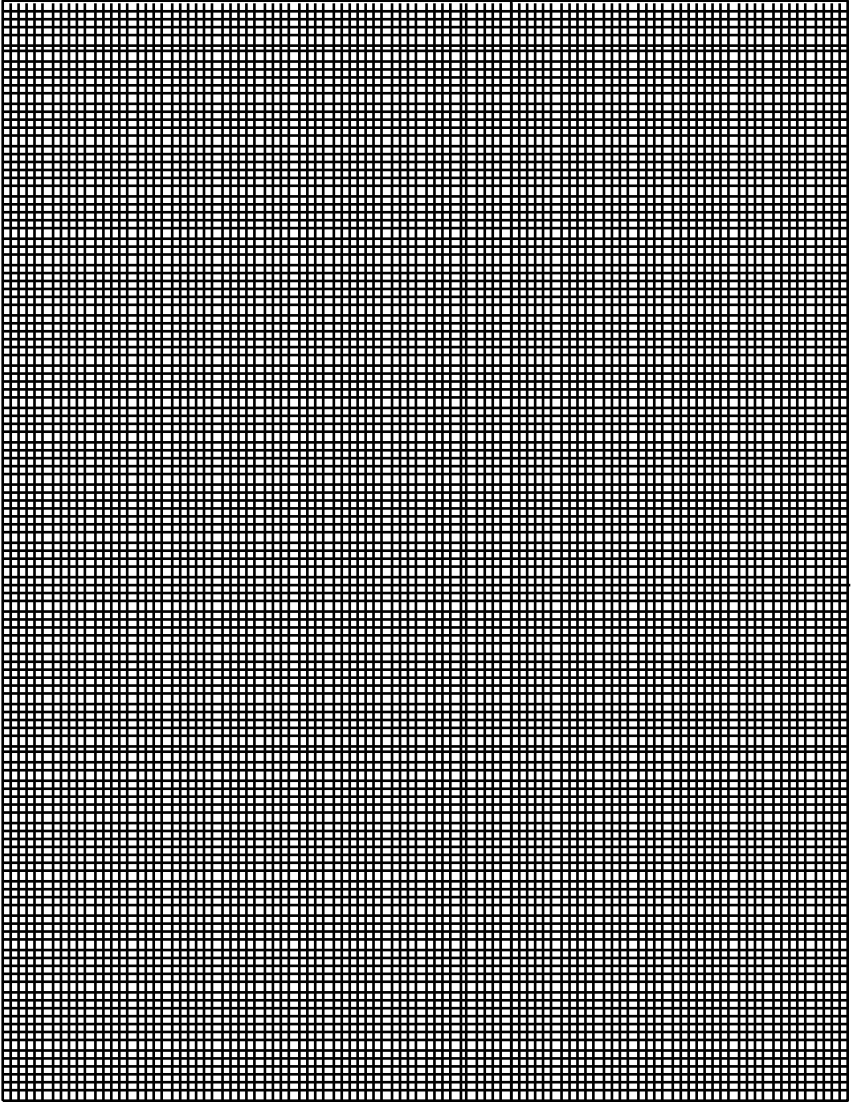
5. Дані вимірювань, проведених згідно пункту 5.

Табл.4

Тип трансформатора	Виміряно											Обчислено		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_A	U_B	U_C	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_a	U_b	U_c	$U_{л1}/U_{л2}$	$U_{ф1}/U_{ф2}$

6. Проаналізувати результати роботи та зробити висновки.

ВЕКТОРНА ДІАГРАМА



РОЗРАХУНКИ ТА ВИСНОВКИ

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: дослідити режими холостого ходу, навантаження і короткого замикання трансформатора.

Знати: основи теорії трансформатора.

Вміти: проводити дослідження різних режимів роботи трансформатора, дослідним шляхом визначити основні параметри трансформатора.

Обладнання: 1. Трансформатор однофазний потужністю 0,5-0,75 кВА. 2. Вольтметри електромагнітної системи на напругу 0-150-300 В і 0-30-75-150 В. 3. Амперметри електромагнітної системи на струм 0-2,5-5 А - 2 шт. 4. ЛАТР-9. 5. Ватметр на струм 2,5-5 А і напругу 300В.6. Реостати повзункові на струм навантаження трансформатора.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

У режимі холостого ходу трансформатора прикладена до первинної обмотки напруга U_1 створює намагнічуючу силу $I_0\omega_1$, внаслідок чого виникають робочий магнітний потік Φ , який замикається по магнітопроводу, і потік розсіювання Φ_{ls} , замкнений навколо витків обмотки. Змінний за часом магнітний потік Φ збуджує в первинній обмотці е.р.с. індукції E_1 , а у вторинній обмотці – е.р.с. взаємоіндукції E_2 .

Для кола первинної обмотки, за другим законом Кірхгофа, можна записати рівняння у векторній формі

$$\vec{U}_1 = -\vec{E}_1 + \vec{I}_0 R_1 + \vec{I}_0 X_1$$

Струм холостого ходу трансформатора I_0 становить 3-6% від номінального. Повний спад напруги у режимі холостого ходу не перевищує 0,25%, а різниця між прикладеною напругою U_1 і е.р.с. E_1 настільки мала, що нею можна нехтувати і вважати, що виміряна напруга на затискачах первинної обмотки дорівнює е.р.с. E_1 . Із дослідів холостого ходу знаходять

трансформації

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad \text{коефіцієнт}$$

Режим навантаження трансформатора є основним робочим режимом, при якому вторинну обмотку його замкнено через загальний опір Z електроприймачів, під'єднаних до вторинної обмотки. Під дією е.р.с. E_2 у замкненому колі проходить струм навантаження трансформатора I_2 , який утворює намагнічуючу силу $I_2 w_2$ і магнітні потоки Φ_2 і Φ_{2s} .

Магнітний потік Φ_2 зумовлює зменшення потоку Φ та E_1 , а струм живлення у первинній обмотці зростає від I_0 до I_1 , що відновлює величину магнітного потоку Φ і е.р.с. E_1 до практично попередньої величини, якщо не враховувати спад напруги в первинній обмотці при збільшенні навантаження.

Величина струму первинної обмотки трансформатора при навантаженні буде визначатись наступним чином:

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + (-\vec{I}_2).$$

Відповідно до другого закону Кірхгофа для первинної і вторинної обмоток навантаженого трансформатора можна записати рівняння

$$\vec{U}_1 = -\vec{E}_1 + \vec{I}_1 R_1 + \vec{I}_1 X_{d1}; \quad \vec{U}_2 = \vec{E}_2 - \vec{I}_2 R_2 - \vec{I}_2 X_{d2}.$$

Всі процеси, що відбуваються у трансформаторі, доцільно вивчати за векторними діаграмами трансформатора в режимі холостого струму (рис. 1а) та навантаження (рис. 1 б) та схемою заміщення (рис. 2).

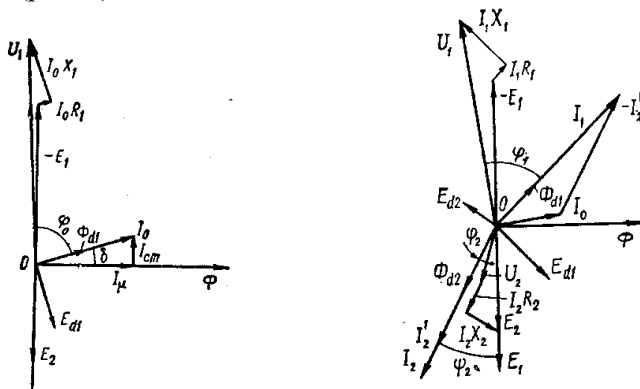


Рис. 1. Векторна діаграма трансформатора в режимі холостого ходу та навантаження.

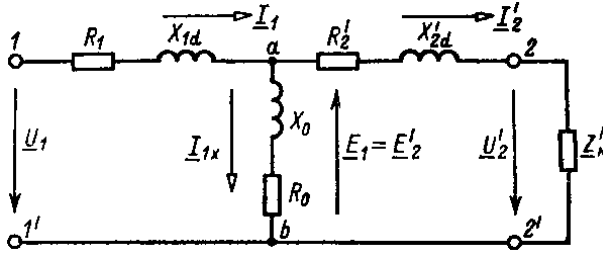


Рис. 2. Схема заміщення трансформатора

Залежність напруги на затискачах вторинної обмотки U_2 від сили струму I_2 навантаження трансформатора при сталих $\cos \varphi_2$ частоті f і прикладеній напрузі U_1 називають зовнішньою характеристикою трансформатора (рис. 3). Робочими характеристиками є залежності $I_1, \eta, \cos \varphi_1 = f(I_2)$.

Друга величина, яка характеризує роботу трансформатора, – к.к.д. Його можна визначити методом навантаження, вимірявши потужність у колі первинної обмотки P_1 і в колі вторинної P_2 : $\eta = P_2/P_1$ (рис. 4).

На практиці для визначення к. к. д. користуються дослідями холостого ходу і короткого замикання.

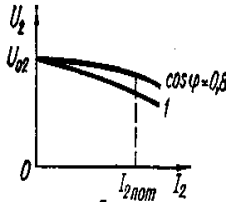
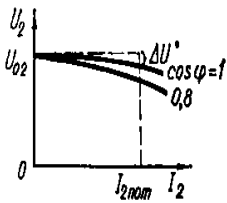


Рис. 3 Зовнішня характеристика трансформатора

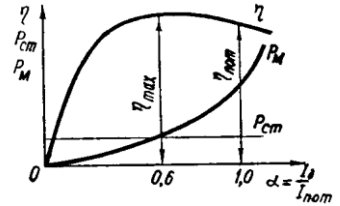


Рис. 4. Втрати і к.к.д. трансформатора залежно від навантаження

САМОСТІЙНА ПІДГОТОВКА
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. По літературі до лабораторної роботи вивчити основи теорії трансформатора.

2. Ознайомитись з порядком виконання роботи та проаналізувати дослідні схеми.

3. Розрахуйте невідомі параметри однофазного трансформатора відповідно до свого варіанту (таблиця 1).

Табл. 1

Пара-метр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$S, \text{кВт}$	10	15	20	25	30	50	75	100	135	180
$U_1, \text{кВ}$	6,3	10	6,3	6,3	10	6,3	10	6,3	10	6,3
$U_2, \text{В}$	230	400	230	230	525	230	400	230	400	230
$P_0, \%$	30	25	22	25	30	20	25	30	10	22
$P_{\kappa}, \%$	10	8	6	10	5	10	8	10	5	10
$\text{Cos}\varphi_2$	0,85	0,8	0,85	0,8	0,85	0,8	0,85	0,85	0,8	0,85
?	I_1, I_2	I_1, η	I_1, I_2	η, I_2	I_1, η	η, I_2	I_1, η	I_1, I_2	η, I_2	I_1, I_2

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з вимірювальними приладами та обладнанням, яке використовується в роботі, записати до протоколу їх паспортні дані.

2. Скласти схему (рис. 5), повзунок автотрансформатора встановити на нуль, вимикач $B2$ у вторинній обмотці розімкнути, опір навантаження R_H встановити на максимальне значення.

3. Після перевірки схеми викладачем подати напругу на автотрансформатор. За допомогою автотрансформатора встановити номінальну напругу на затискачах первинної обмотки трансформатора. Провести вимірювання в колі трансформатора в режимі холостого ходу. Результати занести до

таблиці 2.

4. Замкнути вимикач **B2**. Змінюючи навантаження у вторинному колі від **0,1** до **1,2 $I_{ном1}$** або від **0,1** до **$I_{ном2}$** , 8-10 разів виміряти величини струмів **I_1** , **I_2** , потужності **P_1** , напруги **U_2** , підтримуючи напругу **U_1** на затискачах первинної обмотки сталою. Результати вимірювань занести до таблиці 2.

5. Проробити дослід короткого замикання трансформатора. Для цього в схемі (рис. 5) повзунок автотрансформатора встановити на **нуль**, а затискачі вторинної обмотки замкнути провідником накоротко. Подавши напругу на автотрансформатор, обережно підвищувати напругу автотрансформатором і уважно стежити за величиною струму в колі. **Встановити напругу, при якій струм у первинному колі дорівнюватиме $I_{ном1}$** . У цьому режимі виміряти напругу **$U_{1к}$** , струм **$I_{1к}$** і потужність **$P_{1к}$** . Результати вимірювань занести до таблиці 3.

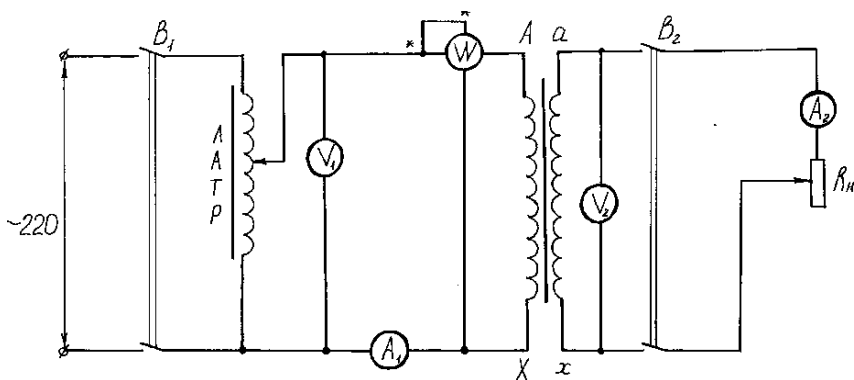


Рис. 5. Схема дослідження однофазного трансформатора

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Чим відрізняється режим холостого ходу трансформатора від режиму навантаження?

2. Пояснити автоматичне регулювання струму в первинній обмотці трансформатора залежно від струму навантаження вторинної обмотки.

3. Чим відрізняється дослідний режим короткого замикання від аварійного режиму короткого замикання трансформатора?

4. Чому в дослідному режимі короткого замикання обмотки трансформатора нагріваються, а сталь магнітопроводу – холодна; у режимі холостого ходу магнітопровід нагрівається, а обмотки холодні?

5. Чи змінюється за величиною магнітний потік в осерді трансформатора при зміні навантаження та при переході з режиму номінального навантаження в режим короткого замикання?

6. Які втрати потужності має навантажений трансформатор?

7. Чим зумовлена втрата напруги в трансформаторі та за якою формулою вона обчислюється?

8. Чому первинну і вторинну обмотки трансформатора розміщують на одному стержні або рівномірно розподіляють між стержнями в однофазних трансформаторах?

ЛІТЕРАТУРА

1. Загальна електротехніка / В.А.Вартабедян – 4-е вид., перероб. и доп. – К. : Вища шк. Головне вид-во, 1986. – С. 99-110.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат. 1983. – С.175-187.
3. Электротехника /А.П. Трегуб; Под ред. Э.В. Кузнецова. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – С. 309-324.
4. Общая электротехника: Учеб пособие для вузов / Под ред. д-ра техн. наук А.Т. Блажкина; 4-е изд. перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, Ленинград. отд-ние, 1986. – С. 265-283.
5. Вольнский Б.А. и др. Электротехника /Б.А. Вольнский, Е.Н. Зейн, В.Е. Шатерников: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 299-325.
6. Борисов Ю.М. Липатов Д.Н. Общая электротехника. Учеб. пособие для вузов. М., “Высшая школа”, 1974. – С. 306-330.

ЗВІТ ДО РОБОТИ

1. Результати вимірювань режиму холостого ходу та робочого режиму трансформатора занесіть до таблиці 2.

Табл. 2

№		Виміряно						Обчислено	
		U_1, B	I_1, A	$P_1, Вт$	U_2, B	I_2, A	$P_2, Вт$	$\cos\varphi_1$	$\eta, \%$
1	Холостий хід								
2	Режим навантаження								
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

2. За даними табл. 2 (режим холостого ходу) обчислити коефіцієнт трансформації трансформатора:

$$k = \frac{U_{1xx}}{U_{2xx}}$$

Для режиму навантаження трансформатора обчислити величини, вказані в таблиці:.

$$P_2 = U_2 * I_2; \cos\varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 * I_1}; \eta = \frac{P_1}{P_2} * 100\%$$

За результатами вимірювань і обчислень побудувати графіки в одній системі координат:

$$U_2 = f(I_2), I_1 = f(I_2), \eta = f(I_2), P_1 = f(I_2), \cos \varphi_1 = f(I_2).$$

3. Знайти відносну величину зміни напруги трансформатора при зміні навантаження від 0 до $I_{2ном}$:

$$\alpha = \frac{U_{xx} - U_{2ном}}{U_{2ном}} * 100\%$$

4. Дані досліді короткого замикання занести до таблиці 3.

Табл. 3

№	Виміряно			Обчислено				
	$U_{1к}, В$	$I_{1к}, А$	$P_{1к}, Вт$	$Z_{к1}, \Omega$ <i>М</i>	$R_{к1}, \Omega$ <i>М</i>	$X_{к1}, \Omega$ <i>М</i>	$I_{2к}, А$	$\cos \varphi_k$

5. За даними таблиці 3 знайти:

а) повний опір короткого замикання трансформатора, зведений до витків первинної обмотки, $Z_{k1} = \frac{U_{1k}}{I_{1k}}$.

б) активний опір короткого замикання трансформатора, зведений до витків первинної обмотки, $R_{k1} = \frac{P_{1k}}{I_{1k}^2}$;

в) реактивний опір короткого замикання трансформатора зведений до витків первинної обмотки

$$X_{k1} = \sqrt{Z_{k1}^2 - R_{k1}^2}$$

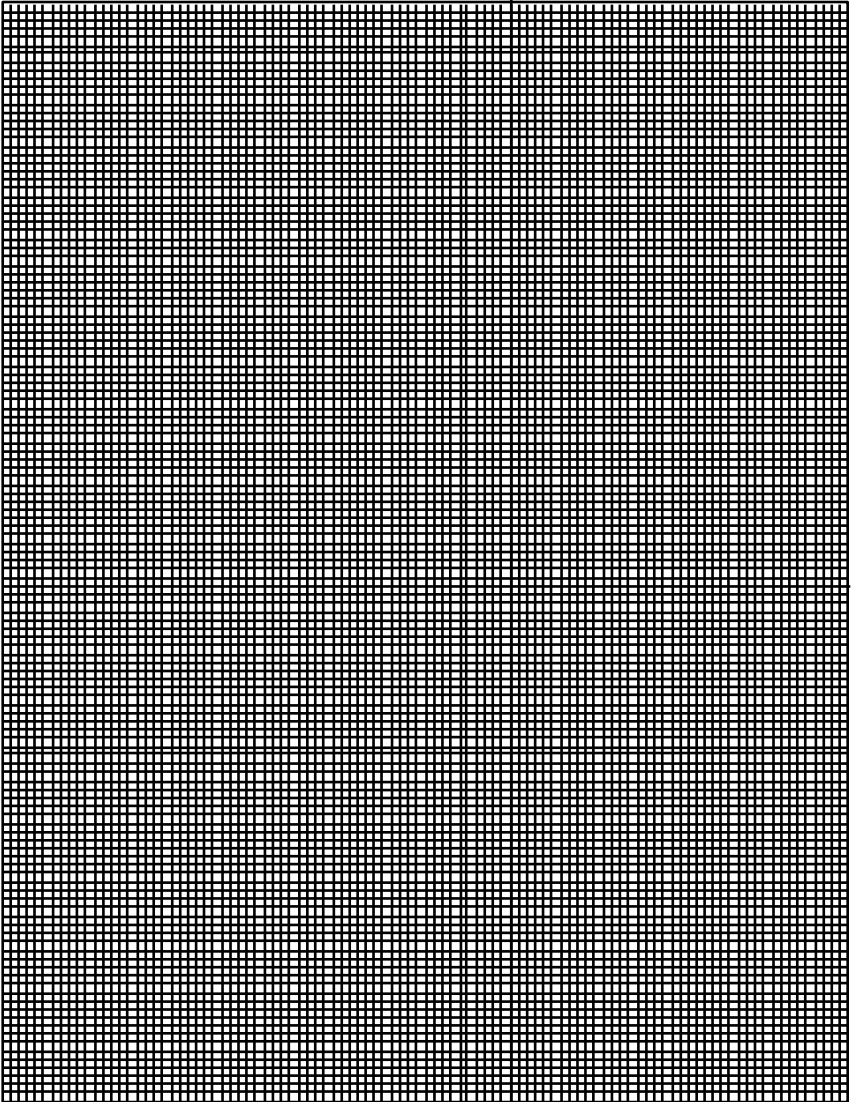
г) струм короткого замикання у вторинній обмотці $I_{2к} = I_{1к} k$; коефіцієнт потужності в режимі короткого замикання

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{S_k} = \frac{R_{k1}}{Z_{k1}}. \text{ Одержані результати занести до таблиці 3.}$$

6. Проаналізувати результати роботи та зробити висновки.

ГРАФИКИ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

$$U_2 = f(I_2), I_1 = f(I_2), \eta = f(I_2), P_1 = f(I_2), \cos \varphi_1 = f(I_2).$$



РОЗРАХУНКИ ТА ВИСНОВКИ

ВИВЧЕННЯ ОДНОФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Мета роботи. Вивчити будову, принцип дії, технічні характеристики та галузі застосування однофазних асинхронних двигунів змінного струму. Освоїти способи пуску в хід та реверсування однофазних асинхронних двигунів.

Знати: будову, принцип дії, технічні характеристики, способи підключення однофазних асинхронних двигунів змінного струму до мережі.

Вміти: визначати обмотки статора асинхронних двигунів змінного струму та підключати двигуни до мережі різними способами.

Обладнання: 1. Однофазні асинхронні двигуни змінного струму різних типів у розібраному стані. 2. Однофазний асинхронний двигун з відцентровим реле. 3. Вольтметр електромагнітної системи на напругу 250В. 4. Амперметр електромагнітної системи на струм 0-5А. 5. Струмове електромагнітне реле. 6. Міст типу ММЗ для вимірювання опорів обмоток.

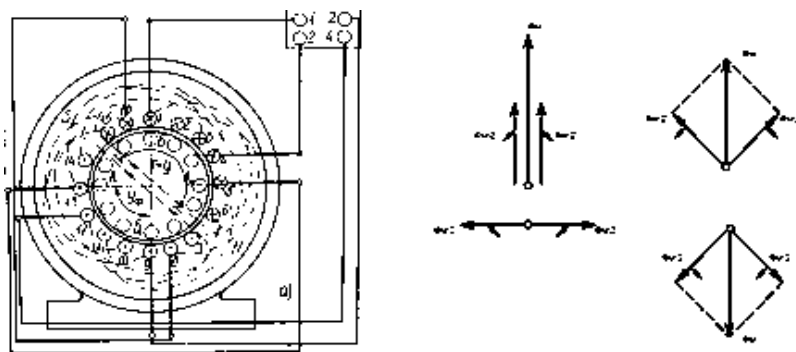
КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Однофазні асинхронні двигуни останнім часом стали широко застосовуватися в побутових приладах (електропрогравачі, холодильники, пральні машини), медичній апаратурі, невеликих вентиляторах і в деяких інших випадках.

Оскільки техніко-економічні показники цих двигунів нижчі від трифазних, промисловість випускає їх тільки невеликої потужності: від 1 Вт і більше (серія У АД), до 400 Вт (серія АВЕ), до 600 Вт (серія АОЛБ). Більшої потужності, ніж 2 кВт, ці двигуни не виготовляються. На рис. 1, а показано будову однофазного асинхронного двигуна. Він складається зі статора з пазами, виготовленого з листової електротехнічної сталі. В пази закладається однофазна обмотка. Ротор короткозамкнений.

При проходженні через обмотку статора однофазного струму виникає пульсуючий магнітний потік Φ_m (його лінії зображено на рис. 1, а). Цей потік можна розкласти на два потоки $\Phi_m/2$, що

обертаються в різні боки (рис. 1, б).



а) будова двигуна

б) векторні потоки

Рис. 1. Будова та принцип дії двигуна

Порівнюючи між собою окремі діаграми на рис. 1, б, можна побачити, що в довільний момент часу два обертові магнітні потоки $\Phi_{M/2}$ створюють пульсуючий магнітний потік Φ_M , нерухомий в просторі, який має свої додатні та від'ємні максимуми, а також нульові значення.

Магнітні потоки $\Phi_{M/2}$, що обертаються в різних напрямках, індукують в обмотці ротора струми, які, взаємодіючи з цими потоками, створюють два обертаючих моменти однакового значення, спрямовані назустріч один одному. Внаслідок цього сумарний обертаючий момент (пусковий) дорівнюватиме нулю, і ротор двигуна буде нерухомим. Якщо за допомогою якоїсь сторонньої сили дати поштовх ротору в певному напрямі, то обертовий магнітний потік, який має той же напрям обертання, що й спричинений поштовхом напрям обертання ротора, створить момент, який обертатиме ротор теж у цьому напрямі. Він буде відносно значним. Це пояснюється тим, що частота струму в обмотці ротора, спричинена цим потоком, буде відносно мала і визначатиметься різницею частот обертання магнітного потоку й ротора. Отже, індуктивний опір ротора також буде відносно малим, тому струм в обмотці ротора і обертаючий момент двигуна - відносно великими.

У той же час другий обертовий магнітний потік індукуватиме в обмотці ротора струм вищої частоти, ніж перший, бо він залежить від сумарної частоти обертання цього магнітного потоку й ротора (магнітний потік і ротор обертаються в різних напрямках). Індуктивний опір ротора стане великим, а струм в його обмотці та обертаючий момент двигуна, створений цим потоком, будуть дуже малі. Внаслідок цього ротор обертається в напрямі його поштовху й нестиме корисне навантаження.

В залежності від способу пуску однофазні асинхронні двигуни поділяють на три типи: однофазний асинхронний двигун з пусковою обмоткою, конденсаторний двигун, двигун з розщепленими екранованими полюсами.

Однофазні асинхронні двигуни з пусковою обмоткою.

Отже, основним недоліком однофазного асинхронного двигуна є відсутність пускового моменту. Для самостійного пуску однофазного двигуна треба, щоб магнітне поле статора (хоч би на короткий час) стало обертовим. Це практично досягається при наявності в статорі, крім основної робочої обмотки L_p , ще допоміжної пускової обмотки L_n , вісь якої зміщена в просторі відносно осі робочої обмотки на кут 90° . При живленні від однофазної мережі струми в обмотках двигуна I_p і I_n повинні бути зсунуті по фазі один відносно одного у часі на кут 90° або близький до нього. Конструктивно в статорі однофазного двигуна $2/3$ пазів займає робоча обмотка, $1/3$ – пускова. Оскільки обидві обмотки двигуна включаються в одну і ту ж мережу (паралельно), для отримання необхідного зсуву струмів по фазі в коло пускової обмотки вводиться фазозсуваючий елемент – активний індуктивний або ємнісний опір (рис. 2).

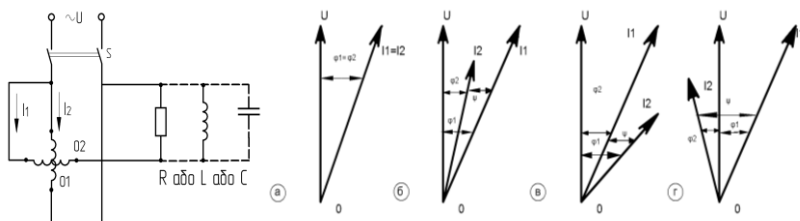


Рис. 2: а) схеми вмикання; б) векторна діаграма при відсутності фазозсуваючого елемента; в) з активним опором; г) з індуктивністю; д) з ємністю

Після пуску двигуна пускова обмотка відключається від мережі автоматично з допомогою відцентрового вимикача, реле струму або вручну кнопковим вимикачем.

Для реверсування однофазного асинхронного двигуна з пусковою обмоткою необхідно змінити напрям струму в робочій або пусковій обмотці статора. У цьому випадку результуюче поле машини, що захоплює за собою ротор, буде обертатися у зворотному напрямку. Найкращі пускові властивості мають однофазні двигуни з використанням в колі пускової обмотки конденсатора. Промисловість виготовляє двигуни з конденсаторним пуском єдиної серії 4ААУ (4ААХУ) потужністю 90-550 Вт.

Конденсаторний асинхронний двигун. Цей двигун відрізняється від однофазного асинхронного з конденсаторним пуском тим, що після пуску пускова обмотка з конденсатором не відключається - вона розрахована на тривале включення. У цьому випадку пускова і робоча обмотки в статорі двигуна займають однакове число пазів. Двигун працює з обертовим магнітним полем і тому по своїх властивостях наближається до трифазного асинхронного двигуна. Щоб збільшити пусковий момент конденсаторного двигуна, паралельно робочому конденсатору включають ще на час пуску конденсатор великої ємності.

Однофазний асинхронний двигун з розщепленими екранованими полюсами. Двигун складається з явнополюсного статора (мал. 3 а) і короткозамкненого ротора із стержнями, установленими паралельно валу. Для створення обертового поля кожний з полюсів статора двигуна розчленовується поздовжнім пазом на дві частини, менша з яких охоплюється мідним короткозамкненим витком.

При включенні двигуна в мережу синусоїдальний струм в обмотці полюсної котушки збуджує пульсуюче магнітне поле з магнітною індукцією B . Більша частина силових ліній поля в магнітопроводі двигуна проходить по більшій частині полюса, інша пульсує в меншій його частині. Остання зчеплена з пусковим короткозамкненим витком і індукує в ньому е.р.с. E_k , що відстає по фазі від потоку, що її створив, на 90° . Ця е.р.с. створює у витку струм I_k , що збуджує своє пульсуюче магнітне

поле. Це поле, відповідно до закону Ленца, буде перешкоджати зміні основного поля в меншій частині полюса, тобто буде створювати екрануючу дію струму короткозамкненого витка. Періодичні зміни результуючого поля в екранованій частині полюса стосовно змін поля в його неекранованій частині відбуваються із запізнюванням у часі на деякий кут, менший 90° , що залежить від полів, створюваних обмоткою статора й витком (рис. 3 б, в).

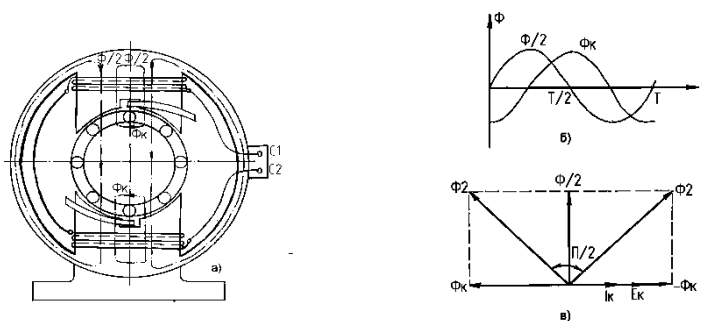


Рис. 3: а) двигун з розщепленими полюсами;
 б) векторні діаграми магнітних потоків

Осі цих полів зміщені в просторі на деякий кут, у результаті чого утвориться обертове пульсуюче магнітне поле, що діє і в повітряному зазорі магнітопроводу. Це поле, взаємодіючи зі струмом ротора, створює невеликий обертаючий момент двигуна. Для збільшення пускового моменту пульсацію поля згладжують шляхом зменшення різниці полів (зменшують поле більшої частини полюса, збільшуючи повітряний зазор під неекранованою частиною полюса), або підсилюють поле під екранованою частиною полюса за допомогою магнітних шунтів у вигляді сталевих пластин між полюсними наконечниками). Двигуни мають малі $\cos \varphi$ (0,4-0,6) і к.к.д. (0,25-0,4) через більші втрати в короткозамкненому витку. Їхня перевага – простота конструкції й надійність у роботі. Нереверсивні однофазні асинхронні двигуни з розщепленими полюсами (ротор обертається в напрямку від нерозщепленої частини полюса до розщепленої) широко застосовуються в приводах, що не

вимагають великого пускового моменту (приводи дрібних верстатів, магнітофонів, електрофонів, настільних вентиляторів і ін.).

САМОСТІЙНА ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. По літературі до лабораторної роботи вивчити будову, принцип дії, технічні характеристики та галузі застосування однофазних асинхронних двигунів змінного струму.

2. По інструкції до лабораторної роботи ознайомитись з порядком виконання роботи та проаналізувати схеми.

3. Коротко письмово відповісти на одне з питань для перевірки, що приведені в кінці лабораторної роботи. Номер питання приймається за останньою цифрою залікової книжки.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з вимірювальними приладами та обладнанням, яке використовується в роботі, записати до протоколу їх паспортні дані.

2. Вивчити роботу однофазних асинхронних двигунів: конденсаторного, з пусковою обмоткою, з розщепленими полюсами. Звернути увагу на будову магнітного кола машини, розміщення обмоток статора в пазах та з'єднання їх секцій.

3. Виміряти активний R та повний опір Z робочої та пускової обмоток двигуна, записати дані до таблиці 1.

Активний опір виміряти містком, а повний – методом вольтметра-амперметра (рис. 4).

4. Навчитись пускати в хід і реверсувати однофазні асинхронні двигуни з пусковою обмоткою. Для цього з'єднати

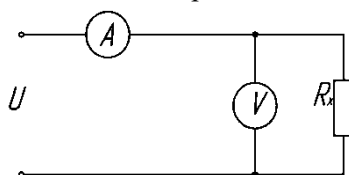


Рис. 4. Схема вимірювання опору методом вольтметра-амперметра

двигун з однофазною мережею згідно схеми рис.5 а. Після перевірки схеми викладачем запустити двигун.

5. Освоїти метод реверсування двигуна. Зберіть схему рис. 5 б, запустіть двигун та зверніть увагу на напрям обертання вала двигуна (вал повинен обертатись у зворотньому напрямку).

6. Освоїти способи автоматичного пуску однофазного асинхронного двигуна з пусковою обмоткою за допомогою відцентрового реле.(схема рис.6 а) та за допомогою струмового реле (рис. 6 б). Включати тільки після перевірки схеми викладачем або лаборантом.

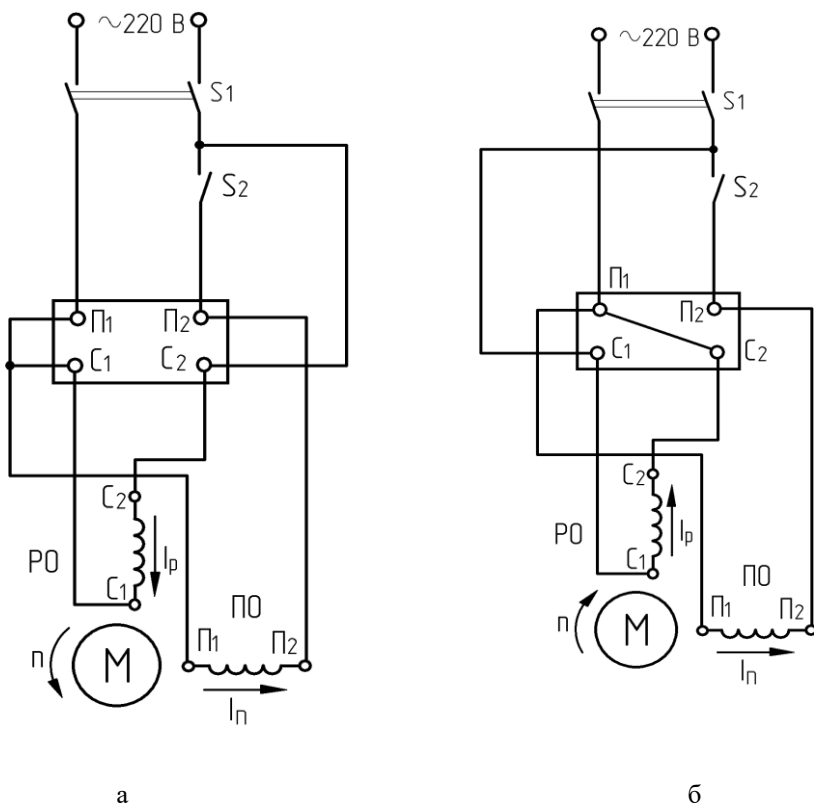


Рис 5. Схема пуску та реверсування двигуна з пусковою обмоткою

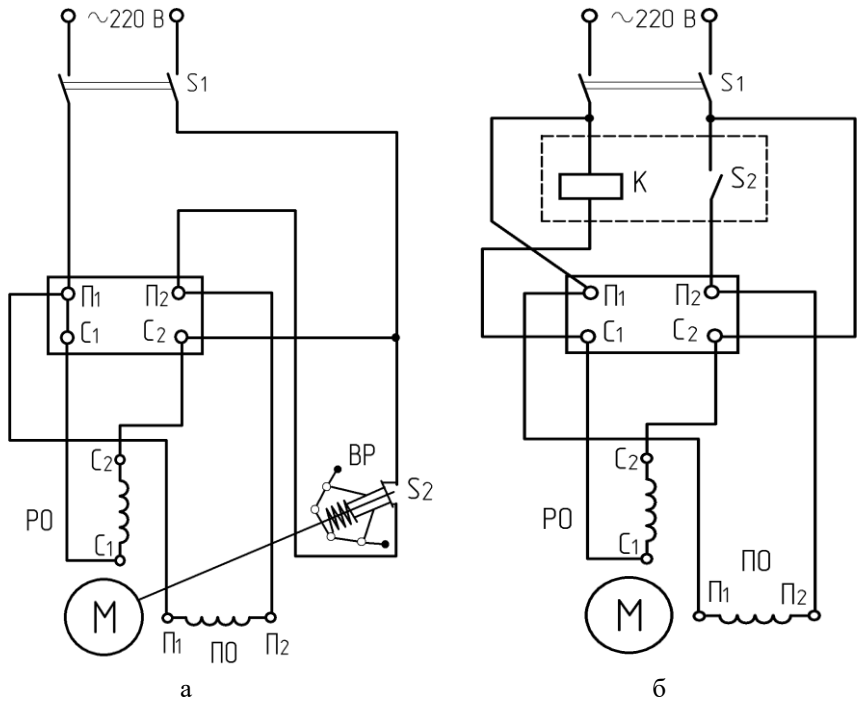


Рис 6 Схема автоматичного пуску двигуна за допомогою відцентрового (а) та струмового (б) реле

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Будова однофазного асинхронного двигуна з пусковою обмоткою.
2. Будова однофазного конденсаторного двигуна.
3. Будова однофазного асинхронного двигуна з розщепленими екранованими полюсами.
4. Будова обмотки статора.
5. Назвіть області застосування однофазних асинхронних двигунів.

6. Вкажіть переваги і недоліки однофазних асинхронних двигунів порівняно з трифазними, а також особливості кожного типу однофазних асинхронних двигунів.

7. Опишіть принцип дії однофазних асинхронних двигунів, вказавши особливості створення обертового магнітного поля у різних типів двигунів.

8. Яке призначення фазозсуваючих елементів однофазних двигунів, які їх переваги і недоліки?

9. Вкажіть способи пуску в хід та реверсування різних типів однофазних асинхронних двигунів.

10. Опишіть принцип дії відцентрового та струмового реле та їх призначення в схемах пуску двигунів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Загальна електротехніка / В.А.Вартабедян – 4-е вид., перероб. и доп. – К. : Вища шк. Головне вид-во, 1986. – С. 150-152.

2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат. 1983. – С. 371-374.

3. Электротехника / А.П. Трегуб; Под ред. Э.В. Кузнецова. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – С. 430-436.

4. Борисов Ю.М. Липатов Д.Н. Общая электротехника. Учеб пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1974. – С. 394-399.

ЗВІТ ДО РОБОТИ

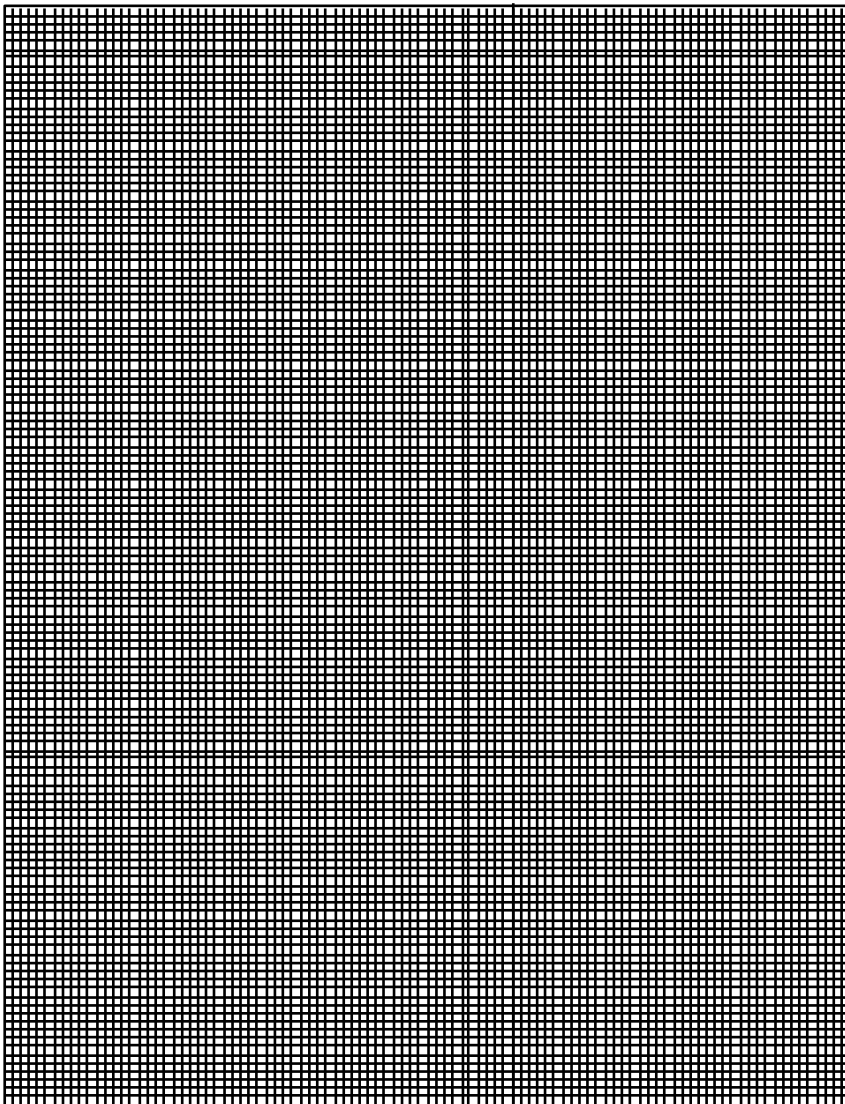
1. Результати вимірювання опорів робочої та пускової обмоток містком та методом амперметра-вольтметра занесіть до таблиці 1.

Таблица 1

Виміряти						Обчислити					
R_p Ом	$R_{п}$ Ом	U_p В	$U_{п}$ В	I_p А	$I_{п}$ А	Z_p Ом	$Z_{п}$ Ом	X_p Ом	$X_{п}$ Ом	$\cos \varphi_p$	$\cos \varphi_{п}$

2. Виконайте обчислення згідно таблиці 1. За результатами обчислень побудуйте векторну діаграму напруги і струмів двигуна.

3. Зробіть висновки по роботі.



РОЗРАХУНКИ ТА ВИСНОВКИ

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ ТА ПУСКОВОЮ ОБМОТКОЮ

Мета роботи: 1. Ознайомитись з установкою для дослідження однофазних двигунів з пусковою обмоткою. 2. Освоїти принцип дії однофазних двигунів з пусковою обмоткою. 3. Провести дослідження однофазного асинхронного двигуна шляхом зняття його основних характеристик.

Знати: будову, принцип дії та сфери використання асинхронних однофазних двигунів з короткозамкненим ротором та пусковою обмоткою, а також методику їх дослідження.

Вміти: правильно підключати однофазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором та пусковою обмоткою для його дослідження, знімати робочі характеристики досліджуваного двигуна.

Обладнання: 1. Установка для дослідження однофазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та пусковою обмоткою. 2. Ватметр (0-1500 Вт). 3. Вольтметр (0-250 В). 4. Вольтметр (0-75 В). 4. Амперметр (0-10 А). 5. Амперметр (0-5 А). 6. Електронний тахометр. 7. Лабораторний автотрансформатор (U – до 50В). 8. Діодний місток.

КОРОТКИ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Однофазні асинхронні двигуни застосовуються в побуті (у холодильниках, електропрогравачах, вентиляторах), а також у медичній апаратурі. Оскільки однофазні двигуни мають гірші техніко-економічні характеристики, ніж трифазні (менший к. к. д., низький $\cos\varphi$ тощо), їх випускають малої потужності (не більше 1-2 кВт).

Однофазний асинхронний двигун має статор з однофазною обмоткою і короткозамкнений ротор. Особливістю двигуна є те, що він не має свого пускового моменту. Для пуску застосовують різні пускові пристрої: пускову обмотку, розщеплення магнітного потоку полюсів і т. ін.

Якщо статор однофазного двигуна ввімкнута в мережу, то його ротор залишиться нерухомим. Проте досить надати ротору поштовх, щоб він почав обертатись і був спроможний нести механічне навантаження. Це пояснюється тим, що в однофазній обмотці, яка живиться змінним синусоїдним струмом, створюється пульсуючий магнітний потік, $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ який змінюється за величиною від $+\Phi_m$ до $-\Phi_m$, але в просторі

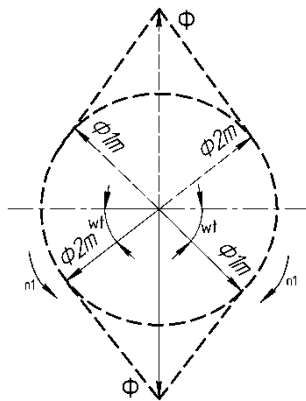


Рис. 1

залишається нерухомим. Цей пульсуючий потік Φ можна замінити двома однаковими потоками Φ_{1m} і Φ_{2m} (рис. 1).

$\Phi_{1m} = \Phi_{2m} = \Phi_m / 2$, які обертаються в протилежних напрямках із швидкістю $n = \pm 60 f_1 / p$. Ці потоки змінюються за синусоїдним законом:

$\Phi_{1m} = \Phi_{2m} = \frac{1}{2} \Phi_m \sin \omega t$. Алгебраїчна сума векторів

Φ_{1m} і Φ_{2m} дорівнює вектору пульсуючого потоку

$\Phi_{1m} + \Phi_{2m} = 2 \cdot \frac{1}{2} \Phi_m \sin \omega t = \Phi_m \sin \omega t = \Phi$. Обертаючись у

проти-лежних напрямках, потоки перетинають обмотку ротора й

індукують у ній відповідні струми I_2' і I_2'' , взаємодія яких з

потоками створює обертальні моменти протилежного напрямку

$$M_1 = C \Phi_{1m} I_2' \cos \psi_2'; \quad M_2 = C \Phi_{2m} I_2'' \cos \psi_2''.$$

Результуючий момент дорівнює нулю: $M = M_1 - M_2 = 0$, і

вал двигуна не може повернутися. Якщо тепер ротор в рух

привести сторонньою силою, він почне обертатися в той бік,

куди буде зроблено поштовх. Пояснимо це.

Візьмемо число обертів потоків Φ_{1m} і Φ_{2m} n_1 (об/хв), а ротора

n_2 . Тоді швидкість прямого потоку Φ_{1m} відносно ротора

дорівнюватиме різниці швидкостей поля і ротора $n' = n_1 - n_2 = n_1 - n_1(1 - s) = n_1 s$.

Прямий потік індукуватиме в роторі струм з частотою $f_2' = pn' / 60 = pn_1 s / 60 = f_1 s$.

Швидкість зворотного поля Φ_{2m} відносно ротора рівна сумі швидкостей поля і ротора $n'' = n_1 + n_2 = n_1 + n_1(1 - s) = n_1(2 - s)$. Зворотне поле індукуватиме в роторі струми частотою $f_2'' = pn'' / 60 = pn_1(2 - s) / 60 = f_1(2 - s)$.

При $f_1 = 50$ Гц і $s = 5\%$ дістаємо $f_2' = 2,5$ Гц, $f_2'' = 97,5$ Гц, а отже $f_2'' \geq f_2'$. Як відомо, індуктивний опір розсіювання ротора пропорційний частоті $f_2 : X_{2s} = 2\pi f_2 L_2$. Тому в робочому режимі $X_{2s}'' \geq X_{2s}'$, а $\cos \varphi_{2s}'' = R_2 / Z_{2s}'' \approx 0$, тобто $M_2 \approx 0$. І результуючий момент $M = M_1 - M_2 \approx M_1$ буде напрямлений у бік більшого моменту M_1 .

Для того, щоб однофазний асинхронний двигун міг сам приводитись у рух, в його статорі, крім основної робочої обмотки (РО), закладають ще й додаткову, пускову (ПО) (рис. 2).

Пускову обмотку вмикають звичайно через додатковий активний або реактивний опір ДО з тим, щоб струм у ній був зсунутий за фазою відносно струму в робочій обмотці РО на кут, близький до 90° (рис. 2, а).

Значно частіше як

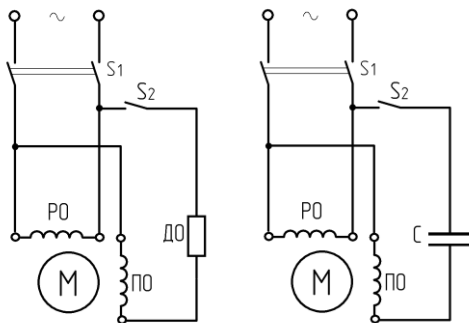


Рис. 2. Пуск двигуна:

- а) з допомогою додаткового опору;
б) з допомогою конденсатора

додатковий опір до пускової обмотки застосовують конденсатор (рис. 2, б). Оскільки струми в робочій і пусковій обмотках будуть зсунуті на 90° , відповідно зсунуться за фазою і створені ними магнітні потоки. Після пуску двигуна коло пускової обмотки вимикається.

У деяких однофазних двигунах робоча обмотка і обмотка з конденсатором у колі залишається ввімкненою на весь час роботи. Такі двигуни називають конденсаторними. Вони мають кращі робочі й пускові характеристики, вищий $\cos\varphi$ і більшу переважувальну здатність.

Для пуску двигуна в зворотному напрямі треба поміняти місцями кінці пускової (або робочої) обмотки.

З мережі до статора підводиться електрична потужність P_1 вона завжди більша, ніж потужність P_2 на валу ротора двигуна. Це пояснюється тим, що перетворення енергії у двигуні з електричної у механічну супроводжується втратами енергії.

В асинхронному двигуні бувають такі втрати: в обмотці статора $P_{1об}$, в обмотці ротора $P_{2об}$ у сталі статора P_{1cm} і механічні втрати $P_{мех}$. Втрати в обмотках статора і ротора визначаються за формулами:

$P_{1об} = m_1 I_1^2 R_1$, $P_{2об} = m_2 I_2^2 R_2$ m_1 – число фаз статорної обмотки ($m = 1$).

Число фаз роторної обмотки короткозамкненого двигуна завжди дорівнює числу фаз статорної обмотки, оскільки число полюсів у роторі завжди дорівнює числу полюсів статорної обмотки. Втрати в обмотках залежать від навантаження. Отже, ці втрати є змінними.

Втрати в сталі статора P_{1cm} пов'язані з наявністю гістерезису і вихрових струмів, створюваних внаслідок перетину змінним магнітним потоком сталі статора.

Експлуатаційні властивості асинхронних двигунів визначаються їх робочими характеристиками. Робочими характеристиками однофазного асинхронного двигуна є залежність потужності P_1 , споживаної двигуном, струму статора I_1 , коефіцієнта потужності $\cos\varphi$, обертового моменту M ,

швидкості обертання ротора n і ковзання s від корисної потужності P_2 на валу двигуна при сталій напрузі U_1 на затискачах двигуна і при сталій частоті f_1 .

Більш докладну інформацію про однофазні асинхронні двигуни можна отримати із вказаної в інструкції літератури.

Установка для дослідження складається з асинхронного однофазного двигуна, на валу якого закріплено алюмінієвий диск. Алюмінієвий диск, перетинає поле постійного електромагніту, внаслідок чого відбувається його гальмування, а відповідно, і навантаження на вал. В коло статора двигуна ввімкнено вольтметр, амперметр та ватметр, які вимірюють електричний режим двигуна.

Навантаження двигуна вимірюється посередньо. Для цього вимірюється струм і напруга, що подаються на постійний електромагніт.

Швидкість обертання ротора вимірюється електронним тахометром.

САМОСТІЙНА ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Ознайомитись з інструкцією та вказаною в ній літературою.

2. Ознайомитись з установкою для дослідження асинхронного однофазного двигуна з короткозамкненим ротором та пусковою обмоткою. Звернути увагу на розміщення вимірювальних приладів.

3. Коротко письмово відповісти на одне з питань для перевірки, що приведені в кінці лабораторної роботи. Номер питання приймається за останньою цифрою залікової книжки.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з установкою для дослідження двигуна. Звернути увагу на спосіб навантаження двигуна. Записати паспортні дані двигуна до протоколу.

2. Ознайомитись з комутаційним обладнанням установки і вимірювальними приладами, записати їх технічні

характеристики. Перевірити готовність установки, обладнання і вимірювальних приладів до роботи.

3. Зібрати схему (рис. 3). Після перевірки схеми викладачем за допомогою апаратів автоматичного захисту **АП-50** та **АЕ** запустити установку.

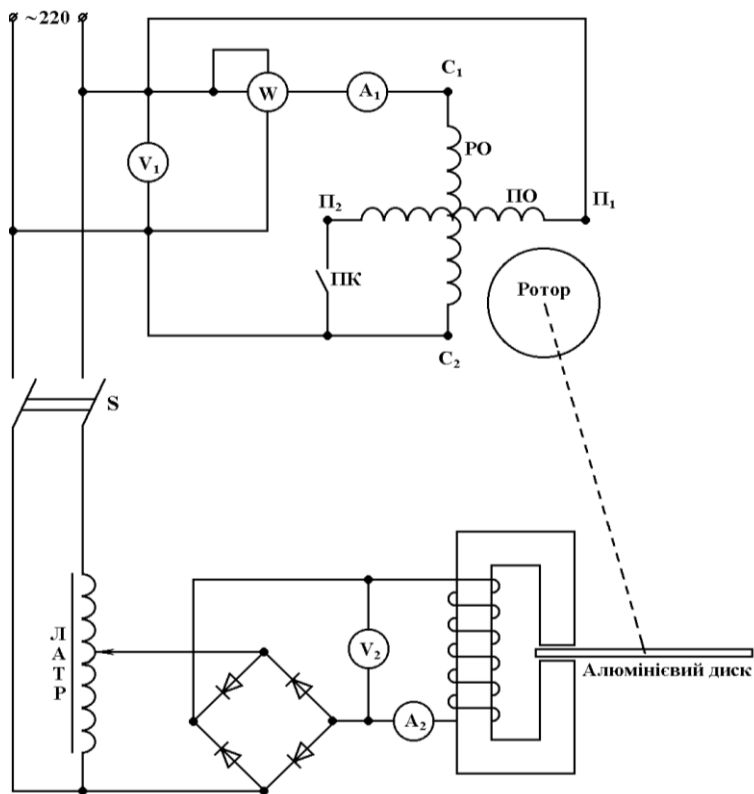


Рис. 3. Схема для дослідження однофазного асинхронного двигуна

4. Встановити потрібний напрямок обертання двигуна (напрямок вказано стрілкою на корпусі двигуна) і підготуватись до проведення дослідів. Провести дослідження холостого ходу двигуна. Для цього встановити режим холостого ходу двигуна –

ЛАТР відключено, напруга на постійний електромагніт не подається. Зняти покази вимірювальних приладів, результати записати до таблиці 1.

5. Зняти робочі характеристики досліджуваного двигуна. Для цього потрібно **підключити до мережі ЛАТР, який через випрямляч живить постійним струмом електромагніт.** Поступово навантажувати двигун, змінюючи за допомогою ЛАТРа напругу на постійному магніті. Навантажувати двигун від I_{xx} до $1,2I_{ном}$. ($I_{ном}$ беруть із паспорта двигуна) Результати записати до таблиці 1.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Яка будова та принцип дії однофазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором?
2. Чому однофазний асинхронний двигун не має пускового моменту?
3. Які є способи пуску однофазних асинхронних двигунів?
4. Чому при обертанні ротора однофазного двигуна моменти створені прямим та зворотнім полями не рівні?
5. Як буде працювати однофазний асинхронний двигун, якщо не вимкнути пускову обмотку?
6. Від чого залежить к.к.д. однофазного асинхронного двигуна.
7. Як змінити напрям обертання однофазного асинхронного двигуна і від чого він залежить?
8. Що і як характеризують робочі характеристики однофазного двигуна?
9. Де в промисловості застосовуються однофазні асинхронні двигуни?
10. Чи може трифазний асинхронний двигун працювати як однофазний?

ЛІТЕРАТУРА

1. Загальна електротехніка / В.А. Вартабедян – 4-е вид., перероб. и доп. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1986. – С. 150-152.

2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат. 1983. – С. 371-374.

3. Электротехника / А.П. Трегуб; Под ред. Э.В. Кузнецова. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – С. 430-436.

4. Борисов Ю.М. Липатов Д.Н. Общая электротехника. Учеб пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1974. – С. 394-399.

ЗВІТ ДО РОБОТИ

1. Результати дослідження двигуна в режимі холостого ходу та навантаження запишіть в таблицю 1.

Таблиця 1

№	Досліди	Виміряти					
		U_1	I_1	P_1	n_2	U_2	I_2
1	Холостий хід						
2	Режим навантаження						
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2. Зробіть необхідні обчислення і занесіть в таблицю 2 у відповідності до даних дослідження.

Таблиця 2

№	Досліди	Обчислити							
		S	$\cos\varphi$	$P_{вт}$	P_M	P_2	η	s	M
1	Холостий хід								
2	Режим навантаження								
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Повна споживана потужність знаходиться за формулою:

$$S = U_1 * I_1.$$

$\cos\varphi$ знаходиться так: $\cos\varphi = \frac{P_1}{S}$

Втрати в двигуні: $P_{\text{вт}} = P_{\text{хх}} + P_{\text{м}}$, де $P_{\text{м}} = I_1^2 * R$ ($R = \text{Ом}$)

Потужність на валу двигуна дорівнює: $P_2 = P_1 - P_{\text{вт}}$;

коефіцієнт корисної дії дорівнює: $\eta = \frac{P_2}{P_1} * 100\%$;

ковзання двигуна визначають за формулою:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} * 100\%;$$

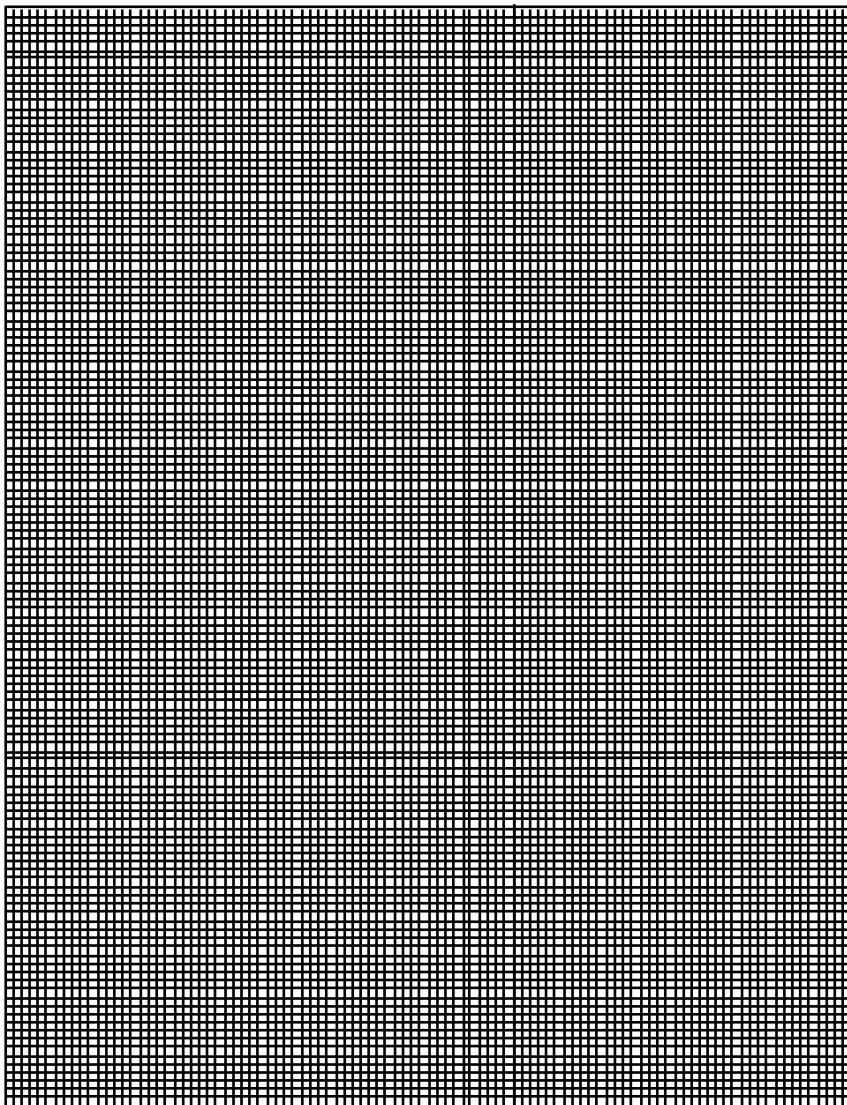
момент на валу двигуна дорівнює: $M = \frac{P_2}{2\pi n_2}$.

3. Побудуйте робочі характеристики двигуна в одній системі координат згідно з результатами вимірів: $I_1, \cos\varphi, n_2, M, s = f(P_2)$.

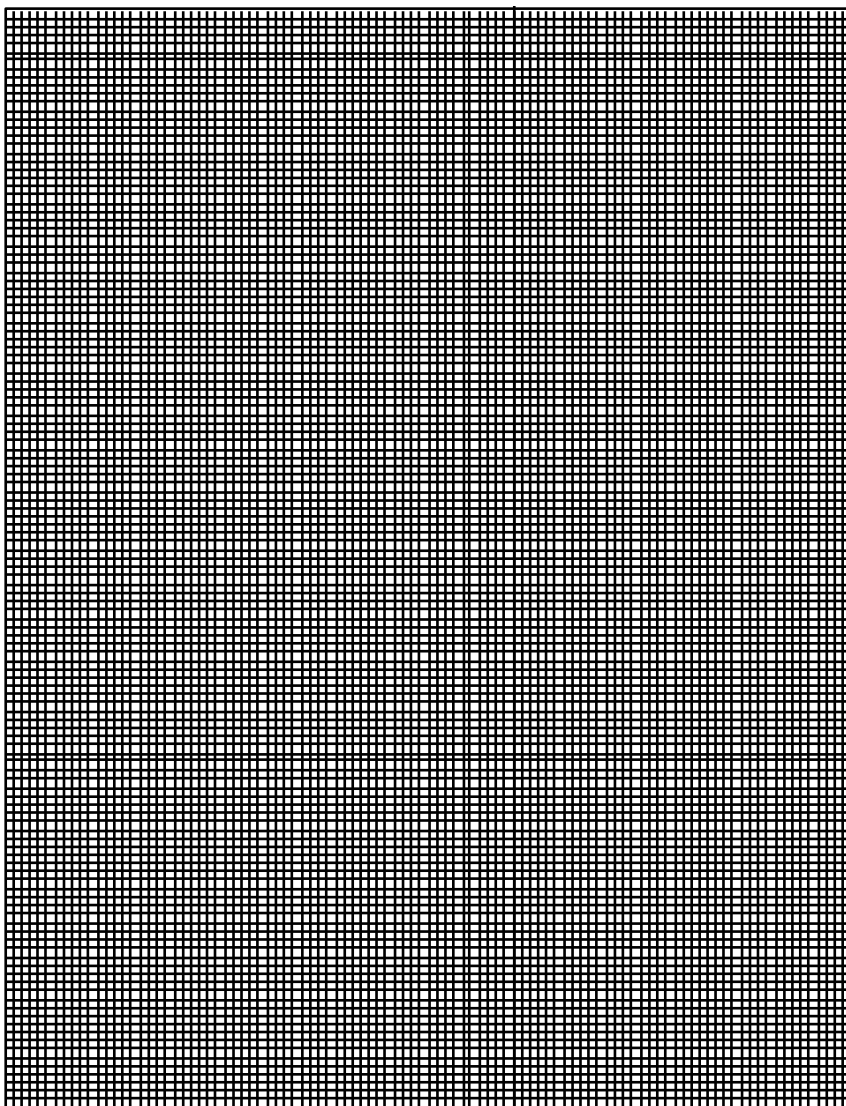
4. Побудуйте механічні характеристики двигуна $M = f(S)$; $n = f(M)$ в різних системах координат.

5. Зробіть висновки по роботі.

ГРАФІКИ ЗАЛЕЖНОСТІ $I_1, \cos\varphi, n_2, M, s = f(P_2)$.



МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ



РОЗРАХУНКИ ТА ВИСНОВКИ

**ВИВЧЕННЯ ТРИФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ
З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ**

Мета роботи: 1. Вивчити будову, принцип дії, технічні характеристики та галузі застосування трифазних асинхронних двигунів з к.з. ротором (ТАД). 2. Навчитись з'єднувати обмотки статора ТАД по схемі зірка та трикутник та приєднувати його до мережі.

Знати: будову, принцип дії, технічні характеристики, способи розмітки виводів ТАД.

Вміти: проводити розмітку виводів обмоток статора ТАД; з'єднувати обмотки ТАД по схемі зірка та трикутник та приєднувати його до мережі.

Обладнання: 1. ТАД з к.з. ротором розібраний і підготовлений до вивчення. 2. ТАД з к.з. ротором у робочому стані з щитком для визначення початків та кінців обмоток фаз статора. 3. Місток типу ММВ для вимірювання опорів обмоток статора. 4. Вольтметр електромагнітної системи на напругу 250 В. 5. Амперметр електромагнітної системи на струм 0-5 А. 6. Вольтметр електромагнітної системи на напругу 50 В.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Асинхронними називають машини змінного струму, частота обертання ротора яких n_2 при постійній частоті змінного струму джерела змінюється із зміною навантаження і відрізняється від синхронної, тобто від частоти обертання магнітного нуля статора n_1 . Звідси і назва асинхронний - неодноразовий. Як і всі електричні машини, вони оборотні. Проте асинхронний генератор практично майже не застосовується, а асинхронний двигун є основним типом електродвигуна як найпоширеніший, конструктивно простий і надійний в роботі.

На рис. 1 показано трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором у розібраному вигляді. Він складається з трьох основних вузлів: нерухомого статора (5),

обертового ротора (4), підшипникових щитів (5,6), які з'єднують статор та ротор в одне ціле.

До складу статора входять: а) станина з лапами, призначена для закріплення електродвигуна на фундаменті; б) пакет із штампованих, ізолюваних один від одного, листів електротехнічної сталі з пазами для укладання обмотки статора (рис. 1б); в) обмотка з ізолюваного мідного дроту, який укладається в пази статора і використовується для створення обертового магнітного поля.

До складу ротора входять: а) пакет із штампованих, ізолюваних один від одного листів електротехнічної сталі (1в); б) вал, на якому кріпляться ротор, підшипники, приводний шків і вентилятор; в) обмотка у вигляді «білячого колеса» складається з залитих алюмінієм пазів ротора (короткозамкнений ротор) в якій наводиться струм магнітним полем статора; г) підшипники, які насаджуються на вал і кріпляться зовнішніми обоймами в підшипникових щитах; д) вентилятор, який кріпиться на валу ротора і застосовується для створення потоку повітря з метою охолодження нагрітих частин.

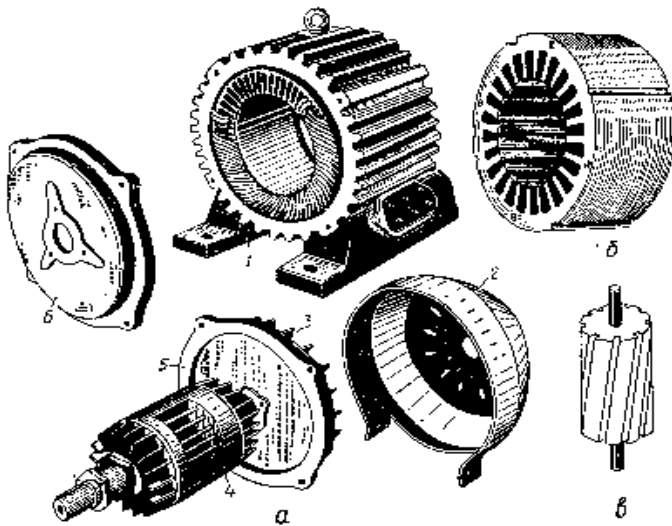


Рис. 1. Будова трифазного асинхронного двигуна

Підшипникові щити є опорою для підшипників ротора і прикріплюються за допомогою болтів до станини статора.

Призначення статора – створювати за допомогою трифазної обмотки обертове магнітне поле машини. Призначення ротора – перетворювати за допомогою індукованої е. р. с. і струмів в його обмотці електричну енергію в механічну енергію обертального руху.

Статор асинхронного двигуна складається з корпусу, сталевго сердечника і трифазної обмотки. Корпус відливають з чавуну або сталі, а при малих потужностях машини – із сплаву алюмінію. У машинах великих потужностей корпус виготовляється зварним. З метою збільшення поверхні охолодження двигуна зовні на корпусі відлито ребра.

Сердечник статора є частиною магнітопровода машини. Виготовляється у вигляді порожнистого циліндра, набраного з тонких штампованих листів електротехнічної сталі з пазами, симетрично розташованими по колу з внутрішньої сторони для розміщення і закріплення в них трифазної обмотки. Листи мають товщину 0,5 мм (у двигунах малої потужності 0,35 мм) і ізолюються один від одного лаком або окалиною, що значно зменшує втрати на вихрові струми. У потужних двигунах для кращого охолодження сердечник статора набирається з пакетів завтовшки до 6 см, між якими створюються радіальні вентиляційні канали шириною до 1 см.

Трифазна обмотка статора асинхронної машини служить для збудження в ній магнітного поля. Вона розміщується в пазах сердечника статора. Її виводи (три початки $C1$, $C2$, $C3$ і відповідно три кінці $C4$, $C5$, $C6$) закріплюються на щитку, встановленому на корпусі машини в клемній коробці. Обмотка статора з'єднується зіркою або трикутником.

Збирається обмотка з котушок або секцій. Вони намотуються на шаблонах з ізолюваного мідного дроту, обмотуються ізоляційною стрічкою, просочуються асфальтовим лаком (компаундом) і укладаються в пази сердечника. Потім, після сушки статора, заклинюються пластмасовими або дерев'яними клинами і з'єднуються між собою в котушкові групи, в які входять по декілька котушок. Котушки однієї котушкової групи

з'єднуються завжди послідовно з таким розрахунком, щоб індуковані е. р. с. в їх активних ділянках діяли узгоджено.

Фазна обмотка складається з декількох котушкових груп, які з'єднуються послідовно або паралельно і залежно від типу обмотки (зустрічно або узгоджено). Число котушок в котушковій групі не можна брати довільним. Якщо, наприклад, в статорі двополюсного двигуна є 12 пазів, то на один полюс припадає шість пазів і в них повинні розміститися активні ділянки котушок всіх трьох фаз, що створюють даний полюс, тобто на полюс і фазу число пазів рівне двом (одна котушка в котушковій групі зосередженої обмотки). У машинах великої потужності (більше 500 кВт) застосовуються стержньові обмотки, що складаються із стержнів-напіввитків.

Пази в сердечнику статора залежно від потужності двигуна і типу обмотки бувають різної форми: напівзакриті з переставним вкладишем зверху з фібри або електрокартону для м'якої всипної обмотки в двигунах потужністю до 100 кВт; напівзакриті і відкриті (з дерев'яним клином) в двигунах більшої потужності з жорсткими котушками з прямокутного дроту. Обмотки статорів за способом заповнення пазів (з пазовою ізоляцією) виконуються як одношаровими, так і двошаровими.

В даний час основним типом обмотки статора машин змінного струму є найбільш довершена двошарова шаблонна трифазна обмотка з укороченим кроком. Обмотка виконується з котушок-секцій однакової форми і кроку. Двошаровими називаються обмотки, у яких в кожному пазу сердечника статора розташовані сторони двох котушок (у два поверхи).

Ротор асинхронного двигуна складається з вала, сталевго сердечника (магнітопровода) і обмотки. Сердечник ротора, як і сердечник статора, є порожнистий циліндр, набраний з штампованих листів електротехнічної сталі з пазами в зовнішній частині для обмотки. Пази ротора можуть бути відкритими, напіввідкритими і закритими. Сталевий сердечник ротора закріплюється безпосередньо на валу двигуна або (при великих розмірах) на ободі спеціального литого колеса.

У звичайному роторі з прямими осьовими пазами в сердечнику є додаткові змінні втрати енергії, які виникають при обертанні ротора в результаті зміни магнітного поля в

повітряному зазорі між статором і ротором із-за зміни відносного положення їх зубців. Для зменшення цих втрат сердечник ротора часто набирається з скошеними пазами.

Короткозамкнутий ротор має обмотку типу білячого клітки з мідних або алюмінієвих стержнів, які без ізоляції вставляються в пази сердечника ротора і з торців замикаються накоротко кільцями з того ж матеріалу. У двигунах єдиних серій потужністю до 100-200 кВт така обмотка разом з вентиляційними лопастями виготовляється шляхом заливки пазів ротора розплавленим алюмінієм.

Потужні асинхронні двигуни (більше 200 кВт) мають коротко-замкнуту обмотку ротора з мідних або латунних стержнів і короткозамкнених кілець або сегментів. Стержні таких обмоток можуть мати пази круглого, прямокутного (глибокий паз), колбо або клиноподібного перетину.

Короткозамкнений ротор не має електричного зв'язку із зовнішньою мережею, в електричному відношенні його біляча клітка є багатозазною обмоткою, сполученою зіркою і замкненою накоротко. Число фаз обмотки m рівне числу її стержнів.

Принцип дії двигунів, як і генераторів, ґрунтується на використанні трьох основних явищ електромагнетизму: 1) явищі обертового магнітного поля, яке утворюється внаслідок накладання кількох змінних магнітних полів; 2) явищі електромагнітної індукції (закон Фарадея); 3) явищі механічної взаємодії струмів (закон Ампера);

Однією з переваг трифазного змінного струму є можливість створення обертового поля, яке широко використовується в двигунах змінного струму і деяких вимірювальних приладах.

Обертове магнітне поле створюється трифазним змінним струмом, який проходить через три однакові котушки (рис. 2, а), розміщені під кутом 120° одна відносно одної.

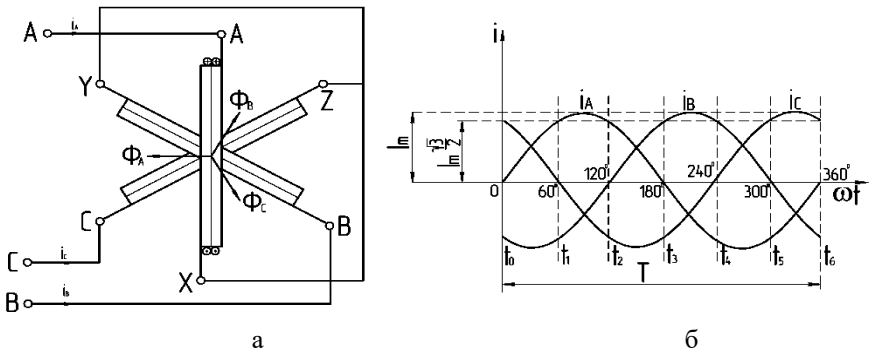


Рис. 2. Процес утворення обертового магнітного поля

Симетрична система трифазного струму

$$i_A = I_m \sin \omega t;$$

$$i_B = I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right);$$

$$i_C = I_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

створює симетричну систему магнітних потоків

$$\Phi_A = \Phi_m \sin \omega t;$$

$$\Phi_B = \Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right);$$

$$\Phi_C = \Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right).$$

Вектори магнітних потоків співпадають з осями котушок, їх напрям визначають за правилом свердлика (рис. 2, а). Напрямок потоків при кожній зміні струму в котушках змінюватиметься на протилежний, але просторове положення осей потоків залишатиметься незмінним.

Магнітні потоки, які виникають у котушках, пропорційні струмам; після геометричного їх додавання утворюється результуючий потік $\Phi_{рез}$ сталий за величиною (у будь-який

момент часу), що дорівнює $1,5 \Phi_m$ і обертається в просторі з рівномірною кутовою швидкістю в напрямі чергування струмів за фазами. Якщо побудувати результуючий потік для всіх моментів часу, то стає зрозумілим, що за період він зробить один повний оберт у напрямі руху годинникової стрілки.

Якщо перемкнути дві довільні котушки, наприклад A і B , то чергування струмів у котушках зміниться, а, відповідно, зміниться і напрям обертання магнітного поля. Число обертів магнітного поля пов'язане з частотою і числом пар полюсів поля

таким співвідношенням: $n_1 = \frac{60f}{p}$, де n_1 – число обертів

магнітного поля за хвилину; f – частота струму; p – число пар полюсів поля.

Якщо ввімкнути двигун у мережу трифазного струму, то по його обмотках, піде струм, який створить обертове магнітне поле, що обертатиметься з швидкістю n_1 .

Якщо обертове магнітне поле статора, яке обертається з швидкістю n_1 , умовно зобразити двома полюсами N та S (рис. 3), а ротор одним витком, то поле, перетинаючи виток ротора, індукватиме в ньому е.р.с.(закон Фарадея). Згідно правила правої руки, видно, що в провіднику під північним полюсом індукована е.р.с.

спрямована до нас, а під південним — від нас.

Оскільки провідник короткозамкнений в ньому виникне струм, напрям якого співпадає з напрямом е.р.с.

Згідно закону Ампера (за правилом лівої руки) знаходимо напрям

виштовхувальної сили,

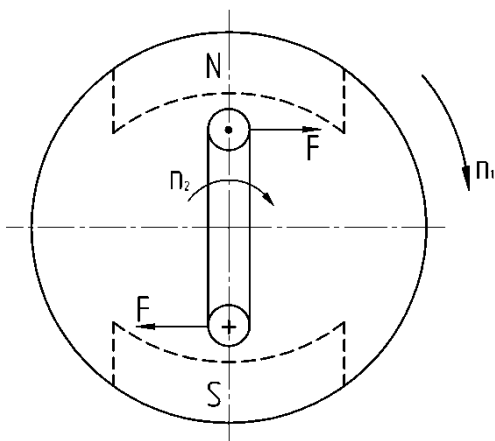


Рис. 3. Принцип дії двигуна

яка виникає при взаємодії провідника із струмом і магнітного поля. Пара сил утворює обертовий момент у напрямі, який відповідає обертанню магнітного поля. Ротор обертається з швидкістю n_2 , трохи меншою за швидкість обертання поля n_1 .

Ротор обертається із швидкістю меншою за швидкість обертання

магнітного поля статора. Явище відставання ротора від обертового поля статора називають ковзанням і позначають буквою s . Ковзання є величиною змінною. Вона залежить від навантаження на валу двигуна. Із збільшенням навантаження оберти ротора зменшуються (ротор загальмовується), а отже, збільшується ковзання s , і навпаки. Ковзання визначається так:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} * 100\%$$

САМОСТІЙНА ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. По літературі до лабораторної роботи вивчити будову, принцип дії, технічні характеристики та галузі застосування трифазних асинхронних двигунів.

2. По інструкції до лабораторної роботи ознайомитись з порядком виконання роботи та проаналізувати схеми.

3. Коротко письмово відповісти на одне з питань для перевірки, що приведені в кінці лабораторної роботи. Номер питання приймається за останньою цифрою залікової книжки.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Провести зовнішній огляд машини, устаткування і вимірювальних приладів. Ознайомитись з їх технічними характеристиками та записати дані до протоколу.

2. Вивчити будову асинхронного трифазного двигуна з к. з. ротором, використовуючи стенд із розібраним двигуном. Звернути увагу на будову магнітного і електричного кіл. Співставте конструкцію двигуна та його ескіз (рис. 8).

3. Використовуючи робочий двигун, знайти виводи фазних обмоток, визначити їхні початки і кінці і відповідно розмітити. Виводи фаз можна знайти трьома способами: омметром, контрольною лампою, або вольтметром (рис. 4).

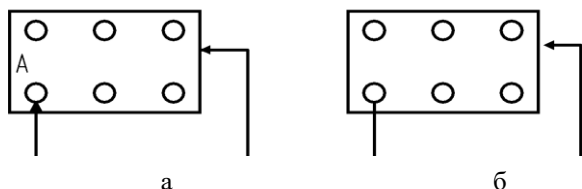


Рис. 4. Визначення виводів фаз з допомогою омметра (а) та контрольної лампи або вольтметра (б)

При наявності омметра (авометра) (рис. 4а) один затискач приєднують до будь-якого з виводів двигуна, а другий по черзі – до інших виводів двигуна. Коли обидва затискачі омметра будуть з'єднані з виводами однієї фази, стрілка омметра відхилиться. Прилад при цьому покаже опір обмотки, величина якого буде знаходитись в межах

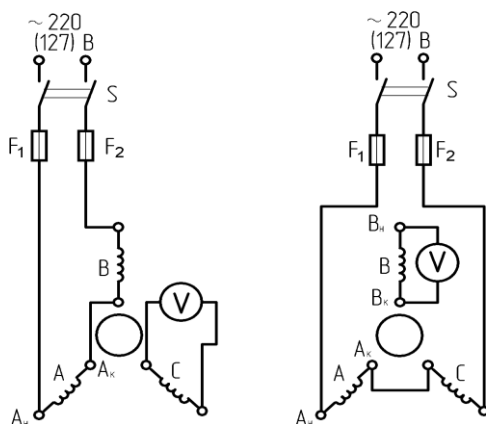


Рис. 5. Визначення початків і кінців фаз

від частки Ома до десятків Ом. Для визначення виводів фаз за допомогою вольтметра або контрольної лампи, необхідно мати джерело електричної напруги (рис. 4б). Межа вимірювання вольтметра або робоча напруга лампи повинні бути розраховані на напругу джерела. При користуванні електричною мережею один її затискач з'єднують провідником з затискачем вольтметра (лампи), а інший з будь-яким затискачем двигуна. До вільного

затискача вольтметра приєднують провідник і, тримаючи його за ізоляцію, подають напругу і торкаються провідником по черзі до інших затискачів двигуна. Стрілка вольтметра відхилиться, або лампочка спалахне тоді, коли будуть вибрані затискачі однієї фази. Позначивши виводи однієї фази, аналогічно знаходять виводи іншої.

4. Знайшовши виводи фаз статора, переходять до визначення початків і кінців фаз (рис. 5).

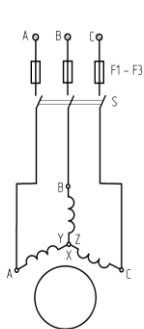
Виводи однієї із фаз (наприклад фази *A*) довільно позначають початок і кінець (*A*, *X*). Послідовно до цієї фази приєднують другу (наприклад *B*) і вмикають у мережу змінної напруги на фазну або якусь нижчу напругу. До виводів третьої фази (*C*) приєднують низьковольтний вольтметр. Якщо при подачі напруги до послідовно з'єднаних фаз вольтметр покаже напругу, це значить, що фазні обмотки з'єднані різнойменними виводами (початок однієї і кінець іншої), якщо вольтметр напруги не покаже, то з'єднаними будуть однойменні виводи (початок з початком або кінець з кінцем). Таким чином, на основі показів вольтметра розмічають початки та кінці двох перших фаз. Для визначення початку і кінця третьої фази необхідно повторити операцію, з'єднавши фази що залишилися, з виводом фази, початок і кінець якої вже відомі. *Подавати напругу на обмотки слід короткочасно, інакше провідники обмотки можуть перегрітися.*

5. Освоїти способи пуску двигуна в хід та реверсування його. Для цього з'єднати фази двигуна по схемі «зірка» і увімкнути в мережу з відповідною цьому з'єднанню напругою (напруга визначається із паспорта двигуна) (рис. 6а). Після перевірки схеми викладачем здійснити прямий пуск двигуна. Провести реверсування двигуна, змінивши порядок підключення до мережі будь-яких двох виводів двигуна.

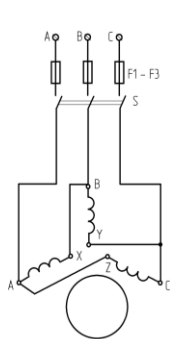
6. З'єднати фазні обмотки двигуна по схемі «трикутник» (рис. 6б) і увімкнути його в мережу на відповідну напругу. Після перевірки схеми пустити двигун, а потім здійснити його реверсування.

7. Здійснити пуск і реверсування трифазного двигуна при вмиканні його в однофазну мережу через батарею конденсаторів (рис. 7).

8. Вимірювання опорів фазних обмоток провести омметром або містком. Повний опір обмоток виміряти методом вольтметра-амперметра.



а



б

Рис. 6. З'єднання фаз двигуна по схемі зірка (а), трикутник (б)

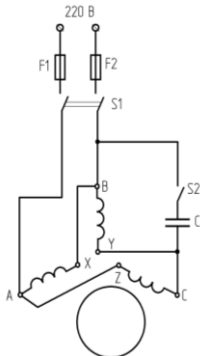
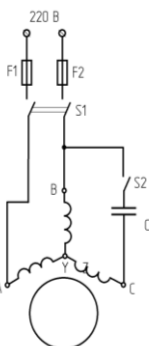


Рис. 7. Підключення двигуна в однофазну мережу

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Яка будова та принцип дії трифазних асинхронних двигунів?
2. З яких частин складається магнітне коло двигуна?
3. З яких частин складається електричне коло трифазного асинхронного двигуна?
4. Як визначити виводи фаз обмотки статора?
5. Як визначити початки і кінці обмоток статора?
6. Назвіть галузі застосування трифазних асинхронних двигунів.
7. Які способи пуску трифазних асинхронних двигунів?
8. Як запустити трифазний асинхронний двигун від однофазної мережі?
9. На які напруги трифазної сітки вмикають фазні обмотки двигуна?
10. В яку мережу вмикають трифазний асинхронний двигун з позначенням у паспорті 380/220?

ЛІТЕРАТУРА

1. Загальна електротехніка / В.А.Вартабедян – 4-е вид., перероб. и доп. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1986. – С. 123-131, 153.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 334-341.
3. Электротехника / А.П. Трегуб; Под ред. Э.В. Кузнецова. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – С. 380-391.
4. Борисов Ю.М. Липатов Д.Н. Общая электротехника. Учеб пособие для вузов. М., “Высшая школа”, 1974. – С. 340-353.
5. Волынский Б.А. и др. Электротехника / Б.А. Волынский, Е.Н. Зейн, В.А. Шатерников: Учеб пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 528 с. – С. 382 – 392.
6. Общая электротехника: Учеб. пособие для вузов / Под ред. д-ра техн. наук А.Т. Блажкина. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1986. – 592 с. С. 289-301.

ЗВІТ ДО РОБОТИ

1. Запишіть основні технічні характеристики трифазного асинхронного двигуна.

Таблиця 1

Тип двигуна	Основні технічні характеристики

2. Використовуючи ескіз магнітного і електричного кола (рис. 8), та рис. 2, визначте момент включення двигуна в трифазну мережу.

Черговість фаз:

Момент включення
двигуна:

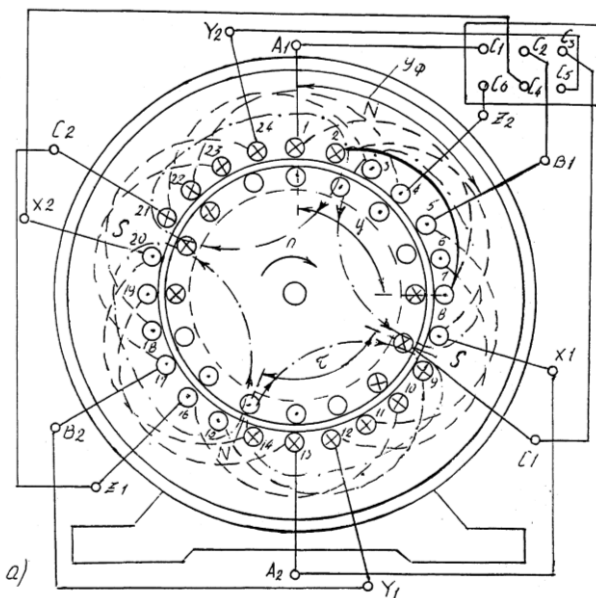
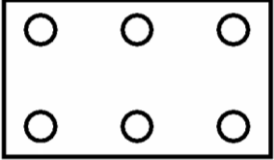
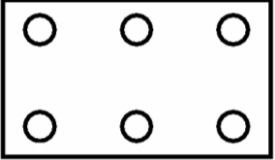
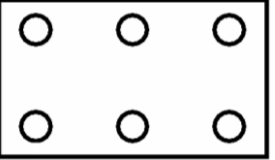


Рис. 8. Ескіз електричного та магнітного кола двигуна

3. Зобразіть початки та кінці фаз обмотки статора (табл. 2).
4. Накресліть схеми прямого пуску двигуна в хід при з'єднанні фаз статора зіркою та трикутником (табл. 2).

Таблиця 2

Схема виводів фаз обмоток статора	Схема з'єднанні фаз статора зіркою	Схема з'єднанні фаз статора трикутником
		

5. Зробіть висновки по роботі.

РОЗРАХУНКИ ТА ВИСНОВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Мета роботи: 1. Ознайомитись з установкою для дослідження трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. 2. Провести дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором шляхом зняття його основних характеристик.

Знати: принцип дії та основи теорії трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, а також методику їх дослідження.

Вміти: правильно підключати трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором для дослідження, знімати робочі характеристики досліджуваного двигуна.

Обладнання: 1. Установка для дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. 2. Ватметр (0-1500 Вт). 3. Вольтметр (0-250 В). 4. Вольтметр (0-75 В). 5. Амперметр (0-10 А). 6. Амперметр (0-5 А). 7. Електричний тахометр. 8. Лабораторний автотрансформатор. 9. Діодний місток розрахований на струм до 5 А.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Трифазні асинхронні двигуни (ТАД) призначаються для перетворення електричної енергії змінного струму в механічну енергію обертового руху.

Принцип дії двигунів ґрунтується на використанні трьох основних явищ електромагнетизму: явищі обертового магнітного поля, яке утворюється внаслідок накладання кількох змінних магнітних полів; електромагнітної індукції; механічної взаємодії струмів.

Двигун може мати три режими роботи: режим холостого ходу, навантаження і короткого замикання.

В режимі холостого ходу до обмотки статора підводять номінальну напругу, а обмотку ротора розмикають (режим

використовується тільки теоретично). По обмотці статора піде струм, який утворить стале за величиною обертове магнітне поле. Воно перетинатиме витки обмотки статора та ротора і наводитиме в них відповідне е. р. с. E_1 і E_2 . Діючі значення цих е. р. с. у кожній фазі статора і ротора визначають за формулою з урахуванням $k_{об}$:

$$\vec{E}_1 = 4,44k_{об}f_1w_1\vec{\Phi}_1, \vec{E}_2 = 4,44k_{об}f_2w_2\vec{\Phi}_1.$$

Але в роторі струму не буде і він залишається нерухомим.

Для обмотки статора можна написати рівняння рівноваги е. р. с.

$\vec{U}_1 = -\vec{E}_1 + \vec{I}_0R_1 + \vec{I}_0X_1$, де \vec{I}_0 – струм в обмотці статора, який називається струмом холостого ходу; \vec{I}_0R_1 – спад напруги на активному опорі обмотки статора R_1 ; \vec{I}_0X_1 – спад напруги на індуктивному опорі обмотки статора X . На рисунку 1 зображено векторну діаграму двигуна в режимі холостого ходу.

Робочий режим. Якщо обмотку ротора замкнути накоротко, то по ній під впливом е. р. с. ротора \vec{E}_2 потече струм \vec{I}_2 , який створить роторний потік $\vec{\Phi}_2$ і потік розсіювання $\vec{\Phi}_{d2}$.

Взаємодія струму ротора з основним магнітним потоком створює обертальний момент, ротор почне обертатися з певною швидкістю.

Е. р. с. в обмотці рухомого ротора буде $\vec{E}_{2s} = 4,44k_{об2}f_2w_2\vec{\Phi}_1 = 4,44k_{об2}f_1sw_2\vec{\Phi}_1 = s\vec{E}_2$.

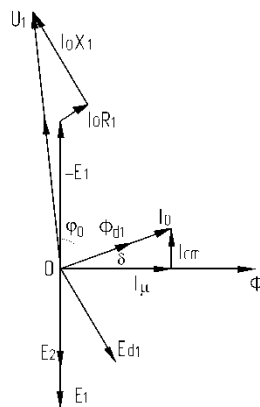


Рис. 1. Діаграма холостого ходу двигуна

Якщо вал двигуна не навантажено, то $n_2 \approx n_1$ і ковзання наближається до нуля; тоді е. р. с. ротора \vec{E}_{2s} стає дуже малою. Із збільшенням навантаження ковзання двигуна зростає і досягає номінального значення. При номінальному навантаженні $S_{nom} = (2-6)\%$. Потік розсіювання ротора $\vec{\Phi}_{d2}$, перетинаючи витки ротора, наводить у них е. р. с. розсіювання ротора \vec{E}_{d2} .

Рівняння рівноваги е. р. с. ротора буде таке: $\vec{E}_{2s} = \vec{I}_2 R_2 + \vec{I}_2 X_{2s}$, де $\vec{I}_2 R_2$, $\vec{I}_2 X_{2s}$ – спад напруги відповідно на активному і реактивному опорах ротора. Індуктивний опір визначають так: $X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 s L_2$.

Величину струму ротора можна знайти з формули: $I_2 = \frac{E_{2s}}{Z_{2s}} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}}$.

Струм ротора I_2 відносно струму статора I_1 перебуває у протифазі, тобто зсунутий майже на 180° . При запуску двигуна струм I_2 має найбільше значення, оскільки $E_{2s} = E_2$ і відстає від е. р. с. E_{2s} на кут ψ_2 близький до 90° , тому що в початковий момент пуску опір $X_{2s} = X_2$ у 8-10 раз більший за R_2 і є суто реактивним. Коли ротор починає обертатися, зменшується ковзання s , а отже, E_{2s} і I_2 зменшується також X_{2s} , тому кут зсуву між струмом і е. р. с. також зменшується.

Струм ротора I_2 змінюється з частотою $f_2 = sf_1$ і створює магнітний потік Φ_2 , який обертається відносно ротора з швидкістю $n = \frac{60f_2}{p} = \frac{60sf_1}{p} = n_1 s$. Оскільки ротор у свою чергу обертається з швидкістю n_2 , то магнітне поле Φ_2 обертатиметься відносно статора з швидкістю $n_1 s + n_2 = n_1 s + n_1(1-s) = n_1$. Отже, магнітне поле ротора Φ_2 обертається в просторі незалежно від режиму роботи двигуна з тією самою швидкістю і в тому самому напрямі, що й магнітне поле статора Φ_1 .

Результуючий магнітний потік машини дорівнює векторній сумі потоків статора і ротора $\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2$ (1)

Цей потік переносить енергію від статора до ротора. За другим законом Кірхгофа для обмотки статора двигуна можна записати $\vec{U}_1 = (-\vec{E}_1) + \vec{I}_1 R_1 + \vec{I}_1 X_1$. Прикладена напруга \vec{U}_1 дорівнює векторній сумі складової напруги $(-\vec{E}_1)$, спаду напруги на активному опорі $\vec{I}_1 R_1$ і спаду напруги на реактивному опорі обмотки статора $\vec{I}_1 X_1$.

Внутрішній спад напруги в обмотці статора $\vec{I}_1 Z_1$ навіть при номінальному навантаженні двигуна становить кілька відсотків від напруги мережі \vec{U}_1 . Тому можна вважати, що $E_1 = U_1$. Оскільки напруга мережі практично незмінна, то й $E_1 = const$, і отже, $E_1 \sim \Phi \sim U = const$, тобто робочий магнітний потік двигуна пропорційний напрузі мережі й практично не залежить від навантаження. Виходячи з цього, робочий потік можна визначити за формулою для

холостого ходу $\vec{\Phi}_0 = \frac{\vec{I}_1 w_1}{R_\mu}$ а

магнітні потоки статора і ротора при навантаженні можна записати:

$$\vec{\Phi}_1 = \frac{\vec{I}_1 w_1}{R_\mu},$$

$$\vec{\Phi}_2 = \frac{\vec{I}_2 w_2}{R_\mu}.$$

Підставивши в (1) одержимо рівняння намагнічуючих сил асинхронного двигуна:

$$\vec{I}_0 w_1 = \vec{I}_1 w_1 + \vec{I}_2 w_2 \quad \text{звідки}$$

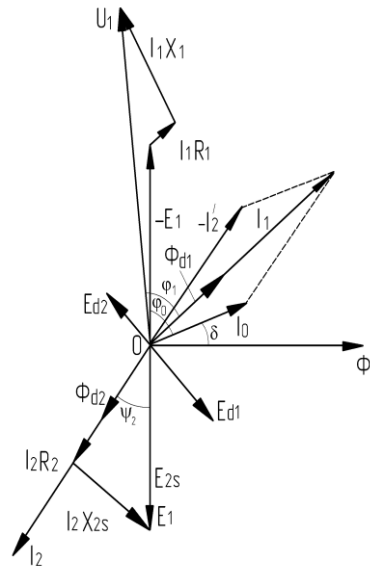


Рис. 2. Векторна діаграма трифазного двигуна при навантаженні

знаходимо рівняння струмів двигуна $\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + \left(-\vec{I}_2 \frac{w_2}{w_1} \right)$.

Отже, струм статора \vec{I}_1 дорівнює векторній сумі струму холостого ходу \vec{I}_0 і взятого з оберненим знаком зведеного значення струму ротора $\vec{I}_2 \frac{w_2}{w_1}$. Роботу двигуна при навантаженні доцільно аналізувати за векторною діаграмою (рис. 2).

У статор асинхронного двигуна надходить із мережі потужність $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$.

Внаслідок втрат частини цієї потужності у статорі (електричні та магнітні втрати статора) у ротор надходить електромагнітна потужність $P_{em} = M w_1$, де M – електромагнітний момент асинхронного двигуна. Якщо врахувати втрати потужності у роторі, то механічну потужність можна визначити за аналогічною формулою: $P_{em} = M w_2$. Електромагнітна потужність більша за механічну на величину втрат у роторі. Оскільки магнітні втрати у роторі наближаються до нуля, $P_{em} - P_{мех} = M(w_1 - w_2)$; $M(w_1 - w_2) = M w_1 S$;

$$M w_1 S = m_2 I_2^2 R_2; \quad M = \frac{m_2 I_2^2 R_2}{w_1 S}, \quad \text{де } m_2 - \text{число фаз обмотки}$$

ротора.

Втрати у роторі можна визначити за допомогою е.р.с. і струму обмотки ротора: $m_2 I_2^2 R_2 = M w_1 S = m_2 E_2 I_2 \cos \psi_2$, де ψ_2 – зсув фаз між е.р.с. та струмом. Виходячи з рівняння е. р. с. $\vec{E}_2 = 4,44 f_1 w_2 \vec{\Phi}$ електромагнітний момент можна визначити за

$$\text{формулою:} \quad M = \frac{4,44 m_2 f_1 w_2 S}{w_1 S} \Phi_m I_2 \cos \psi_2, \quad \text{де}$$

$$C = \frac{4,44 m_2 f_1 w_2}{w_1} \text{ стала машини і залежить від конструктивних}$$

особливостей машини. Остаточний вираз електромагнітного моменту має вигляд: $M = C\Phi_m I_2 \cos\psi_2$ – електромагнітний момент асинхронного двигуна пропорційний магнітному потоку та струму ротора.

Електромагнітний момент M залежить від ковзання. Використовуючи теорію трифазного двигуна можна визначити цю залежність:

$$M_{em} = \frac{C}{4,44k_{1об}w_1fk_e} \frac{E_1^2 s R_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2} = C_M E_1^2 \frac{s R_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2}$$

де $C_M = \frac{C}{4,44k_{1об}k_e w_1 f}$ – стала величина для машини.

Нехтуючи спадом напруги в обмотці статора і вважаючи, що е.р.с. статора E_1 і напруга сітки приблизно рівні й стали, тобто

$$E_1 \approx U_1 = const, \text{ матимемо: } M_{em} \cong C_M U_1^2 \frac{s R_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2}.$$

З формули видно, що обертальний електромагнітний момент залежить від однієї змінної s , тобто $M = f(s)$. Проте слід підкреслити, що це рівняння є приблизним, тому що при збільшенні навантаження двигуна спад напруги в обмотці статора значно зростає, а е. р. с. \vec{E}_1 відповідно зменшується, особливо в машинах малої потужності.

Залежність обертального моменту від ковзання показано на рисунку 3.

При збільшенні навантаження на вал двигуна збільшується ковзання s , внаслідок чого зростають струм ротора I_2 і електромагнітний момент до певного максимального значення M_{max} .

Якщо криву $M = f(s)$ повернути на 90° за годинниковою стрілкою і

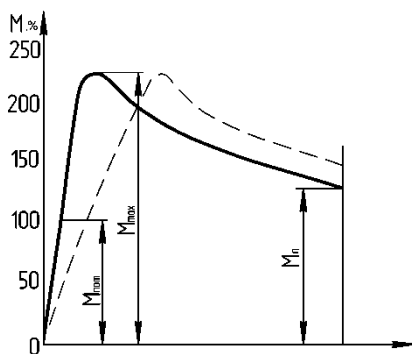


Рис. 3. Залежність обертального моменту від ковзання

по ординаті відкласти замість ковзання число обертів вала двигуна, то матимемо залежність $n = f(M)$ (рис. 4), яку називають механічною характеристикою, оскільки графік зв'яже між собою дві механічні величини – швидкість обертання ротора та обертальний момент двигуна.

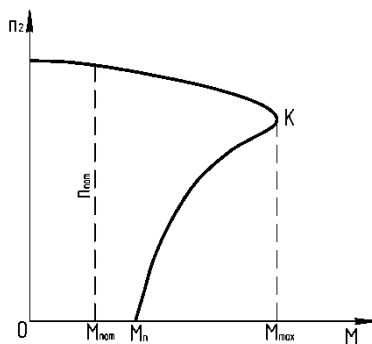


Рис. 4. Механічна характеристика

Механічну

характеристику поділяють на дві частини: верхню «стійку» робочу частину від $s = 0$ до $s = s_K$ і нижню «нестійку» частину від $s = s_K$ (точка K) до $s = 1$.

Для «стійкої» частини діє принцип саморегулювання двигуна. При збільшенні навантаження (гальмівного моменту) швидкість обертання ротора зменшується, ковзання збільшується, зростає струм ротора, а разом з ним і обертальний момент, який зрівноважує гальмівний момент. Настає рівновага моментів, але число обертів ротора буде трохи меншим від попереднього. Саморегулювання діятиме до точки K . На «нестійкій» частині (нижче точки K) збільшення гальмівного моменту призводить до різкого зростання ковзання і двигун практично відразу зупиняється.

Робочі характеристики трифазного двигуна показують залежність від потужності P_2 або від коефіцієнта завантаження

$\frac{P_2}{P_{2н}}$ таких величин: частоти

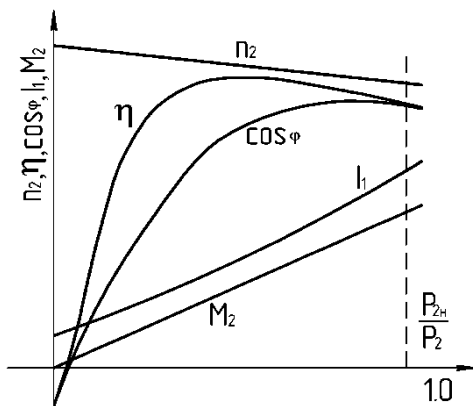


Рис. 5. Робочі характеристики двигуна

обертання ротора, коефіцієнта корисної дії, коефіцієнта потужності, струму статора, моменту на валу двигуна (рис. 5).

Більш докладну інформацію про трифазні асинхронні двигуни можна отримати із вказаної в інструкції літератури.

Установка для дослідження складається з трифазного асинхронного двигуна, на валу якого закріплено алюмінієвий диск. Алюмінієвий диск, перетинає поле постійного електромагніту, внаслідок чого відбувається його гальмування, а відповідно і навантаження на вал. В коло статора двигуна вмикають вольтметр, амперметр та ватметр, які вимірюють електричний режим двигуна.

Навантаження двигуна вимірюється посередньо. Для цього вимірюється струм і напруга, що поступають на постійний електромагніт.

Швидкість обертання ротора вимірюється електронним тахометром.

САМОСТІЙНА ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Ознайомитись з інструкцією та вказаною в ній літературою.

2. Ознайомитись з установкою для дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Звернути увагу на розміщення вимірювальних приладів.

3. Коротко письмово відповісти на одне з питань для перевірки, що приведені в кінці лабораторної роботи. Номер питання приймається за останньою цифрою залікової книжки.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з установкою для дослідження двигуна. Звернути увагу на спосіб навантаження двигуна. Записати паспортні дані двигуна до протоколу.

2. Ознайомитись з комутаційним обладнанням установки і вимірювальними приладами, записати їх технічні характеристики. Перевірити готовність установки, обладнання і вимірювальних приладів до роботи.

3. Зібрати схему (рис. 6). Після перевірки схеми викладачем за допомогою вимикача S_1 запустити установку.

4. Встановити потрібний напрямок обертання двигуна (вказано стрілкою на корпусі) і підготуватись до проведення дослідів. Провести дослідження холостого ходу двигуна. Для цього встановити режим холостого ходу двигуна – **ЛАТР відключено, напруга на постійний електромагніт не подається**. Зняти покази вимірювальних приладів, результати записати до таблиці 1.

5. Зняти робочі характеристики досліджуваного двигуна. Для цього потрібно **підключити до мережі ЛАТР, який через випрямляч живить постійним струмом електромагніт**. Поступово навантажувати двигун, змінюючи за допомогою ЛАТРа напругу на постійному магніті. Навантажувати двигун від I_{Ixx} до $1,2I_{ном}$ (номінальний струм вказано в паспорті двигуна). Результати записати до таблиці 1.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Будова та принцип дії трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

2. Чим визначається швидкість обертання обертового магнітного поля двигуна і як залежить вона від навантаження?

3. Чому пусковий струм двигуна більше номінального?

4. Накреслити і пояснити векторну діаграму асинхронного двигуна при навантаженні.

5. Накреслити і пояснити схему заміщення асинхронного двигуна.

6. Від чого залежить к.к.д. асинхронного двигуна?

7. Привести і пояснити енергетичну діаграму асинхронного двигуна.

8. Чому із збільшенням навантаження оберти асинхронного двигуна зменшуються?

9. Привести і пояснити робочі характеристики асинхронного двигуна.

10. Привести і пояснити механічні характеристики двигуна.

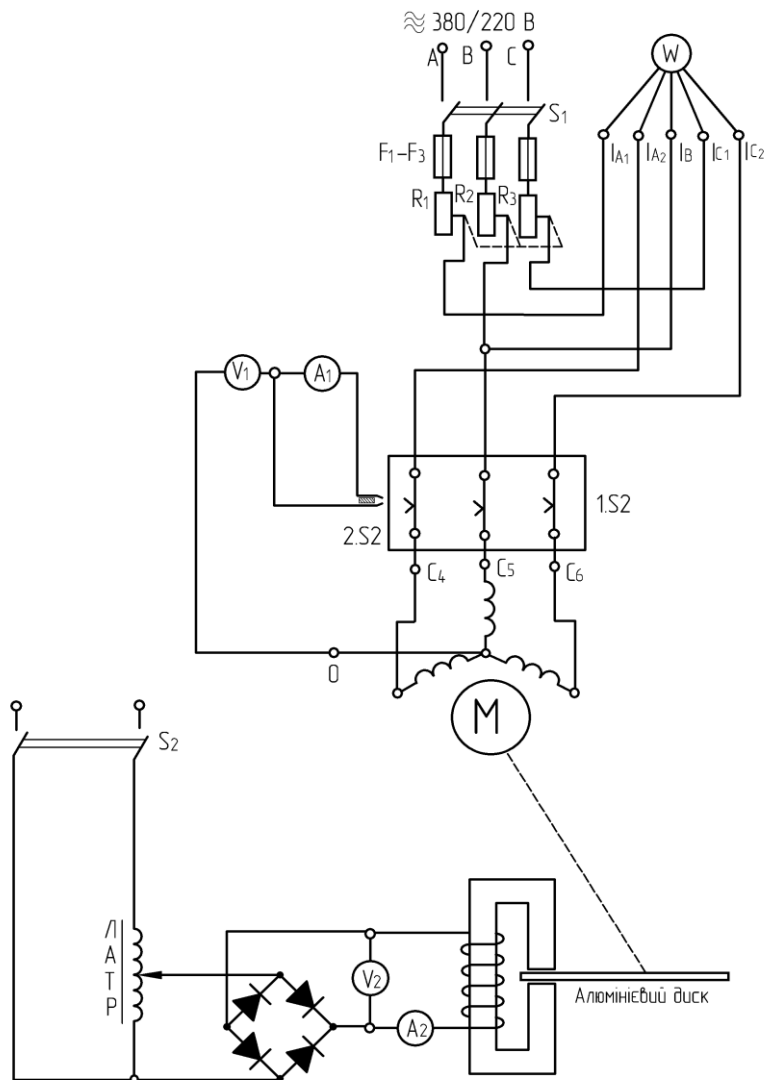


Рис. 6. Схема для дослідження трифазного асинхронного двигуна

ЛІТЕРАТУРА

1. Загальна електротехніка / В.А.Вартабедян – 4-е вид., перероб. и доп. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1986. – С. 131-150.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат. 1983. – С. 341-366.
3. Электротехника / А.П. Трегуб; Под ред. Э.В. Кузнецова. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – С. 391-415.
4. Борисов Ю.М. Липатов Д.Н. Общая электротехника. Учеб пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1974. – С. 352-372.
5. Волынский Б.А. и др. Электротехника / Б.А. Волынский, Е.Н. Зейн, В.А. Шатерников: Учеб пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 528 с. – С. 392-405.
6. Общая электротехника: Учеб. пособие для вузов / Под ред. д-ра техн. наук А.Т. Блажжина. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1986. – 592 с. – С. 301-336.

ЗВІТ ДО РОБОТИ

1. Результати дослідження двигуна в режимі холостого ходу та навантаження запишіть в таблицю 1.

Таблиця 1

№	Досліди	Виміряти							
		U_1	I_A	I_B	I_C	P_1	n_2	U_2	I_2
1	Холостий хід								
2	Режим навантаження								
3									
4									
5									
6									
7									

8									
9									
10									

2. Зробіть необхідні обчислення і занесіть в таблицю 2 у відповідності до даних дослідження.

Таблиця 2

№	Досліди	Обчислити							
		S	$\cos \varphi$	$P_{вт}$	P_M	P_2	η	s	M
1	Холостий хід								
2	Режим навантаження								
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Повна споживана потужність знаходиться за формулою:

$$S = 3 * U_1 * I_1.$$

$\cos \varphi$ знаходиться так: $\cos \varphi = \frac{P_1}{S}.$

Втрати в двигуні: $P_{em} = P_{xx} + P_m$, де $P_m = 3 * I_1^2 * R$, ($R = Ом$)

Потужність на валу двигуна дорівнює: $P_2 = P_1 - P_{em}.$

коефіцієнт корисної дії дорівнює: $\eta = \frac{P_2}{P_1} * 100\%;$

ковзання двигуна визначають за формулою:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} * 100\%;$$

Момент на валу двигуна дорівнює: $M = \frac{P_2}{2\pi n_2}.$

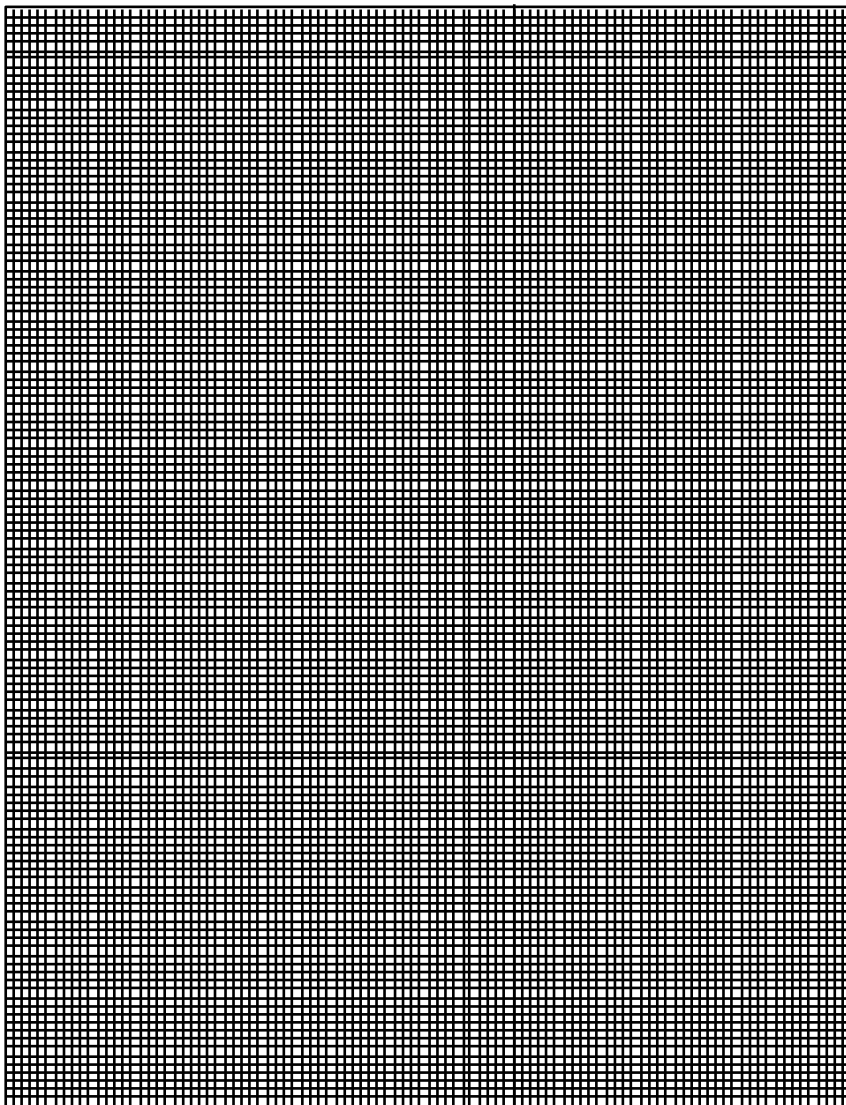
6. Побудуйте робочі характеристики двигуна в одній системі координат згідно з результатами вимірів:

$$I_1, \cos \varphi, n_2, M, s = f(P_2).$$

7. Побудуйте механічні характеристики двигуна $M = f(S); n = f(M)$ в різних системах координат.

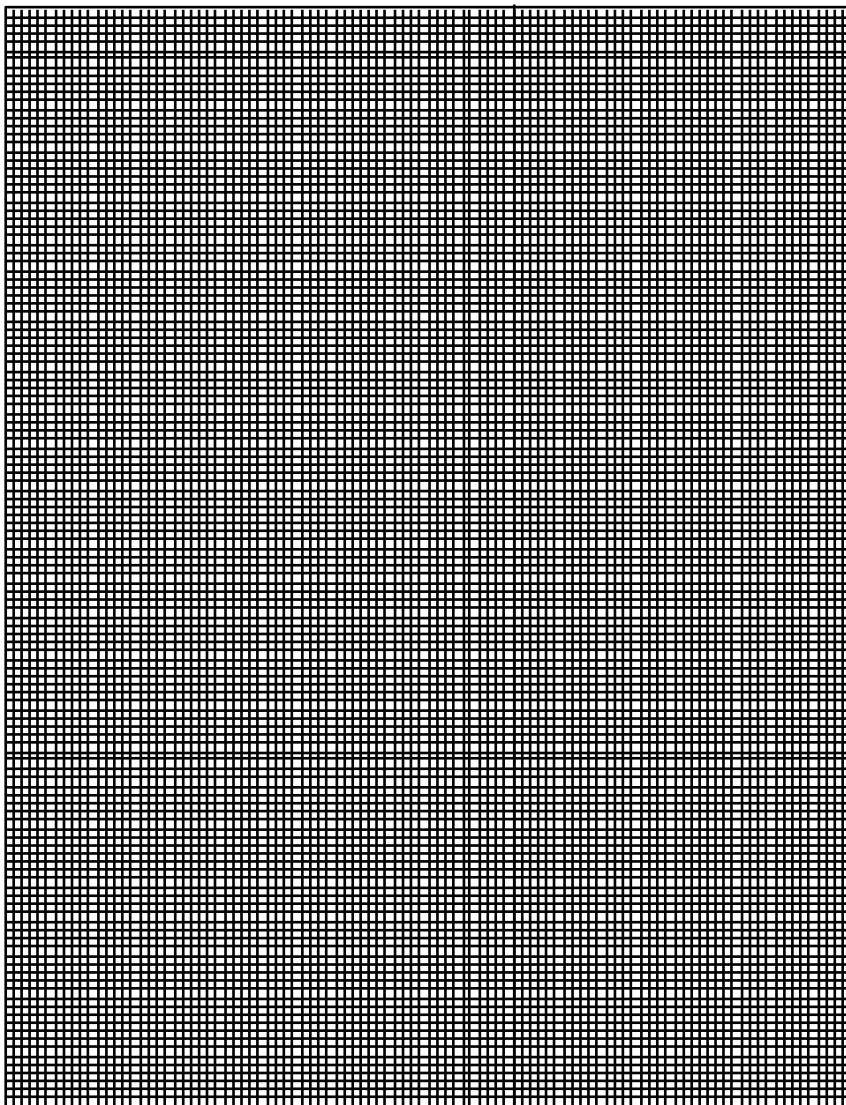
8. Зробіть висновки по роботі.

ГРАФІКИ ЗАЛЕЖНОСТІ $I_1, \cos \varphi, n_2, M, s = f(P_2)$



МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

$$M = f(S); n = f(M)$$



РОЗРАХУНКИ ТА ВИСНОВКИ

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

ХОВРИЧ

Микола Олександрович

**Методичні рекомендації до лабораторних робіт з курсу
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»**

Технічний редактор	<i>О. Клімова</i>
Комп'ютерна верстка та макетування	<i>М. Ховрич</i>
Комп'ютерний набір	<i>М. Ховрич</i>

Ховрич М.О.

X 68 **Методичні рекомендації до лабораторних робіт з курсу
«Електротехніка». Частина 2.** – Чернігів: Національний
університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка 2018.
– 79 с.

ББК 32
УДК 621.3

Підписано до друку 24.12.18. Формат 60x84 1/16.

Папір офсетний. Друк на різнографі.

Ум. друк арк. 3,26. Обл.-вид. 1,95.

Наклад 100 прим. Зам. № 219.

Редакційно-видавничий відділ ЧДПУ імені Т.Г.Шевченка.

14013, вул. Гетьмана Полуботка, 53, к. 208.

Тел. 65-17-99.