

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ **”ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ”**,
З РОЗДІЛУ **“АСИНХРОННІ МАШИНИ”**
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗА НАПРЯМАМИ 6.050702 – «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА» І
6.050701 – «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ»
(У ТОМУ ЧИСЛІ ДЛЯ СКОРОЧЕНОГО ТЕРМІНУ НАВЧАННЯ)

Кременчук 2010

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни “Електричні машини” з розділу “Асинхронні машини” для студентів денної та заочної форм навчання за напрямами 6.050702 – «Електромеханіка» і 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» (у тому числі для скороченого терміну навчання)

Укладачі: к.т.н., професор В. О. Некрасов,
к.т.н., доцент А. В. Некрасов,
д.т.н., с.н.с., професор А.П. Ращепкін,
асист. Р.М. Донченко,
асист. В.В. Ромашина

Рецензент к.т.н., доц. В.В. Прус

Кафедра електричних машин та апаратів

Затверджено методичною радою КНУ імені Михайла Остроградського

Протокол № ____ від _____ 2010

Заступник голови методичної ради _____ доц. С.А. Сергієнко

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Загальні відомості щодо виконання лабораторних робіт та техніка безпеки.....	5
Перелік лабораторних робіт	
Лабораторна робота №3 Дослідження асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.....	8
Лабораторна робота №4 Дослідження асинхронного двигуна з фазним ротором.....	27
Список літератури.....	39

ВСТУП

Курс "Електричні машини" призначений для оволодіння теоретичними та практичними знаннями процесів електромеханічного перетворення енергії, загальними принципами роботи, функціональної та конструкторської побудови електричних машин.

Знання, набуті студентами під час освоєння курсу, використовують під час вивчення наступних професійно-орієнтованих дисциплін.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з вивчення навчальної дисципліни „Електричні машини” для студентів за напрямками «електромеханіка» і «електротехніка та електротехнології», мають за мету поглибити знання під час виконання лабораторних робіт.

Для підготовки до захисту після кожної лабораторної роботи наведені питання, на які студент повинен дати вірні відповіді.

Лабораторні роботи з курсу „Електричні машини” є невід’ємною частиною курсу. Даними методичними вказівками передбачено виконання двох лабораторних робіт з розділу: асинхронні машини.

Дані лабораторні роботи виконують в обсязі згідно із робочою програмою.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Виконання лабораторних робіт

1. Виконання лабораторної роботи складається з роботи студента у лабораторії, а також самостійної роботи.
2. Самостійно робота студента передбачає:
 - а) теоретичну підготовку до наступної роботи;
 - б) підготовку відповідей на контрольні запитання, що наведені у роботі;
 - в) аналіз результатів дослідів, що виконувались у лабораторії;
 - г) оформлення звітів про виконання лабораторних робіт.
3. Теоретична підготовка до наступної лабораторної роботи передбачає:
 - а) проробку розділів теорії, що визначають зміст та методику досліджень;
 - б) проробку методичних вказівок до лабораторної роботи з використанням рекомендованих підручників та посібників;
 - в) оформлення бланку до звіту про виконання лабораторної роботи.
4. Робота студента у лабораторії передбачає наступні етапи:
 - а) отримання допуску до лабораторної роботи;
 - б) отримання дозволу на ввімкнення лабораторної установки (стенда);
 - в) проведення дослідів та запис результатів вимірів;
 - г) захист звітів про виконання лабораторних робіт.

Оформлення звітів про виконання лабораторних робіт

1. Звіти про виконання лабораторних робіт складаються окремо для кожної лабораторної роботи.
2. До складу кожного звіту повинні входити: номер, назва, мета, програма роботи, електрична схема, таблиці, розрахункові формули та висновок.
3. Після виконання останньої в семестрі лабораторної роботи оформлюється загальна титульна сторінка для всіх робіт.

Захист звітів про виконання лабораторних робіт

1. Захист звітів про виконання лабораторних робіт здійснюється кожним студентом окремо.
2. Захист звітів про виконання лабораторних робіт здійснюється як під час проведення лабораторних робіт за розкладом, так і під час додаткових консультацій.
3. Студенти, які не виконали всі лабораторні роботи або не захистили всі звіти, передбачені навчальним планом, не допускаються до екзамену (заліку).

Техніка безпеки

У лабораторії «Електричні машини» використовується напруга змінного і постійного струму до 380 В. При недотриманні правил техніки безпеки така напруга становить серйозну небезпеку.

Опір тіла людини визначається головним чином опором шкірного покриву, що істотно залежить від ступеня зволоження, наявності ушкоджень і т.д. Тому цей опір може змінюватися в дуже широких межах. У розрахунках з техніки безпеки звичайний опір тіла людини беруть рівним 1 кОм.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, виконує тепловий, хімічний і біологічний вплив. Хімічна дія струму веде до електролізу крові та інших розчинів, які містяться в організмі, що призводить до зміни їхнього хімічного складу. Біологічна дія електричного струму виявляється в небезпечному порушенні живих клітин організму, що може супроводжуватися судомогами, явищами паралічу.

Ступінь ураження людини і величина електричного удару залежать головним чином від значення струму, який проходить через тіло людини, а також шляху проходження струму в тілі людини і тривалості його проходження.

Основні правила з техніки безпеки

1. Перед початком складання схеми необхідно переконатися в тому, що автоматичний вимикач на стенді знаходиться у вимкненому стані.
2. Вимірювальні прилади і досліджувані апарати необхідно розміщати таким чином, щоб у процесі виконання роботи була виключена можливість випадкового дотику до оголених струмоведучих частин.
3. Не допускається використання приладів та апаратів з несправними затискачами, провідників з ушкодженою ізоляцією, несправних реостатів, тумблерів та іншого устаткування.
4. Складання схеми необхідно виконувати за можливості без перехрещування провідників, не можна натягувати і згинати провідники. Використані провідники необхідно прибрати з робочого місця.
5. Категорично забороняється проводити будь-які операції на головних розподільних щитах, а також за межами робочого місця.
6. Напругу на схему подають тільки після дозволу викладача, попередивши про це всіх студентів, які працюють на даному робочому місці. При цьому рукоятки регуляторів напруги повинні знаходитися на нульовій позначці.
7. У випадку припинення досліду або перерви в роботі схему необхідно відключити від мережі живлення.
8. Під час лабораторної роботи забороняється: робити перекомутації провідників схеми, яка знаходиться під напругою; торкатися до оголених струмоведучих частин; вмикати схему після будь-яких змін у ній до перевірки викладачем; залишати без догляду схему, яка знаходиться під напругою.
10. У всіх випадках виявлення несправного устаткування, вимірювальних приладів, провідників, з появою специфічного запаху, диму, потрібно вимкнути напругу і негайно сказати про це викладачеві.
11. Після закінчення роботи необхідно вимкнути напругу, розібрати схему, упорядкувати робоче місце.

Лабораторна робота №3

Дослідження асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (стенд № 3)

Мета роботи - визначення експлуатаційних властивостей асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором методом безпосереднього навантаження та за допомогою дослідів холостого ходу (ХХ) та короткого замикання.

3.1 Програма роботи

3.1.1 Вивчити за рекомендованою літературою, навчальними плакатами, діафільмами, кінофільмами, і лабораторними макетними стендами конструкцій, принцип дії трифазного асинхронного двигуна з КЗ ротором, його механічні й робочі характеристики і методику їх знімання, порядок проведення дослідів ХХ, КЗ і безпосереднього навантаження асинхронного двигуна, побудову кругової діаграми і на її основі робочих характеристик асинхронного двигуна.

3.1.2 Зробити прямий, автотрансформаторний пуск асинхронного двигуна і здійснити його реверс.

3.1.3 Зняти експериментальні дані асинхронного двигуна з КЗ ротором при різних значеннях напруги мережі методом безпосереднього навантаження і побудувати його механічні та робочі характеристики.

3.1.4 Провести дослід ХХ і КЗ асинхронного двигуна; на основі отриманих даних побудувати кругову діаграму і на її основі робочі характеристики асинхронного двигуна.

3.1.5 Порівняти робочі характеристики, отримані при використанні дослідів безпосереднього навантаження й дослідів ХХ і КЗ за допомогою кругової діаграми.

3.1.6 Провести аналіз механічних і робочих характеристик асинхронного двигуна з КЗ ротором і зробити висновки про його експлуатаційні властивості.

3.3 Опис установки, обладнання і приладів

Електрична схема для дослідження асинхронного двигуна з КЗ ротором наведена на рис.1. Лабораторний стенд (рис.1) уміщує механічно з'єднані на валу асинхронного двигуна з КЗ ротором тахометр для вимірювання частоти обертання і електромагнітне гальмо для здійснення навантаження; щитові вимірювальні прилади, апаратуру для пуску і зупинки асинхронного двигуна.

Частини схеми, обведені пунктиром, зібрані всередині стенда. Подача й зняття змінної напруги на вхід трифазного ЛАТРа здійснюється автоматом пусковим (АП), який знаходиться на правій боковій панелі стенда (управо – ввімкнений, уліво - вимкнений). Ключем S_2 подається напруга на однофазний ЛАТР2, яким регулюється випрямлений випрямлячем постійний струм обмотки електромагнітного гальма (Т) за A_5 .

Регулювання напруги U_1 , що подається до клем A_2, B_2, C_2 на обмотки статора асинхронного двигуна, здійснюється лівою ручкою (1) трифазного ЛАТРа (ліве крайнє положення ручки 1 відповідає мінімальній напрузі на асинхронному двигуні, праве - максимальній). Інші виводи трифазного ЛАТРа $A_1, B_1, C_1, A_3, B_3, C_3$ і ручка 2 у даній роботі не використовуються. Величина активної потужності, що споживається асинхронним двигуном з мережі, контролюється за кіловатметром KW_8 , лінійні струми й напруга – відповідно за A_1, A_2, A_3, V_6 .

Перемикач (П) служить для перемикання тахометра при реверсі асинхронного двигуна (управо – обертання асинхронного двигуна за годинниковою, вліво – проти годинникової стрілки).

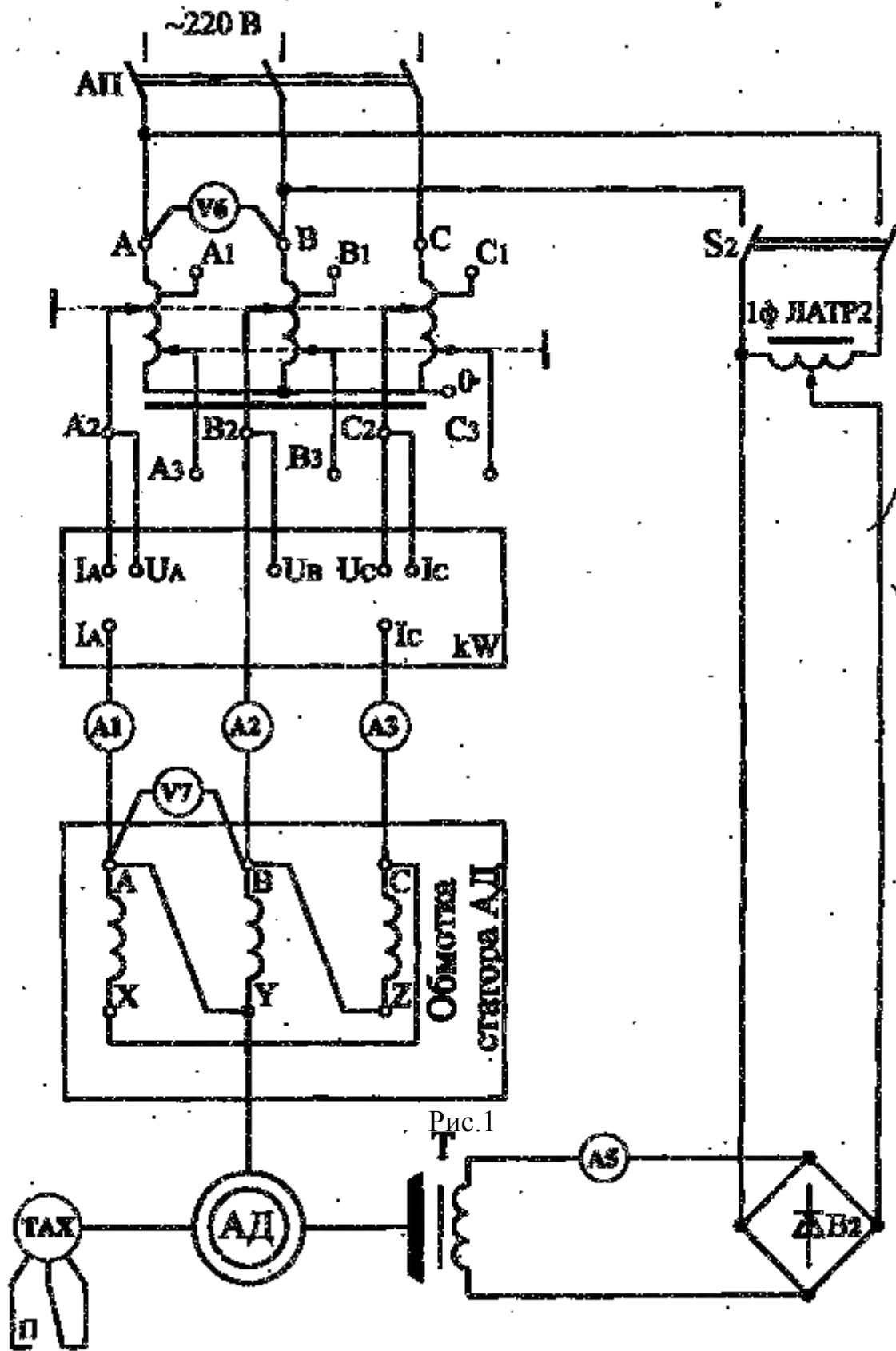


Рис. 1

3.4 Порядок виконання роботи

3.4.1 Записати паспортні дані асинхронного двигуна з КЗ ротором за формою, вказаною на заводській табличці.

3.4.2 Зібрати схему згідно із рис.1. Початкове положення апаратури: АП – увімкнено (вліво); ручка (1) трифазного ЛАТРа2 - у крайньому лівому положенні, що відповідає мінімальній напрузі, що подається на електромагнітне гальмо Т (струм по $A5=0$), перемикач П у правому положенні.

3.4.3 Здійснити прямий пуск асинхронного двигуна з КЗ ротором:

3.4.3.1 Ручку (1) трифазного ЛАТРа установити у крайнє праве положення (повзунки ЛАТРа вгорі).

3.4.3.2 Увімкнути АП (управо) і відразу спостерігати стрибки струму за $A1, A2, A3$ і потужності по $KW8$; після розгону асинхронного двигуна переко-натися за $A1, A2, A3$ у зменшенні струму, а по $KW8$ – у зменшенні потужності асинхронного двигуна при його роботі на XX

3.4.3.3 Зупинити асинхронний двигун поворотом ручки (1) трифазного ЛАТРа у крайнє ліве положення (повзунки ЛАТРа вниз), увімкнути $S2$ (вгору) і поворотом ручки однофазного ЛАТРа2 управо подати струм у котушку електромагнітного гальма Т (за $A I=I_A$). Тільки-но ротор асинхронного двигуна ЗУ-ПИНИТЬСЯ, повернути ручку однофазного ЛАТРа2 у крайнє ліве положення; вимкнути (вниз) $S2$ і АП (вліво).

3.4.4. Здійснити автотрансформаторний пуск асинхронного двигуна:

3.4.4.1 Увімкнути АП (вправо); плавно повертаючи ручку 1 трифазного ЛАТРа в крайнє положення (повзунки ЛАТРа вгорі), контролювати по $A1, A2, A3$ $I \leq 5$ А. Показання по $V7$ після пуску $U1 = 220$ В.

3.4.4.2. Зупинити асинхронний двигун, як вказано в пункті 3.4.3.3, запам'я-тавши напрямок обертання його ротора (за годинниковою стрілкою).

3.4.5. Виконати реверс асинхронного двигуна:

3.4.5.1 Поміняти місцями проводи фаз А і В; перемикач П тахометра установити у ліве положення.

3.4.5.2 Здійснити автотрансформаторний пуск згідно із п.3.4.4. Перекона-
тися, що ротор асинхронного двигуна обертається проти годинникової стрілки,
а стрілка тахометра повертається, як і раніше, за годинниковою стрілкою. Ре-
верс здійснено.

3.4.5.3 Зупинити асинхронний двигун, як вказано в пункті 3.4.3.3.

3.4.5.4 Перемикач П тахометра поставити в праве положення і поміняти
місцями проводи фаз А і В.

3.4.6 Зняти експериментальні дані асинхронного двигуна з КЗ ротором ме-
тодом безпосереднього навантаження при різних значеннях напруги на
живлення:

3.4.6.1 Здійснити прямий пуск асинхронного двигуна як вказано в пункті
3.4.3.

3.4.6.2 Установити ручкою 1 трифазного ЛАТРа за V7 $U_1=U_n=220\text{В}$ і за-
писати показання приладів до табл.1.

3.4.6.3 Увімкнути S2 і, плавно повертаючи ручку однофазного ЛАТРа 2
управо (7 замірів не перевищуючи за A1, A2, A3 $I \leq 5\text{А}$), записувати щоразу по-
казання приладів до табл.1.

Показання тахометра з метою економії часу і точності відліків необхідно
записувати такими, які він показує, і тільки при підрахунках зменшити в 2 рази.

3.4.6.4 Вивести ручку однофазного ЛАТРа2 у ліве крайнє положення і вим-
кнути S2; установити ручкою трифазного ЛАТРа за V7 $U \approx 200\text{ В}$ і записати по-
казання приладів до табл.1.

3.4.6.5 Аналогічно до п. 3.4.6.3 зняти 7 замірів і записати кожного разу по-
казання приладів до табл.1.

3.4.6.6 Вивести ручку однофазного ЛАТРа2 у крайнє ліве положення і вим-
кнути S2; установити ручкою (1) трифазного ЛАТРа по V7 $U \approx 230\text{ В}$ і записати
показання приладів до табл.1.

3.4.6.7 Аналогічно до п. 3.4.6.3 зняти 7 замірів і записати щоразу показання
приладів до табл.1.

Таблиця 1

Напруга на АД	№ п/п	Виміряно							Підраховано				
		U_1	I_A	I_B	I_C	P_1	n	M	I	s	P_2	η	$\cos \varphi$
		В	А	А	А	кВт	об/хв	Нм	А	-	кВт	%	-
$U_1=U_H$	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
$U_1<U_H$	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
$U_1>U_H$	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												

3.4.6.8 Вивести ручку однофазного ЛАТРа 2 в крайнє лїве положення і зупинити асинхронний двигун згідно із п. 3.4.3.3.

3.4.7 Здійснити дослід ХХ асинхронного двигуна з КЗ ротором:

3.4.7.1 Здійснити прямий пуск асинхронного двигуна згідно із п. 3.4.3 Установити ручкою 1 трифазного ЛАТРа по V7 $U \approx 230$ В і записати показання приладів до табл.2.

Таблиця 2

№ п/п	Виміряно							Підраховано					
	U_1	I_A	I_B	I_C	P_0	n	r	I_0	$3I_0^2 r_1$	P_0'	$\cos\varphi_0$	$\sin\varphi_0$	$I_{ом}$
	В	А	А	А	кВт	об/хв	Ом	А	Вт	Вт	-	-	А
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

3.4.7.2 Плавно ручкою 1 трифазного ЛАТРа зменшити напругу на асинхронному двигуні по V7 до $U \approx 0,3U_n \approx 60$ В (приблизно 10 вимірів) і записати показання приладів до табл.2. Потім зменшити U_1 від 60 В до 0. В цьому проміжку напруги робота асинхронного двигуна нестійка, тобто частота обертання n весь час зменшується, тому показання приладів у цьому проміжку не записувати. Опір фази обмотки статора $r_1 = 13$ Ом.

3.4.7.3 Зупинити асинхронний двигун згідно із п. 3.4.3.3.

3.4.8 Здійснити дослід КЗ асинхронного двигуна з КЗ ротором:

3.4.8.1 Механічно застопорити ротор асинхронного двигуна (дерев'яний стрижень вставити між болтами муфти і кришкою підшипника асинхронного двигуна).

3.4.8.2 **Увага!** Подальші дії повинні бути швидкими і правильними, щоб не перегріти застопорений асинхронний двигун, тому що напругу подано, струм протікає, а ротор не обертається і вентиляція відсутня. Отже слід прорепетирувати пункти 3.4.8.3, 3.4.8.4, 3.4.8.5 без увімкнення АП.

3.4.8.3 Увімкнути АП поворотом управо ручки 1 трифазного ЛАТРа, збільшити по V7 $U_k \approx 100$ В (при цьому по A1, A2, A3 $I_k \approx 1,5 I_n \leq 5$ А) і записати показання приладів до табл. 3.

Таблиця 3

№ п/п	Виміряно					Підраховано					
	U_k	I_A	I_B	I_C	P_k	I_k	Z_k	r_k	x_k	$\cos\varphi_k$	$\sin\varphi_k$
	В	А	А	А	кВт	А	Ом	Ом	Ом	-	-
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											

3.4.8.4 Поворотом ручки 1 трифазного ЛАТРа вліво зменшити по V7 U_k до величини $\approx 30 \div 10$ В (приблизно 10 замірів, при цьому зафіксувати U_k , при якому розстопорений ротор не обертається); після цього зменшити U_k до 0, записуючи щоразу показання приладів до табл.3.

3.4.8.5 Вимкнути АП. Роботу закінчено.

3.5 Обробка результатів. Звіт

Підготувати звіт за наведеним нижче планом:

3.5.1 Назва, мета і програма роботи.

3.5.2 Паспортні дані асинхронного двигуна з КЗ ротором згідно із формою, вказаної на заводській табличці.

3.5.3 Схема установки згідно із рис.1.

3.5.4 Табл.1, 2, 3 з експериментальними і розрахунковими даними.

Розрахункові формули

Для дослідження безпосереднього навантаження

$$I = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} [A]; \quad s = \frac{n_0 - n}{n}; \quad P_2 = \frac{M \cdot n}{9750},$$

де M [Нм], n [об/хв], P_2 [кВт];

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%; \quad \cos \varphi = \frac{P_1 \cdot 10^3}{m U_1 I_1},$$

де P_1 [кВт]; $m=3$ – число фаз; U_1 [В] – фазна напруга обмотки статора (в роботі обмотки статора з'єднані Δ , тобто $U_{1\phi}=U_{1л}$); I_1 [А] – фазний струм обмотки

статора (при з'єднанні Δ I_1 у схемі лінійний, тому $I_{1\phi} = \frac{I_l}{\sqrt{3}}$);

$$n_0 = \frac{60f}{p},$$

де $f=50$ Гц – частота мережі; p – число пар полюсів, для даного двигуна $p=2$.

Для дослідження ХХ

$$I_0 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} [A]; \quad r_{1\phi}=15 \text{ Ом (для даного двигуна);}$$

$$P_0' = P_0 - 3I_0^2 r_1 \cdot 10^{-3} = \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} - \text{постійні втрати [кВт] в сталі і механічні,}$$

де P_0 [кВт],

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_1 I_0 10^{-3}},$$

де P_0 [кВт];

U_1 [В]; I_0 [А] - відповідно лінійні напруга і струм;

$$I_{0M} = I_0 \sin \varphi_0 \text{ [А] – струм, що намагнічує.}$$

Для досліду КЗ

$$I_K = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \text{ [А]; } \cos \varphi_0 = \frac{P_k}{\sqrt{3}U_k I_k 10^{-3}},$$

де P_k [кВт];

U_k [В], I_k [А] - відповідно лінійні напруга і струм;

$$z_K = \frac{U_K \sqrt{3}}{I_K}; \quad r_K = z_K \cos \varphi_K; \quad x_K = z_K \sin \varphi_K.$$

1.5.5 Побудова механічних характеристик асинхронного двигуна з КЗ ротором: $n=f(M)$ і $M=f(s)$ при різних значеннях напруги асинхронного двигуна ($U_1=U_H$; $U_1<U_H$; $U_1>U_H$). Їх приблизний вигляд показано на рис.2 і рис.3.

Формули, що необхідні для побудови цих характеристик:

$$M_H = \frac{9750P_H}{n_H} \text{ [Нм], де } P_H \text{ [кВт]; } n_H \text{ [об.хв]; } M_H=(1,1 \div 1,6)M_H;$$

$$M_k = \gamma M_H = (1,6 \div 2,5M_H); \quad M_{n1} = M_n \left(\frac{U_1 < U_H}{U_H} \right)^2; \quad M_{n2} = M_n \left(\frac{U_1 > U_H}{U_H} \right)^2;$$

$$M_{K1} = M_K \left(\frac{U_1 < U_H}{U_H} \right)^2; \quad M_{K2} = M_K \left(\frac{U_1 > U_H}{U_H} \right)^2;$$

$$S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0}; \quad S_K = S_H \left(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1} \right); \quad n_K = n_0(1 - S_K);$$

Характеристика $M=f(s)$, а за нею і $n=f(M)$ (особливо нестійкі її ділянки, які не знімалися: $a\bar{b}$, $a_1\bar{b}_1$, $a_2\bar{b}_2$) будується за формулою Клосса:

$$M = \frac{2M_K}{\frac{S}{S_K} - \frac{S_K}{S}}$$

3.5.6 Побудова в одній системі координат для трьох значень напруги робочих характеристик асинхронного двигуна з КЗ ротором: S , r , $\cos \varphi$, I , n , $M=f(P_2)$, приблизний вигляд яких для номінального режиму наведено на рис.4.

Щоб характеристики добре переглядалися в одній системі координат, їх необхідно виконати для кожного випадку в різних кольорах.

Масштаби, що рекомендуються для рис.4

$$M_S = \frac{0,1}{1\text{см}}; \quad M_\eta = \frac{10\%}{1\text{см}}; \quad M_{\cos\varphi} = \frac{0,1}{1\text{см}}; \quad M_I = \frac{0,5A}{1\text{см}};$$

$$M_n = \frac{100\text{об/хв}}{1\text{см}}; \quad M_M = \frac{0,5\text{Nm}}{1\text{см}}; \quad M_p = \frac{0,1\text{кВт}}{1\text{см}}.$$

3.5.7 Побудова в одній системі координат за даними дослідів x_k і КЗ асинхронного двигуна з КЗ ротором характеристик: $\cos \varphi_0$, I_0 , I_{0M} , P_0 , $P_0' = f(U_1)$ і x_k , r_k , z_k , $\cos \varphi_k$, P_k , $I_k = f(U_k)$, приблизний вигляд яких наведено відповідно на рис.5,6. Визначення за ними номінальних значень функцій, необхідних для побудови кругової діаграми.

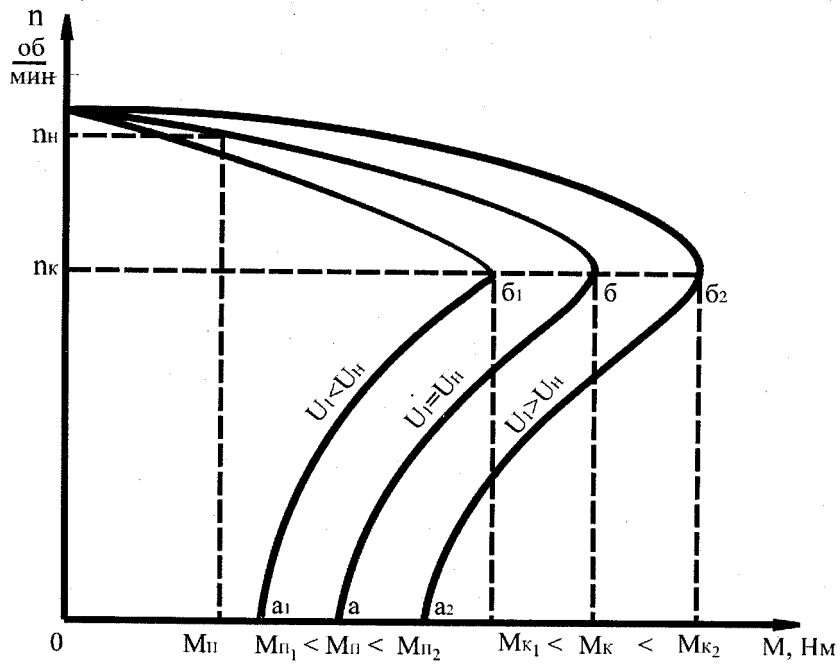
3.5.8 Побудова на основі експериментальних і розрахункових даних дослідів XX і КЗ асинхронного двигуна з КЗ ротором кругової діаграми, приблизний вигляд якої наведено на рис.7.

Побудова виконується у наступному порядку:

3.5.8.1 Проводять осі координат; вектор U_{1H} з точки O вгору (у масштабі

$M_U = \frac{2B}{\text{мм}}$); вибирають масштаб струму $m_I = \frac{0,2A}{\text{мм}}$; проводять I_0 під кутом

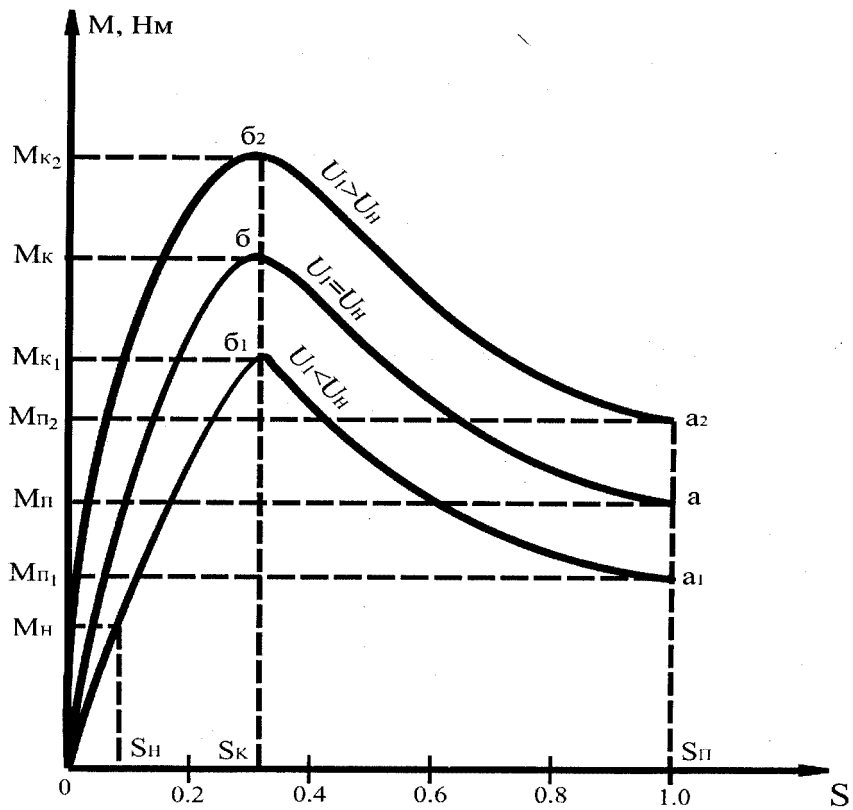
$\varphi_0 U_{1H}$ (точка H); проводять I_{1K} під кутом $\varphi_k U_{1H}$ (точка K).



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_M = 1 \text{ Нм/см}; M_n = 100 \text{ об/хв/см}$$

Рис.2



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_M = 1 \text{ Нм/см}; M_s = 0,1/\text{см}$$

Рис.3

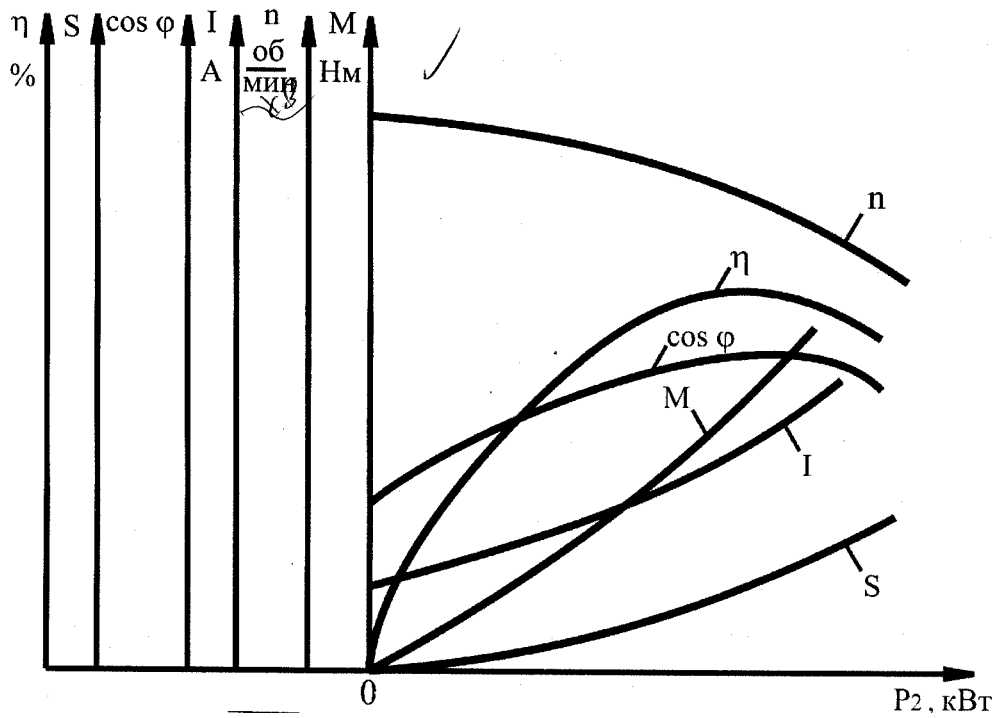
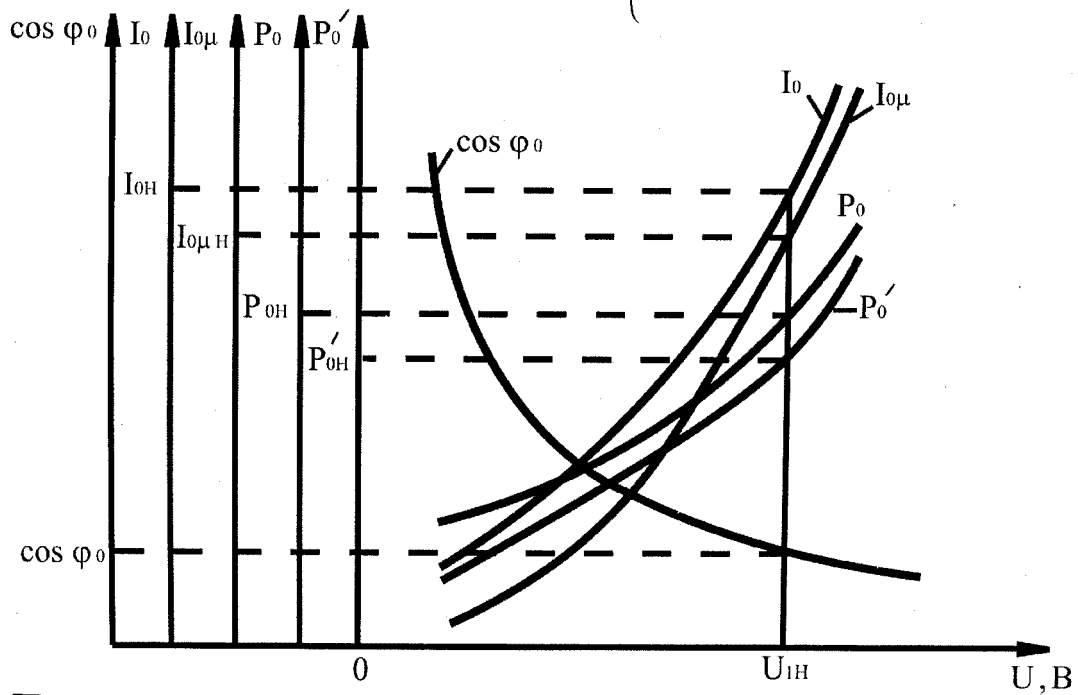


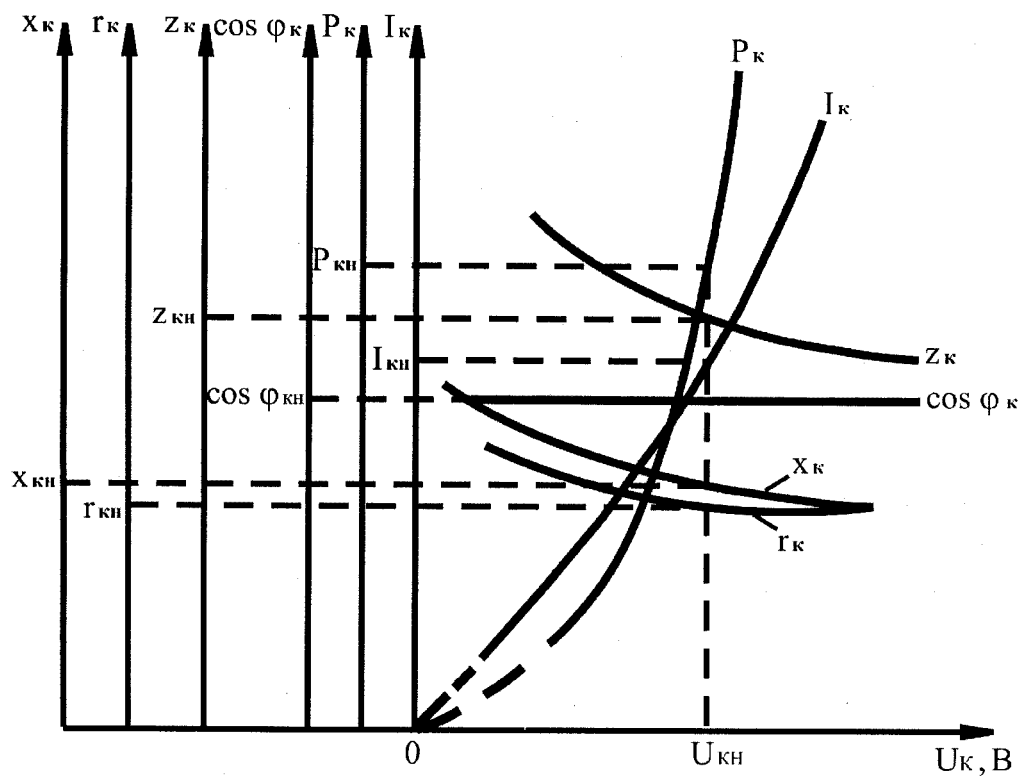
Рис.4



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_{\cos \varphi} = 0,1/\text{см}; M_I = 0,2\text{А}/\text{см}; M'_{P_0} = 5\text{Вт}/\text{см}; M_{P_0} = 20\text{Вт}/\text{см}; M_U = 20\text{В}/\text{см}$$

Рис.5



Масштаби, що рекомендуються:

$M=50\text{Om/cm}$; $M_{\cos\varphi}=0,1/\text{cm}$; $M_P=50\text{Вт/cm}$; $M_I=0,5\text{А/cm}$; $M_U=20\text{В/cm}$

Рис.6

$$I_{1K} = I_{1H} \frac{U_{1H}}{U_{1K}},$$

де $U_{1K}=U_{KH}$ з рис.6 по I_{KH} ; проводять відрізок НК, а потім – відрізок НС паралельно до осі абсцис; ділять відрізок НК навпіл (точка М), з точки М перпендикулярно відрізку НК проводять пунктир МО (до перетину з відрізком НС); з O_2 радіусом O_2H проводять коло струмів.

3.5.8.2 Використовують кругову діаграму для визначення струмів. З точки О у масштабі струмів відкладають вектор I_{1H} так, щоб його кінець (точка Д) лежав на колі струмів

$$OD = \frac{I_{1H}}{m_I} [\text{мм}].$$

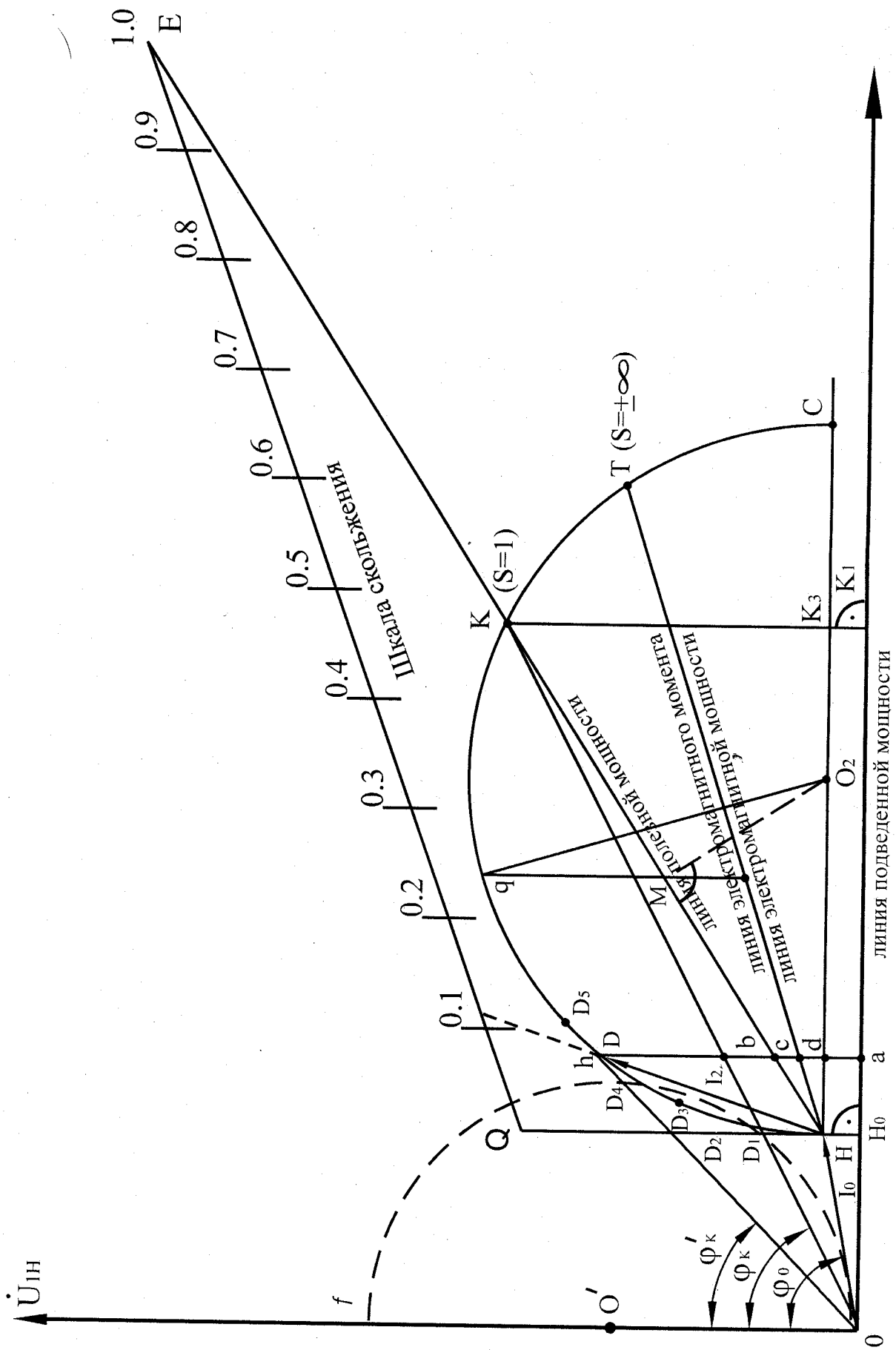


Рис.7

З'єднавши точки ОД і Н, отримують трикутник ОДН, сторони якого визначають струми

$$I_0 = m_I OH; I_2' = m_I HD; I_1 = m_I OD.$$

Опускають перпендикуляр ДА з точки Д на вісь абсцис і отримують активну і реактивну складові струму статора

$$I_{1a} = m_I DA; I_{1p} = m_I OA.$$

3.5.8.3 Визначають за круговою діаграмою потужність, що підводиться. Відомо, що $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$, але тому, що $U = \text{const}$, а $I_1 \cos \varphi_1 = I_{1a}$, то $P_1 \propto I_{1a}$, тому $P_1 = m_p Da$, де $m_p = m_1 U_1$ – масштаб потужності [Вт/мм]. Потужність, що підводиться, відраховують від лінії абсцис, яку називають лінією потужності, що підводиться.

3.5.8.4. Визначають за круговою діаграмою корисну потужність. Її відраховують від кола струмів по прямій, що з'єднує точки на колі струмів, в якій корисна потужність $P_2 = 0$. Такою прямою є НК (тому що в точках Н і К $P_2 = 0$, тобто в режимах ХХ і КЗ). Таким чином, НК – лінія корисної потужності

$$P_2 = m_p Dv.$$

3.5.8.5 Визначають за круговою діаграмою електромагнітну потужність і електромагнітний момент.

Величина електромагнітної потужності визначається положенням її лінії. Для побудови електромагнітної потужності треба провести лінію через точки на колі струмів, у яких ця потужність дорівнює 0 (точки Н і Т). Точку Н отримують з дослідів ХХ ($S=0$), а точку Т при $S = \pm\infty$. Але точку Т неможливо отримати при $S = \pm\infty$, тому будують лінію за Н і K_2 . K_2 визначають шляхом

поділу відрізка KK_3 на дві частини у співвідношенні $\frac{KK_3}{K_2K_3} = \frac{r_K}{r_1}$,

де $r_K = \frac{P_K}{m_1 I_{1H}^2}$ (з дослідів КЗ); $r_1 = 150 \text{ Ом}$ (дано раніше).

Для точки Д $P_{EM} = m_p DC$.

Електромагнітний момент для асинхронного двигуна

$$M = \frac{P_{EM}}{\omega_1} = \frac{30P_{EM}}{\pi n_1} = \frac{30m_p DC}{\pi n_1}, \text{ або } M = m_M DC,$$

де $m_M = \frac{30m_p}{\pi n_1}$ [Нм/мм], або $m_M = 0.975 \frac{m_p}{n}$ [кГм/мм].

НТ – це лінія електромагнітної потужності й лінія електромагнітного моменту.

3.5.8.6 Визначають за круговою діаграмою коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$).

На осі ординат будують півколо (з центром O_1) довільного діаметра, але так, щоб це півколо проходило через точку O . Тоді $\cos\varphi = \frac{Oh}{Of}$. Для зручності

діаметр півкола беруть рівним 100 мм. Тоді $\cos\varphi_1 = \frac{Oh}{100}$.

3.5.8.7 Визначають за круговою діаграмою ковзання. Через точку H перпендикулярно осі абсцис проводять H_0Q (точка Q довільно). Паралельно лінії електромагнітної потужності НТ з Q проводять QE і, беруть її за одиницю, ділять на 10 частин. Таким чином отримують шкалу ковзання (змінюється від 1 до 0). Для точки D (наприклад) значення S визначається положенням лінії HD до перетину зі шкалою i , як видно з рис.7. $S=0,125$.

3.5.8.8 Визначають за круговою діаграмою ККД. Відомо, що $P_2=m_p Dv$, $P_1=m_p Da$, тоді $\eta = \frac{Db}{Da}$. Але цей спосіб дає велику похибку, тому що не враховуються додаткові втрати. Тому доцільніше

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma\Delta P}{P_1}, \text{ або } \eta = 1 - \frac{\Sigma\Delta P}{P_2 + \Sigma\Delta P},$$

де $\Sigma\Delta P = \Delta P_{mex} + \Delta P_{cl} + \Delta P_{el} + \Delta P_{e2} + P_\delta$; $\Delta P_{mex} + \Delta P_{cl} = P_0 - m_1 I_0^2 r_{75}$, $\Delta P_{el} = m_1 I_0^2 r_{75}$,

де з кругової діаграми r_{75} – активний опір фазної обмотки статора, приведеної до температури 75^0 ;

$$r_{75} = r_1 [1 + \alpha(75^0 - \Theta_1)],$$

де $\alpha=0,004$ град $^{-1}$ – температурний коефіцієнт для міді; Θ_1 - температура навколишнього середовища, або 20^0C .

$$P_{e2} = SP_{em}; \Delta P_{\text{дн}} \approx 0,005P_1; \Delta P_{\text{д}} = \Delta P_{\text{дн}} \left(\frac{I_1}{I_H} \right)^2.$$

3.5.8.9 Визначають за круговою діаграмою перевантажувальну спроможність асинхронного двигуна. Для визначення М з О перпендикулярно до НТ проводять лінію до перетину з колом струмів (точка g). Потім з точки g паралельно до U_{1H} проводять лінію до перетину з НТ (точка n). Тоді gn у масштабі моментів визначить величину M_K

$$M_K = gn m_M.$$

Для точки Д, якщо вона відповідає номінальному режиму роботи

$$\frac{M_K}{M_H} = \frac{gn}{DC}.$$

3.5.8.10 Визначають за круговою діаграмою початковий пусковий момент. Він визначається положенням на колі струмів точки К. Тоді

$$M_n = KK_2 m_M.$$

3.5.9 Побудова робочих характеристик на основі кругової діаграми.

Задаючись різними значеннями струмів статора, наприклад $I_1 = \left(\frac{1}{4}; \frac{2}{4}; \frac{3}{4}; \frac{4}{4}; \frac{5}{4} \right)$, і відмітивши на колі струмів відповідні точки D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 , визначають дані, необхідні для побудови робочих характеристик асинхронного двигуна, тобто s , η , $\cos\varphi$, M , $n=f(P_2)$. U_H необхідно побудувати для випадку $U=U_H$ пунктиром (рис.4). Потім порівнюють робочі характеристики, побудовані за дослідом безпосереднього навантаження і за дослідом ХХ і КЗ, і визначають, який з методів більш точний.

3.5.10 Аналіз механічних і робочих характеристик асинхронного двигуна з КЗ ротором і висновки про його експлуатаційні властивості.

Контрольні запитання

1. Схема , конструкція і принцип роботи асинхронного двигуна з КЗ ротором.
2. Порядок прямого і автотрансформаторного пуску асинхронного двигуна, його реверс.
3. Порядок проведення дослідів ХХ, КЗ і безпосереднього навантаження.
4. Побудувати механічні та робочі характеристики за даними дослідів безпосереднього навантаження.
5. Побудувати кругову діаграму за даними дослідів ХХ і КЗ
6. Побудувати робочі характеристики з використанням кругової діаграми.
7. Як змінюється частота обертання асинхронного двигуна і момент від напруги?
8. Чи зміниться n_0 при зміні U_1 на асинхронному двигуні?
9. Чи впливає на асинхронному двигуні напруга U_1 на η , $\cos\varphi$, M , n , s ?
10. Який метод більш точний для побудови робочих характеристик асинхронного двигуна: безпосереднього навантаження або з використанням кругової діаграми, побудованої за дослідів ХХ і КЗ?

Лабораторна робота №4

Дослідження асинхронного двигуна з фазним ротором

(стенд № 1)

Мета роботи - визначення експлуатаційних властивостей асинхронного двигуна з фазним ротором (з контактними кільцями) методом безпосереднього навантаження.

4.1 Програма роботи

4.1.1 Вивчити за рекомендованою літературі, учбовим плакатам, діафільмам, кінофільмам і лабораторним макетним стендам конструкцію, принцип дії трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором, його механічні і робочі характеристики і методику їх зняття, проведення дослідів безпосереднього навантаження асинхронного двигуна і побудова робочих і механічних характеристик асинхронного двигуна.

4.1.2 Здійснити прямий автотрансформаторний пуск асинхронного двигуна і його реверс.

4.1.3 Здійснити пуск асинхронного двигуна з введенням активного опору в ланцюг фазного ротора.

4.1.4 Зняти експериментальні дані асинхронного двигуна з фазним ротором при різних активних опорах в ланцюзі фазного ротора методом безпосереднього навантаження і побудувати його природну і штучну механічні та робочі характеристики.

4.1.5 Провести аналіз механічних і робочих характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором при різних активних опорах і зробити висновки про його експлуатаційні властивості.

4.2 Опис установки, обладнання і приладів

Електрична схема для дослідження трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором наведена на рис.1. Лабораторний стенд за схемою рис.1 містить у собі механічно з'єднані на одному валі трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором тахометр для вимірювання частоти обертання асинхронного двигуна і електромагнітне гальмо для з'єднання навантаження на валу асинхронного двигуна; щитові вимірювальні прилади, апаратуру для пуску й зупинки асинхронного двигуна.

Частини схеми, обведені пунктиром, зібрані всередині стенда. Подача й зняття напруги змінного струму на вхід трифазного ЛАТРа здійснюється автоматом пусковим (АП). Подача і зняття змінної напруги на однофазному ЛАТРі здійснюється контактором К шляхом натискання відповідно кнопок "Пуск1" і "Стоп1". Ключем S здійснюється комутація первинної обмотки однофазного ЛАТРа, яким регулюється величина випрямленого випрямлячем В постійного струму в обмотці електромагнітного гальма (Т) за A_5 , а напруга – за V_{14} .

Напруга U_1 , що подається до клем A_1, B_1, C_1 на обмотки статора асинхронного двигуна, регулюється лівою ручкою трифазного ЛАТРа (ліве крайнє положення ручки відповідає мінімальній напрузі на асинхронному двигуні, праве - максимальному). Величина активної потужності, що споживається асинхронним двигуном з мережі, контролюється за кіловатметром KW_{13} . Тому що KW_{13} увімкнено через трансформатори струму (ТС), то його показання необхідно помножити на коефіцієнт трансформації струму ($K_{ТС}=2$). Лінійні струми обмоток статора й напруга – відповідно за A_1, A_2, A_3, V_{15} .

Перемикач тахометра (П) служить для перемикання тахометра при реверсі асинхронного двигуна (управо – при обертанні асинхронного двигуна за годинниковою, вліво – при його обертанні проти годинникової стрілки).

Пакетний перемикач (ПП) служить для введення в ланцюг фазного ротора активних опорів. Він має три положення: $R_{д}=0$; $R_{д1}=0,255$ Ом; $R_{д2}=0,51$ Ом.

Опір фазної обмотки статора $r=0,59$ Ом.

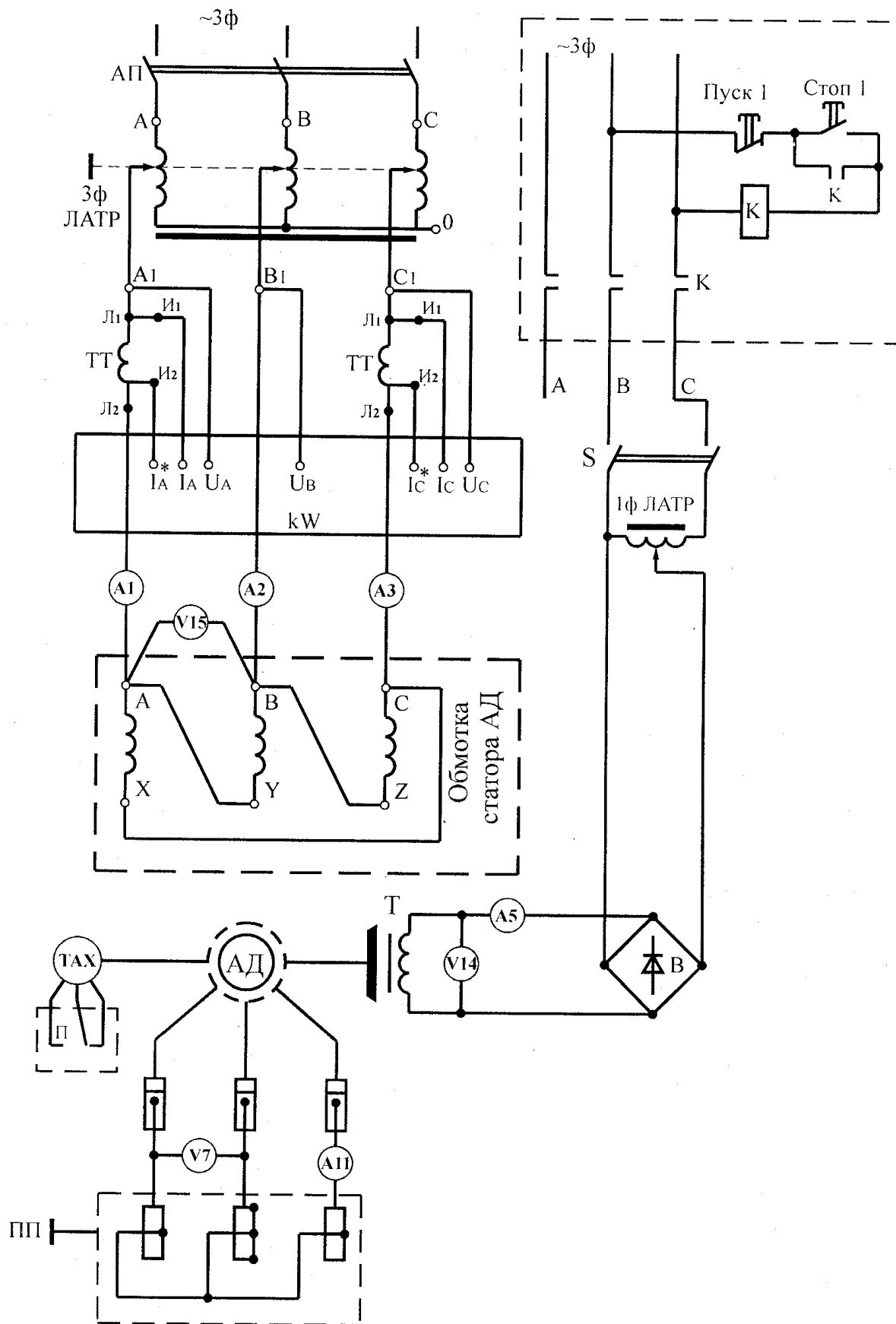


Рис.1

4.3 Порядок виконання роботи

4.3.1 Записати паспортні дані асинхронного двигуна з фазним ротором за формою, вказаній на заводській табличці.

4.3.2 Зібрати схему згідно із рис.1. Початкове положення апаратури: асинхронний двигун вимкнено; ручка трифазного ЛАТРа - у крайньому лівому положенні, що відповідає мінімальній напрузі, що подається на асинхронний двигун; S – вимкнено (вниз); ручка однофазного ЛАТРа - у крайньому лівому положенні, що відповідає мінімальній напрузі, що подається на електромагнітне гальмо Т (струм по $A_5 = 0$), перемикач П у правому положенні, перемикач ПП - в положенні “О”.

4.3.3 Здійснити прямий пуск асинхронного двигуна з фазним ротором:

4.3.3.1 Ручку трифазного ЛАТРа установити у крайнє праве положення (повзунки ЛАТРа вгорі).

4.3.3.2 Натиснути “Пуск 1” і увімкнути S.

4.3.3.3. Увімкнути АП (вправо) і зразу ж спостерігати стрибки струму за A_1, A_2, A_3 і потужності по KW_{13} ; після розгону асинхронного двигуна переконатися за A_1, A_2, A_3 у зменшенні струму, а за KW_{13} – у зменшенні потужності асинхронного двигуна при його роботі на ХХ

4.3.3.4 Автоматом АП зупинити асинхронний двигун, а подачею ручки однофазного ЛАТРа в обмотку гальма струму за $A_5 \approx 2A$ зупинити обертання ротора. Потім вивести ручку однофазного ЛАТРа в крайнє ліве положення; вимкнути S і натиснути “Стоп 1”.

4.3.3.5 Здійснити прямий пуск асинхронного двигуна з фазним ротором для випадків, коли ПП в положенні 1, а потім у положенні 2.

Усі дії виконувати в послідовності, вказаній в пп. 4.3.3.1 – 4.3.3.4. Для кожного положення ПП “1” і “2” спостерігати за стрибками струму і потужності за A_1, A_2, A_3 і KW_{13} і порівняти їх із стрибками струму при положенні ПП – “0”.

Після зупинки асинхронного двигуна ПП у положенні “0”, а ручка трифазного ЛАТРа – у крайньому лівому положенні.

4.3.4 Здійснити автотрансформаторний пуск асинхронного двигуна з фазним ротором.

4.3.4.1 Увімкнути АП; “Пуск 1”, плавно повертаючи ручку 1 трифазного ЛАТРа в крайнє праве положення (повзунки ЛАТРа вгорі), контролювати за A_1 , A_2 , A_3 $I \leq 15$ А, але по V_{15} $U \leq 220$ В.

4.3.4.2 Зупинити асинхронний двигун, як вказано в пункті 4.3.3.4, запам’я- тавши напрямок обертання його ротора (проти годинникової стрілки).

4.3.5 Виконати реверс асинхронного двигуна:

4.3.5.1 Поміняти місцями дроти фаз А і В на асинхронному двигуні; перемикач П тахометра поставити у ліве положення.

4.3.5.2 Здійснити автотрансформаторний пуск згідно із п. 4.3.4.1. Як тільки переконались, що ротор асинхронного двигуна обертається за годинниковою стрілкою, а стрілка тахометра обертається, як і раніше за годинниковою стрілкою, реверс здійснено.

4.3.5.3 Зупинити асинхронний двигун, як вказано в пункті 4.3.3.4. Перемикач П тахометра поставити в праве положення і поміняти місцями дроти фаз А і В на асинхронному двигуні.

4.3.6 Зняти експериментальні дані асинхронного двигуна з фазним ротором методом безпосереднього навантаження при різних опорах в ланцюзі фазного ротора:

4.3.6.1 Здійснити прямий пуск асинхронного двигуна як вказано в пп.4.3.3.1 – 4.3.3.3.

4.3.6.2 Установити ручкою 1 трифазного ЛАТРа по V_{15} $U=U_n=220$ В і записати показання приладів до табл.1.

4.3.6.3 Увімкнути S і, плавно повертаючи ручку однофазного ЛАТРа управо (7 замірів не перевищуючи за A_1 , A_2 , A_3 $I \leq 18$ А), записувати щоразу покази приладів в табл.1.

Показання тахометра з метою економії часу і точності відліків необхідно записувати такими, які він показує; і тільки при обрахунках зменшити у 2 рази.

4.3.6.4 Вивести ручку однофазного ЛАТРа в ліве крайнє положення.

4.3.6.5 Установити ПП у положення “1” і повторити зняття даних за п.4.3.6.3.

4.3.6.6 Установити ПП у положення “2” і повторити зняття даних за п.2.3.6.3.

4.3.6.7 Вивести ручку однофазного ЛАТРа в крайнє ліве положення, вимкнути S, натиснути "Стоп 1“, вимкнути АП, вивести ручку трифазного ЛАТРа в крайнє ліве положення.

4.3.8.5 Роботу закінчено.

4.4 Обробка результатів. Звіт

Підготувати звіт за наведеним нижче планом:

1. Назва, мета і програма роботи.
2. Паспортні дані асинхронного двигуна з фазним ротором згідно із формою, вказаною на заводській табличці.
3. Схема установки згідно із рис.1.
4. Табл.1 з експериментальними і розрахунковими даними.

Розрахункові формули

$$I = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} [A]; \quad s = \frac{n_0 - n}{n}; \quad P_2 = \frac{M \cdot n}{9750},$$

де M[Нм], n[об/хв], P2[кВт];

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%; \quad \cos \varphi = \frac{P_1 \cdot 10^3}{m U_1 I_1},$$

де P1[кВт];

m=3 – число фаз;

$U_1[V]$ – фазна напруга обмотки статора (в роботі обмотки статора з'єднані Δ , тобто $U_{1\phi}=U_{1л}$);

Таблиця 1

Додатковий опір в ланцюзі фазного ротора	№ п/п	Виміряно						Підраховано					
		U_1	I_A	I_B	I_C	P_1	n	M	I_1	s	P_2	η	$\cos \varphi$
		В	А	А	А	кВт	об/хв	Нм	А	-	кВт	%	-
$R_d=0$	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
$R_{d1} > R_d$	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
$R_{d2} > R_{d1}$	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												

$I_1[A]$ – фазний струм обмотки статора (при з'єднанні ΔI_1 у схемі лінійний, тому

$$I_{1\phi} = \frac{I_l}{\sqrt{3}});$$

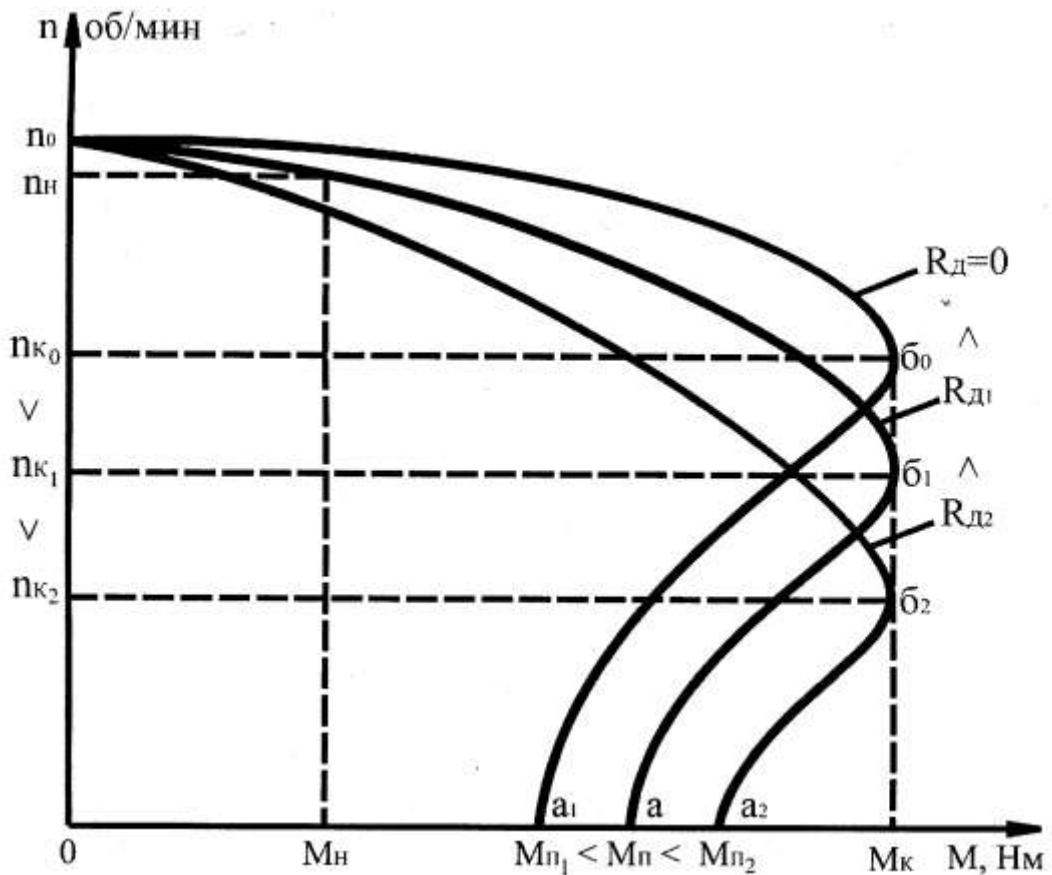
$f=50$ Гц – частота мережі;

p – число пар полюсів, для даного двигуна $p=3$.

5. Побудова природної та штучної механічних характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором: $n=f(M)$; і $M=f(s)$.

Природна механічна характеристика при $R_{д2}=0$; штучні при $R_{д1} > R_{д2}$ і $R_{д2} > R_{д1}$.

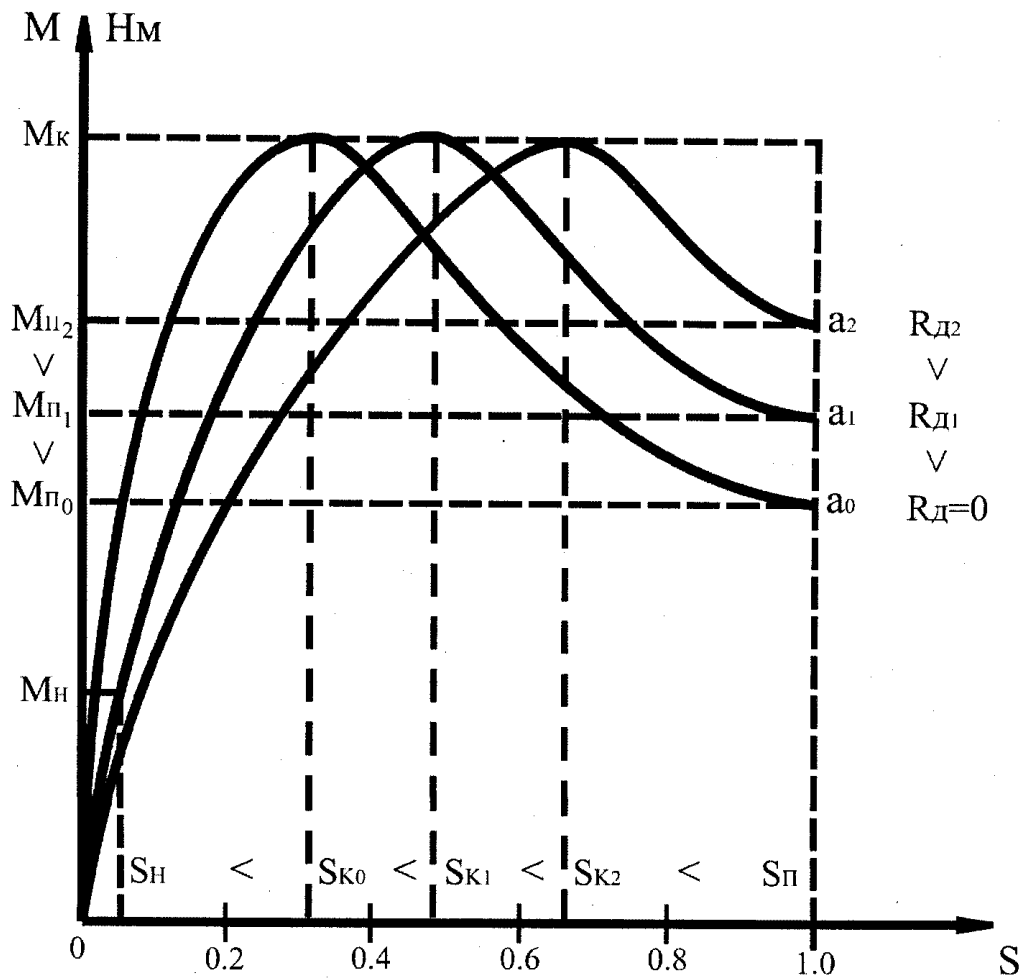
Їх приблизний вигляд показано на рис.2 і рис.3.



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_M=2\text{Нм/см}; M_n=100\text{об/хв/см}$$

Рис.2



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_M = 2 \text{ Нм/см}; M_s = 0,1 / \text{см}$$

Рис.3

Формули, що необхідні для побудови цих характеристик

$$M_H = \frac{9750 P_H}{n_H} [\text{Нм}],$$

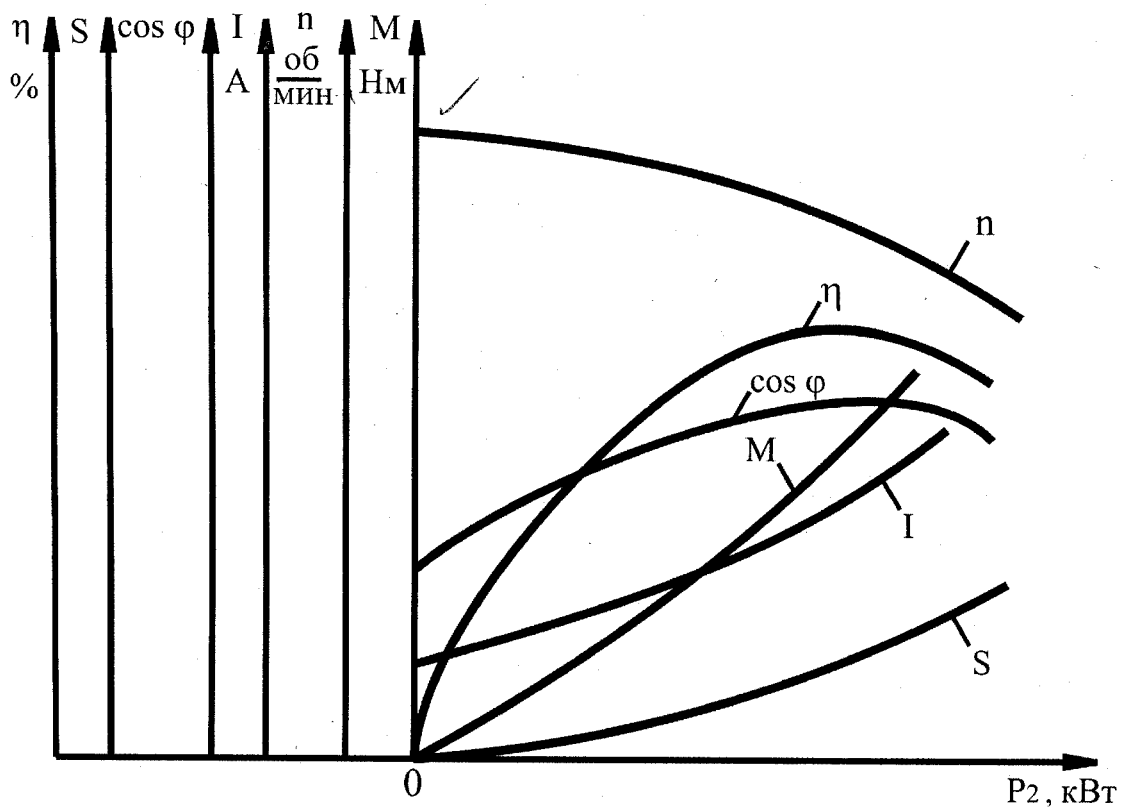
де P_H [кВт]; n_H [об/хв];

$$M_{H0} (1,1 \div 1,6) M_H; \quad M_K = \gamma M_K = (1,6 \div 2,5) M_K; \quad S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0};$$

$$S_{K0} = S_H (\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1}); \quad n_{K0} = n_0 (1 - S_{K0}); \quad S_{K1} = S_{K0} \frac{r_2 + R_{Д1}}{r_2};$$

$$S_{K2} = S_{K0} \frac{r_2 + R_{Д2}}{r_2}; \quad n_{K1} = n_0(1 - S_{K1}); \quad n_{K2} = n_0(1 - S_{K2});$$

$$M_{П1} = \frac{2M_K}{\frac{S_{П}}{S_{K1}} - \frac{S_{K1}}{S_{П}}}; \quad M_{П2} = \frac{2M_K}{\frac{S_{П}}{S_{K2}} - \frac{S_{K2}}{S_{П}}}.$$



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_S = \frac{0,1}{1\text{см}}; \quad M_\eta = \frac{10\%}{1\text{см}}; \quad M_{\cos\varphi} = \frac{0,1}{1\text{см}}; \quad M_I = \frac{0,5\text{А}}{1\text{см}};$$

$$M_n = \frac{100\text{об/хв}}{1\text{см}}; \quad M_M = \frac{1\text{Нм}}{1\text{см}}; \quad M_p = \frac{0,2\text{кВт}}{1\text{см}}.$$

Рис.3

Як усі характеристики $M=f(s)$ (див. рис.3.), а по ним і $n=f(M)$ (див. рис.2), а особливо штучні їх ділянки, які не знімалися : a_0 b_0 , a_1 b_1 , a_2 , b_2) можна побудувати за формулою Клосса

$$M_e = \frac{2M_K}{\frac{S}{S_{K0}} - \frac{S_{K0}}{S}}; \quad M_U = \frac{2M_K}{\frac{S_{II}}{S_{K1}} - \frac{S_{K1}}{S_{II}}}; \quad M_U = \frac{2M_K}{\frac{S_{II}}{S_{K2}} - \frac{S_{K2}}{S_{II}}},$$

де M_e і M_U – моменти відповідно для природної та штучної характеристик асинхронного двигуна.

6. Побудова в одній системі координат для трьох значень додаткових опорів у ланцюзі фазного ротора ($R_d=0$, $R_{d1}=0,255$ Ом, $R_{d2}=0,51$ Ом) робочих характеристик двигуна з фазним ротором: S , η , $\cos \varphi$, I , n , $M=f(P_2)$, приблизний вигляд яких тільки для випадку $R_d=0$ (природна х-ка) наведено на рис.4.

Щоб характеристики добре переглядалися в одній системі координат їх необхідно виконати для кожного випадку в різних кольорах.

7. Аналіз природних і штучних механічних характеристик при різних опорах у ланцюзі фазного ротора асинхронного двигуна і висновки про його експлуатаційні властивості.

Контрольні запитання

1. Схема, конструкція і принцип роботи асинхронного двигуна з фазним ротором.
2. Порядок прямого і автотрансформаторного пуску асинхронного двигуна, його реверс.
3. Чому при прямому пуску асинхронного двигуна з введенням у ланцюг фазного ротора додаткового опору стрибки струму і потужності спостерігаються меншими, ніж при відсутньому додатковому опорі?
4. Порядок побудови природної та штучної механічних і робочих характеристик за даними досліду безпосереднього навантаження.

5. Чому при введенні додаткових опорів в ланцюг фазного ротора збільшується пусковий момент і зменшується пусковий струм?
6. Чи зміниться синхронна частота обертання по АД з фазним ротором при введенні додаткового опору в ланцюг фазного ротора?
7. Чому не змінюється M_k при введенні додаткового опору в ланцюг фазного ротора?
8. Як впливає введення додаткового опору в ланцюг фазного ротора?
9. Як зміняться ковзання і втрати асинхронного двигуна із збільшенням додаткового опору, що вводиться в ланцюг фазного ротора?
10. Як зміниться частота обертання і частота струму ротора асинхронного двигуна при введенні додаткового опору в ланцюг фазного ротора?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Копылов И.П. Электрические машины: Учеб. для вузов. -М.: Энергоатомиздат, 1966, - Гл. 3.
2. Брускин Д.Э. и др. Электрические машины: В 2-х ч. - Ч. I: Учеб. для электротехн. спец. вузов. - 2-е изд. перераб. и доп./Д.Э.Брускин, А.Е.Зорохович, В.С. Хвостов. -М.: Высш.шк., 1987. - Гл. 4.
3. Вольдек А.И. Электрические машины: Учеб. для студентов высш. техн. учебн. завед. - 3-е изд., перераб. - Л.: Энергий, 1978. - Гл. 24, 25, 26, 28.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни “Електричні машини” з розділу “Асинхронні машини” для студентів денної та заочної форм навчання за напрямами 6.050702 – «Електромеханіка» і 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології»(у тому числі для скороченого терміну навчання)

Укладачі: к.т.н., професор В.О.Некрасов,
к.т.н., доцент А.В.Некрасов,
д.т.н., с.н.с., професор А.П. Ращепкін,
асист. Р.М. Донченко,
асист. В.В. Ромашина

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. В.Д. Стрижак

Підп. до др. _____. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ КНУ імені Михайла Остроградського
39614, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20