

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 **“ТРАНСФОРМАТОРИ”**
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”, розділ “Трансформатори” для студентів денної та заочної форм навчання за напрямками 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 №1 Дослідження однофазного трансформатора.....	8
Лабораторна робота 2 Паралельна робота трифазних трансформаторів.....	17
Список літератури.....	32

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: трансформатори.

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 №1

Дослідження однофазного трансформатора

(стенд № 4)

Мета роботи - дослідження експлуатаційних властивостей однофазного трансформатора шляхом проведення дослідів холостого ходу (ХХ), короткого замикання (КЗ) і безпосереднього навантаження.

1.1 Програма роботи

1.1.1 Вивчити за літературою, що рекомендується, навчальними плакатами, діафільмами, кінофільмами і лабораторними макетними стендами конструкцій, принцип дії однофазного трансформатора; методику проведення дослідів ХХ, КЗ і безпосереднього навантаження.

1.1.2 Провести дослід ХХ однофазного трансформатора.

1.1.3 Провести дослід КЗ однофазного трансформатора.

1.1.4 Провести дослід безпосереднього навантаження однофазного трансформатора.

1.1.5 Використовуючи отримані дані (експериментальні й розрахункові) кожного дослідів, побудувати відповідні характеристики :

$$I_0, P_0, \cos \varphi_0=f(U_1); I_K, P_K, \cos \varphi_K=f(U_K); U_2, \eta, \cos \varphi=f(P_2),$$

де $I_0, P_0, \cos \varphi_0=f(U_1)$ - відповідно струм, потужність і коефіцієнт потужності режиму холостого ходу;

$I_K, P_K, \cos \varphi_K=f(U_K)$ - відповідно струм, потужність і коефіцієнт потужності режиму короткого замикання;

U_2 – напруга вторинної обмотки;

η - ККД трансформатора.

1.1.6 На основі аналізу цих характеристик зробити висновки про експлуатаційні властивості однофазного трансформатора.

1.3 Опис установки. Устаткування і прилади

Електрична схема для дослідження однофазного трансформатора наведена на рис.1(частини, обведені пунктиром, зібрані у середині стенда). Лабораторний стенд, зібраний за схемою рис.1, містить у собі однофазний трансформатор (розташований праворуч за передньою панеллю стенда, клеми його первинної та вторинної обмоток розміщені на передній панелі); настільні вимірювальні прилади; апаратуру для подачі й регулювання напруги. Подача і зняття напруги змінного струму на вхід ЛАТР2 здійснюється контактором К1 шляхом натискання кнопок ПУСК1 і СТОП1, ключем 3 подається напруга на ЛАТР2, яким регулюється напруга первинної обмотки трансформатора. Контроль струму, потужності й напруги первинної обмотки трансформатора здійснюється відповідно до настільних приладів РА1, РВ1, РВ1. Ключ S4 комутує струм первинної обмотки, а S5 - вторинної. Струм, потужність і напруга вторинної обмотки контролюються відповідно до настільних приладів РА2, РВ2, РВ2. Регулювання навантаження трансформатора здійснюється реостатами R1 і R2, що розташовані праворуч під горизонтальною панеллю стенда.

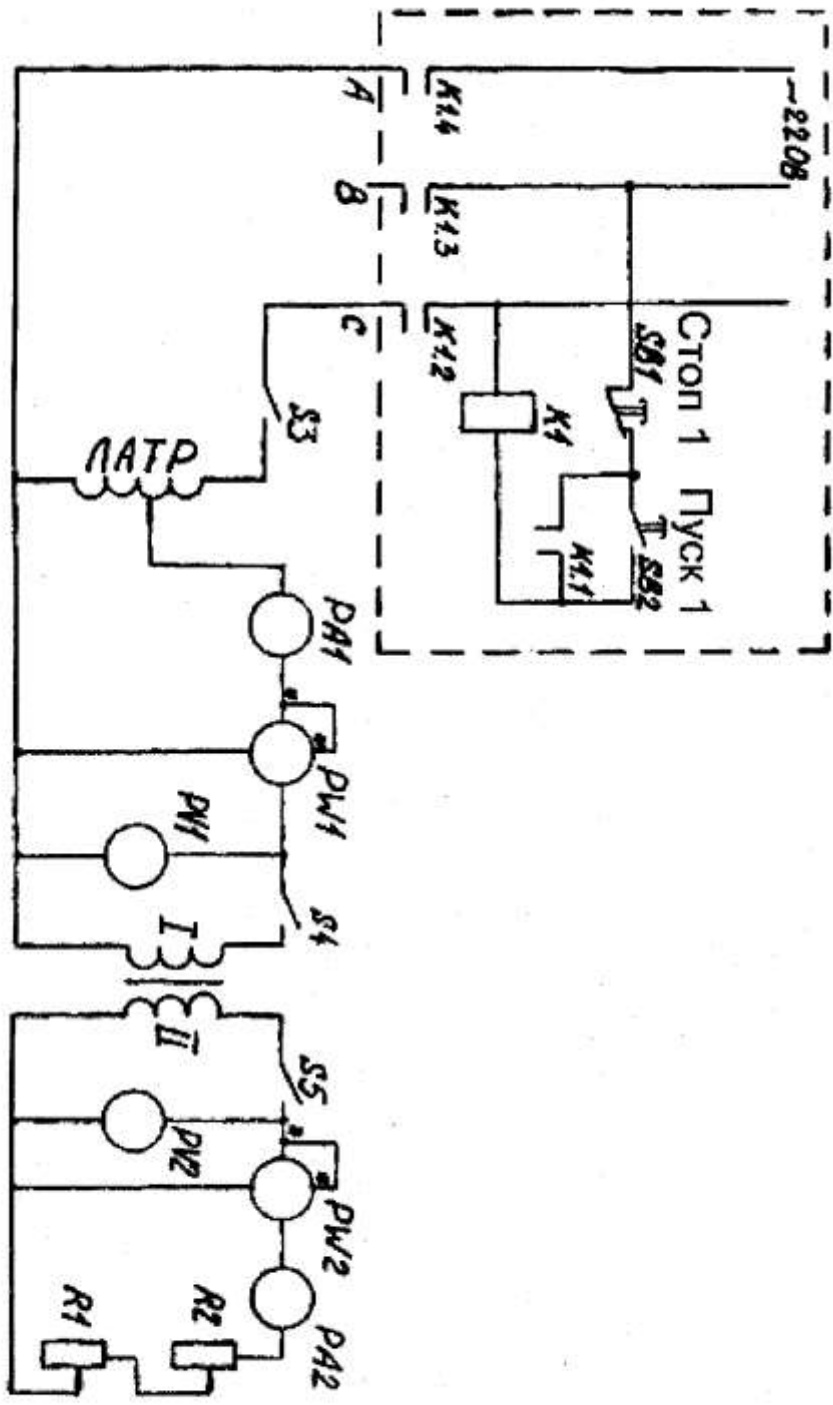


Рис.1

1.4 Порядок виконання роботи

1.4.1 Записати паспортні дані однофазного трансформатора за формою, зазначеної в заводській таблиці.

1.4.2 Зібрати схему згідно із рис.1. Вихідне положення апаратури: S3, S4, S5 -вимкнені (вниз); ручка ЛАТР2 - у крайньому лівому положенні (відповідає мінімальній напрузі); повзунки реостатів R1 і R2 - у крайньому правому положенні (відповідає максимальному опору навантаження).

1.4.3 Провести дослід XX однофазного трансформатора, для чого: після перевірки схеми викладачем подати напругу на первинну обмотку трансформатора, натиснувши ПУСК1 і вмикнути S3 і S4 . Плавню збільшуючи за допомогою ЛАТР2 напругу первинної обмотки однофазного трансформатора (приблизно сім вимірів за PV1 до 240 В), записати показання приладів до табл.1;

Таблиця 1

Виміряно				Підраховано			
U_1	I_0	P_0	U_{20}	$\cos \varphi_0$	z_0	r_0	x_0
В	А	Вт	В	-	Ом	Ом	Ом

після закінчення дослідів XX вивести ручку ЛАТР2 у крайнє ліве положення, вимкнути S3 і S4 і натиснути СТОП1.

1.4.4 Провести дослід КЗ однофазного трансформатора, для чого зробити наступне:

Увага! Переконайтеся, що ручка ЛАТР2 знаходиться у крайньому лівому положенні, виведіть повзунки реостатів R1 і R2 у крайнє ліве положення, увімкніть S3, S4, S5 і натисніть ПУСК1;

дуже плавно збільшуючи за допомогою ЛАТР2 напругу первинної обмотки однофазного трансформатора (шість вимірів), записати показання приладів до табл.2. При цьому щоразу встановлювати струм вторинного

ланцюга (I_2) за РА2, який відповідає коефіцієнту завантаження трансформатора β ;

Таблиця 2

Виміряно				Підраховано			
U_K	I_1	P_K	I_2	$\cos\varphi_K$	Z_K	r_K	x_K
В	А	Вт	А		Ом	Ом	Ом

після досліду вивести ручку ЛАТР2 у крайнє ліве положення, повзунки реостатів R1 і R2 — у крайнє праве положення, вимкнути S3, S4, S5 - і натиснути СТОП1.

1.4.5 Провести дослід безпосереднього навантаження однофазного трансформатора, для чого зробити наступне:

натиснути ПУСК1, увімкнути S3 та S4 і, встановивши напругу 220 В (за PV1), записати показання приладів до табл.3, відповідно до коефіцієнта завантаження β ;

увімкнути S5 і знову записати показання приладів до табл.3;

Таблиця 3

β	Виміряно						Підраховано		
	U_1	$I_{1К}$	P_1	U_2	I_2	P_2	η	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$
	В	А	Вт	В	А	Вт	%		
0	220				0				
0,066	220				0,2				
0,25	220				0,75				
0,5	220				1,5				
0,75	220				2,25				
1	220				3				
1,25	220				3,75				
1,5	220				4,5				

плавно зменшуючи опір реостата R1, а потім і R2, шляхом переміщення їх повзунків уліво, збільшувати навантаження трансформатора, контролюючи струм за амперметром PA1 відповідно до завантаження, і записати показання приладів у табл. 3;

після закінчення досліду вивести повзунки R1 і R2 у праве крайнє положення, ручку ЛАТР2 - у ліве крайнє положення, вимкнути S3, S4, S5 і натиснути СТОП1.

1.5 Обробка результатів, звіт

1.5.1 Підготувати звіт, у якому навести:

назву, мету і програму роботи;

паспортні дані однофазного трансформатора;

схему установки згідно із рис.1;

табл.1, 2, 3 з вимірюваними й обчисленими даними, отриманими за наступними розрахунковими формулами:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{I_0 U_1}; k = \frac{U_1}{U_{20}}; Z_0 = \frac{U_1}{I_0}; r_0 = \frac{P_0}{I_0^2}; x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2};$$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{I_K U_K}; r_K = \frac{P_K}{I_K^2}; Z_K = \frac{U_K}{I_K}; x_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2};$$

$$U_K = \frac{I_H Z_K}{U_H} 100\%; U_{Ka} = \frac{I_H r_K}{U_M} 100\%; U_K = I_H Z_K [B]; U_{Ka} = I_H r_K [B];$$

$$U_{KP} = \frac{I_H x_K}{U_H} 100\% = \sqrt{U_K^2 - U_{Ka}^2}; U_{KP} = I_H x_K [B];$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\beta P_1}{\beta P_1 + P_{CT} + \beta^2 P_M} 100\%; P_{CT} = P_0 \text{ (з дослідів XX)};$$

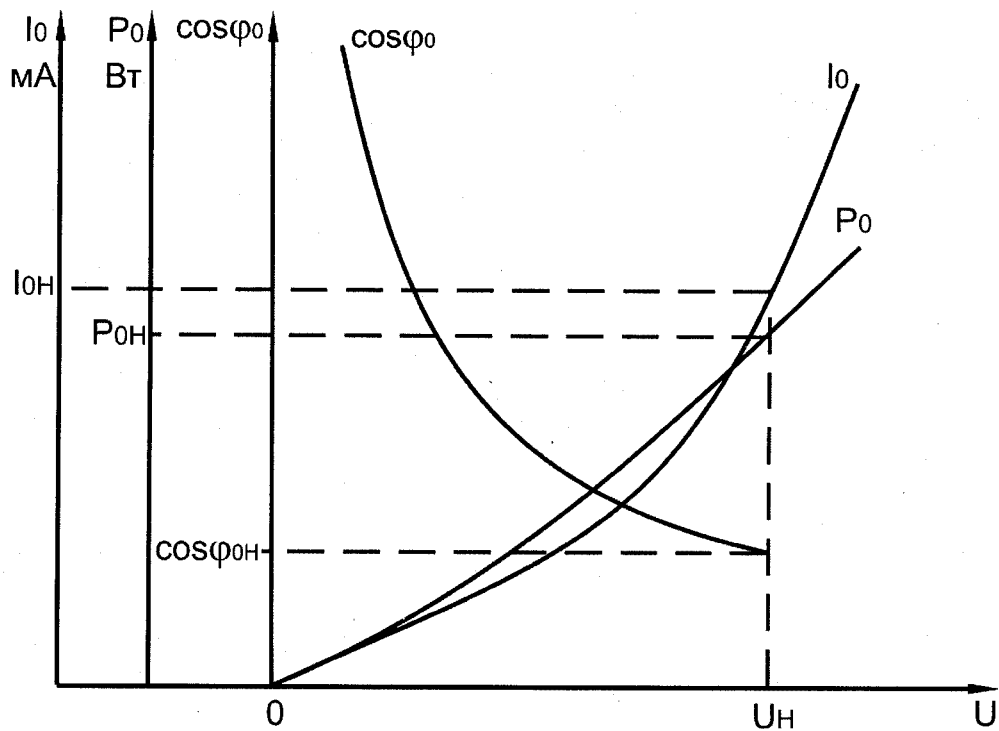
$$P_M = P_K \text{ (з дослідів K3)}; \cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{U_1 I_1}; \cos \varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{P_2}{U_2 I_2};$$

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}; \Delta U_{2H} = \frac{U_{20} - U_{2H}}{U_{2H}} 100\%.$$

Обробляючи результати дослідів, студентам слід: використовуючи дані табл.1, 2, 3, побудувати для трьох випадків відповідні характеристики трансформатора: $I_0, P_0, \cos \varphi_0 = f(U_1)$; $I_K, P_K, \cos \varphi_K = f(U_2)$; $U_2, \eta, \cos \varphi = f(P_2)$; приблизний вигляд яких наведений на рис.2, 3, 4;

визначити за допомогою рис.2,3,4 величини $I_{0H}, P_{0H}, \cos \varphi_{0H}, I_{KH}, P_{KH}, \cos \varphi_{KH}, U_{2H}, \cos \varphi_{2H}, \cos \varphi_{1H}, \eta_H$, що відповідають номінальним U_H, U_{KH}, I_{2H} , а також номінальну зміну напруги;

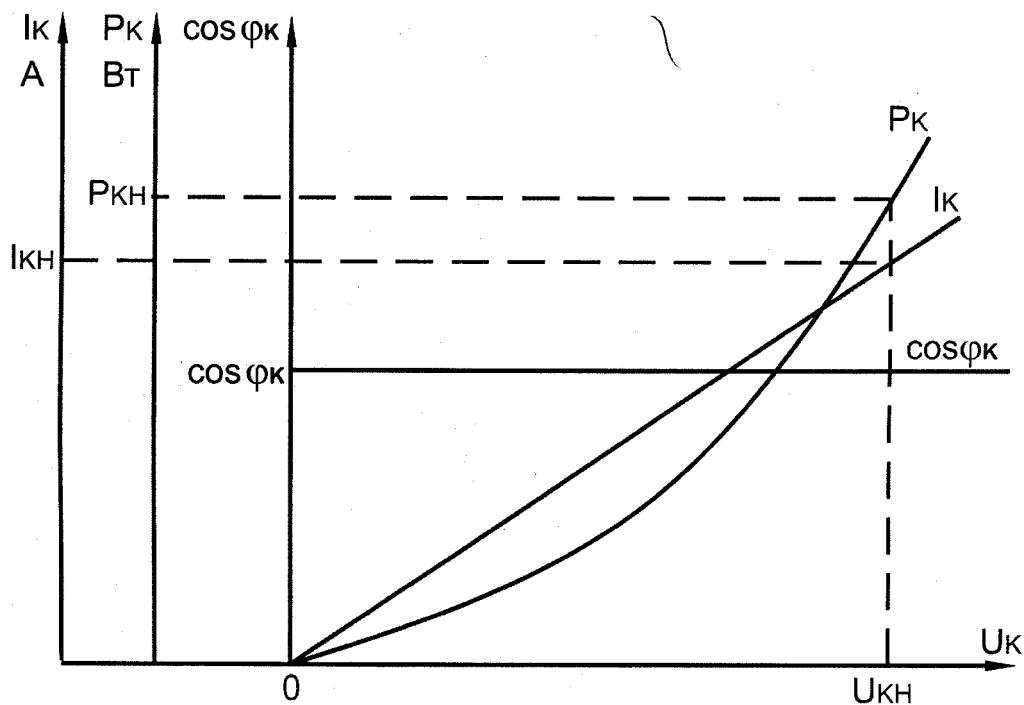
проаналізувати отримані характеристики трансформатора і зробити висновки про його експлуатаційні властивості.



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_U=20\text{В/см}; M_{I_0}=45\text{мА/см}; M_{P_0}=2\text{Вт/см}; M_{\cos\varphi_0}=0,1/\text{см}$$

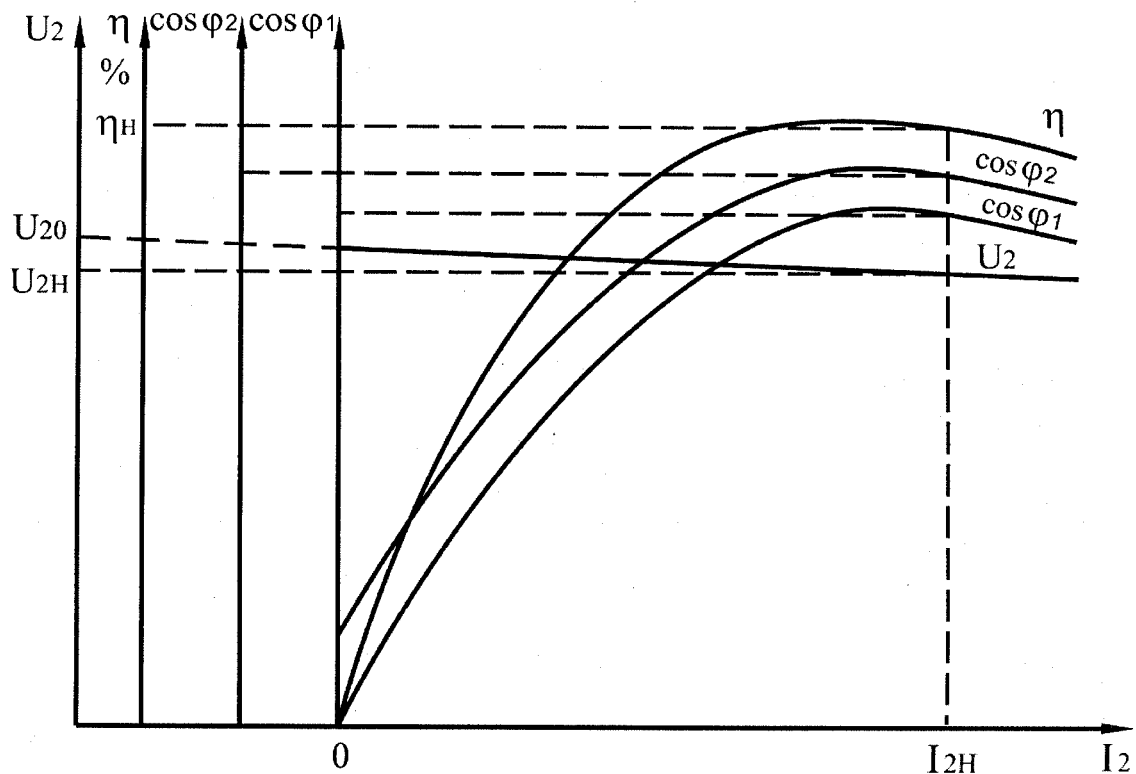
Рис.2



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_U=3\text{В/см}; M_{I_k}=0,1\text{А/см}; M_{P_k}=2\text{Вт/см}; M_{\cos\varphi_k}=0,2/\text{см}$$

Рис.3



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_U=5\text{В/см}; M_I=2\text{А/см}; M_\eta=10\%/см; M_{\cos\varphi}=0,1/см$$

Рис.4.

Контрольні запитання

1. Схема, конструкція і принцип дії однофазного трансформатора.
2. Порядок проведення дослідів ХХ, КЗ і безпосереднього навантаження.
3. Що таке коефіцієнт трансформації, і як він визначається?
4. Як визначаються втрати потужності в сталі та міді?
5. Чим пояснити збільшення струму первинної обмотки трансформатора, при збільшенні струму навантаження?
6. Як визначаються ККД і $\cos\varphi$ трансформатора і чому вони залежать від зміни його навантаження?
7. Пояснити вид зовнішньої характеристики трансформатора залежність від характеру його навантаження.

Лабораторна робота 2

Паралельна робота трифазних трансформаторів

(стенд № 6)

Мета роботи - дослідження експлуатаційних властивостей трифазних трансформаторів і визначення можливості їхнього включення на паралельну роботу.

2.1 Програма роботи

2.1.1 Вивчити за літературою, що рекомендується, навчальними плакатами, діафільмами, кінофільмами і лабораторними макетними стендами конструкцію, принцип дії трифазного трансформатора, причини й умови паралельної роботи трансформаторів.

2.1.2 Визначити групу з'єднання трифазних трансформаторів (Т1 і Т2).

2.1.3 Визначити коефіцієнти трансформації трифазних трансформаторів (Т1 і Т2) чи, що те ж саме, їх первинні й вторинні номінальні значення напруги.

2.1.4 Визначити напруги короткого замикання (КЗ) трифазних трансформаторів (Т1 і Т2).

2.1.5 Зняти експериментальні дані для побудови зовнішніх характеристик кожного з трифазних трансформаторів і залежності ККД кожного з них від навантаження.

2.1.6 Увімкнути трифазні трансформатори на паралельну роботу і зняти експериментальні дані для побудови їхньої зовнішньої характеристики і залежності ККД від навантаження.

2.1.7 Проаналізувати отримані характеристики трифазних трансформаторів і зробити висновки про їх експлуатаційні властивості.

2.2 Опис установки. Устаткування і прилади

Електрична схема для паралельної роботи трифазних трансформаторів наведена на рис.5 (частини схеми, обведені пунктиром, зібрані всередині стенда).

Лабораторний стенд № 6, зібраний за схемою рис.5, містить у собі два досліджуваних трифазних трансформатора (Т1 і Т2); трансформатор, що узгоджує, Т3 (для узгодження напруги досліджуваних паралельно працюючих трансформаторів Т1 і Т2 з асинхронним двигуном (АД); вимірювальні прилади й апаратуру для подачі та зняття напруги на трансформатори, пуску і зупинки АД; асинхронний двигун з тахометром РF2 і електромагнітним гальмом УВ, що служать навантаженням трансформаторів. Подача і зняття напруги змінного струму на вхід ЛАТРа здійснюється контактором К1 шляхом натискання кнопок ПУСК1 і СТОП1. Вимикачем S5 подається напруга на первинну обмотку ЛАТРа, яким регулюється випрямлена випрямлячем напруга постійного струму, що подається на електромагнітне гальмо УВ. Ліве положення ручки ЛАТРа відповідає мінімальній, праве - максимальній напрузі на електромагнітному гальмі. Контроль напруги і струму на гальмі УВ

здійснюється вольтметром РV2 і амперметром РА10. Контроль напруги мережі - РV10. Вольтметром РV14 можна вимірювати фазні й лінійні первинні та вторинні напруги Т1 і Т2, а вольтметром РV9 - напругу на навантаженні, тобто на статорних обмотках чи АД, або те саме, напругу на виході паралельно, або окремо працюючих трифазних трансформаторів. Крім того, настільним переносним вольтметром РV можна вимірювати будь-які напруги. Амперметрами РА15 і РА16 контролюються лінійні струми трансформаторів. Активна потужність, що споживається з мережі Т1 і Т2, контролюється кіловатметрами РW8 і РW13, а струм у вторинних обмотках - амперметром РА12. Контакторами К5 і К6 за допомогою відповідних кнопок ПУСК5, СТОП5 і ПУСК6, СТОП6 здійснюється комутація з мережею первинних обмоток Т1 і Т2; контакторами К7 і К8 за допомогою відповідних кнопок ПУСК7, СТОП7,

вторинних обмоток T1 і T2. На схемі первинні й вторинні обмотки T1 позначені відповідно AX, BY, CZ і ax, by, cz; а первинні та вторинні обмотки T2 - A'X', B'Y', C'Z'; a'x', b'y', c'z'.

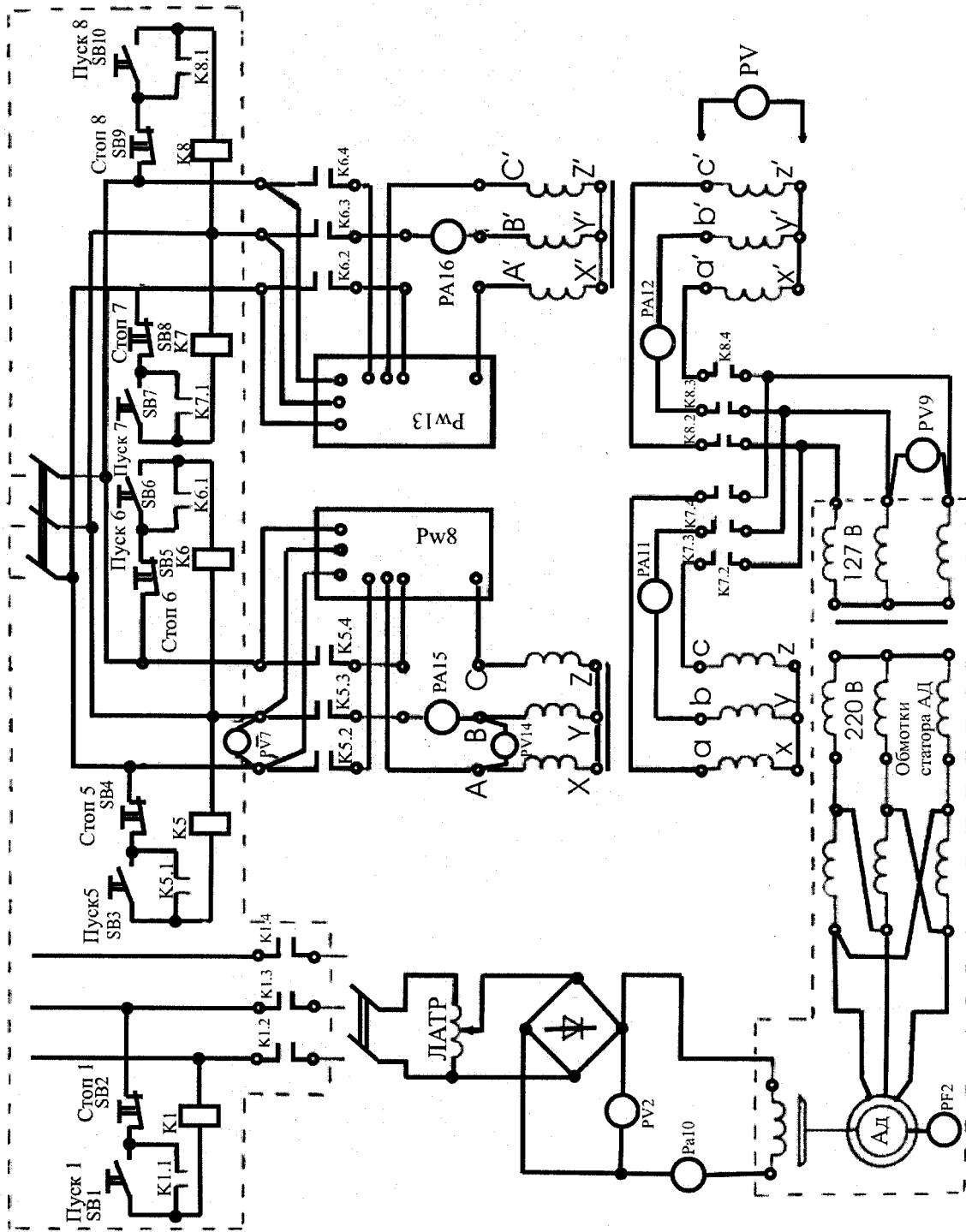


Рис.5

2.3 Порядок виконання роботи

2.3.1 Записати паспортні дані трансформаторів Т1, Т2, трансформатора, що узгоджує Т3 і АД за формою, зазначеною в їх заводських табличках.

2.3.2 Зібрати схему згідно із рис. 5. Вихідне положення апаратури: S5, АП - увімкнені (вниз); ручка ЛАТРа у крайньому лівому положенні (відповідає мінімуму напруги).

2.3.3 Визначити групи з'єднання трансформаторів Т1 і Т2 у схемі рис.5.

У трифазних трансформаторах групу з'єднання визначають кутом зсуву фаз між векторами лінійних ЕРС вищої напруги (\dot{E}_{ab}) і нижчої напруги E_{ab} , віднесеним до 30° (кратність зсуву). Застосуванням різних способів з'єднання обмоток у трифазних трансформаторах можна утворити дванадцять різних груп з'єднань. З цих дванадцяти груп в Україні стандартизовані тільки дві: 11-а (Y/ Δ -11) група із зсувом фаз 330° і 12-а (чи 0 -а) група (Y/Y- 12 (0)) із зсувом фаз 0° . На рис.6, 7 наведені схеми і векторні діаграми, що відповідають дванадцятьом групам з'єднання трифазних трансформаторів. Якщо обмотки трифазного трансформатора промаркіровані (як на стенді), то, користуючись рис.6 і 7, легко визначити групу з'єднання трансформаторів. Для зручності порівнюють відносне положення векторів E_{AB} і E_{ab} з положенням відповідно до хвилинної і годинникової стрілки (рис. 8). Існують і інші методи визначення груп з'єднань трифазних трансформаторів (метод імпульсів постійного струму з використанням чи гальванометра або магнітоелектричного мілівольтметра, метод фазометра і метод вольтметра з використанням таблиць, з якими варто ознайомитися за [3] самостійно).

У даній роботі при визначенні груп з'єднання трансформаторів обмежимося використанням рис. 6 і 7, вважаючи, що маркірування обмоток трансформаторів вірне.

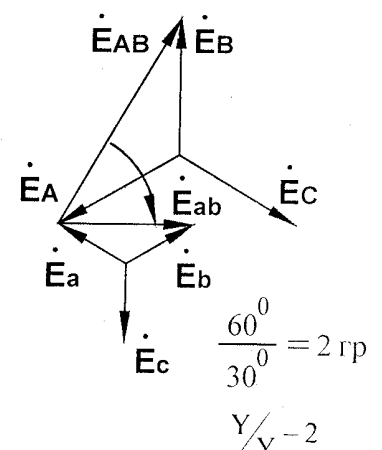
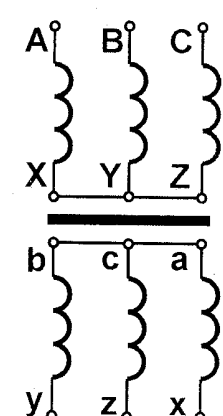
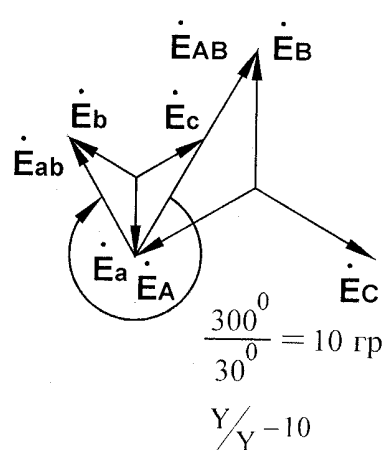
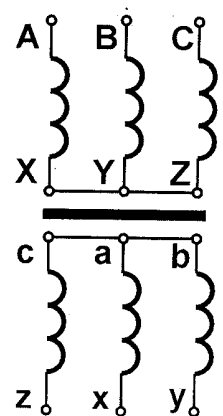
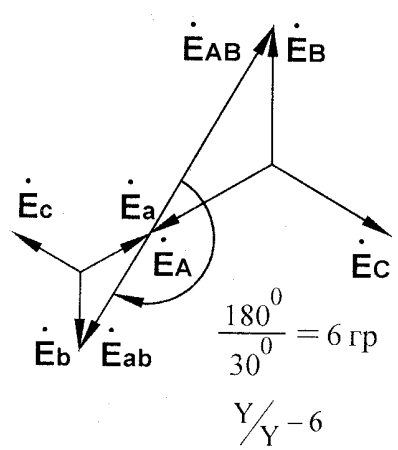
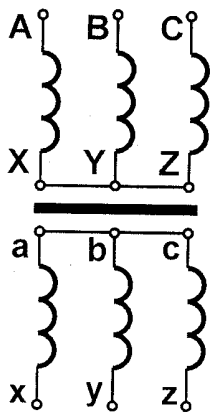
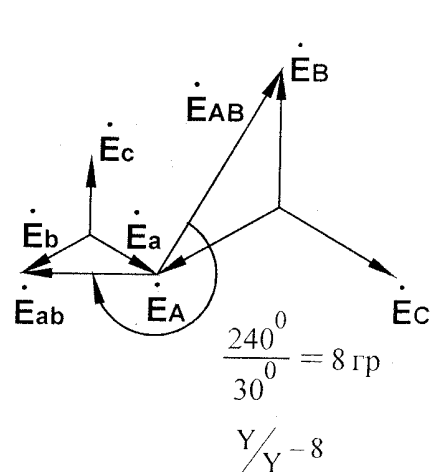
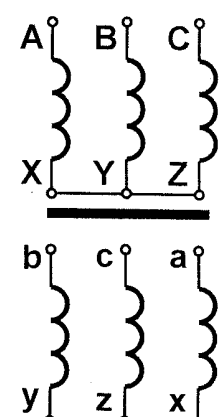
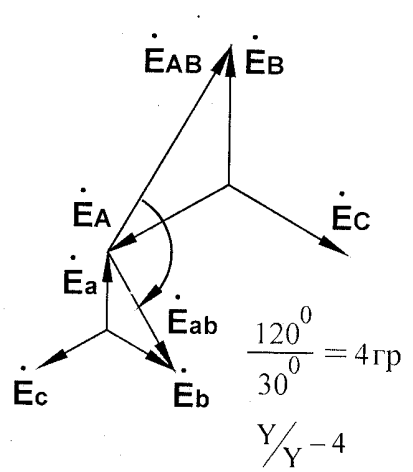
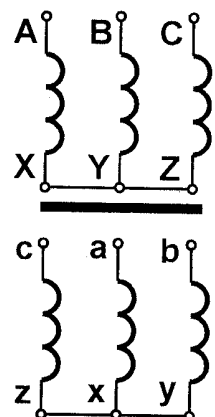
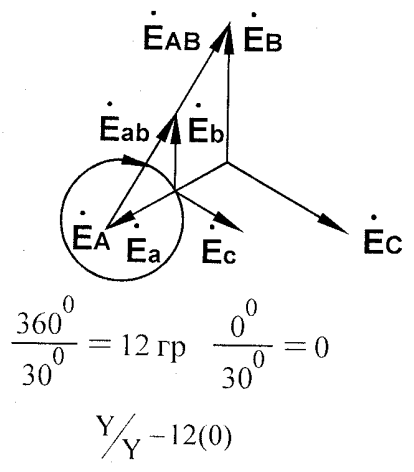
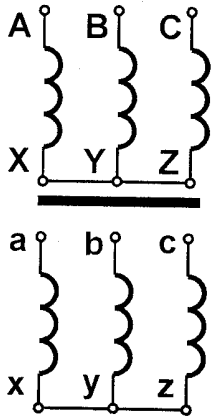
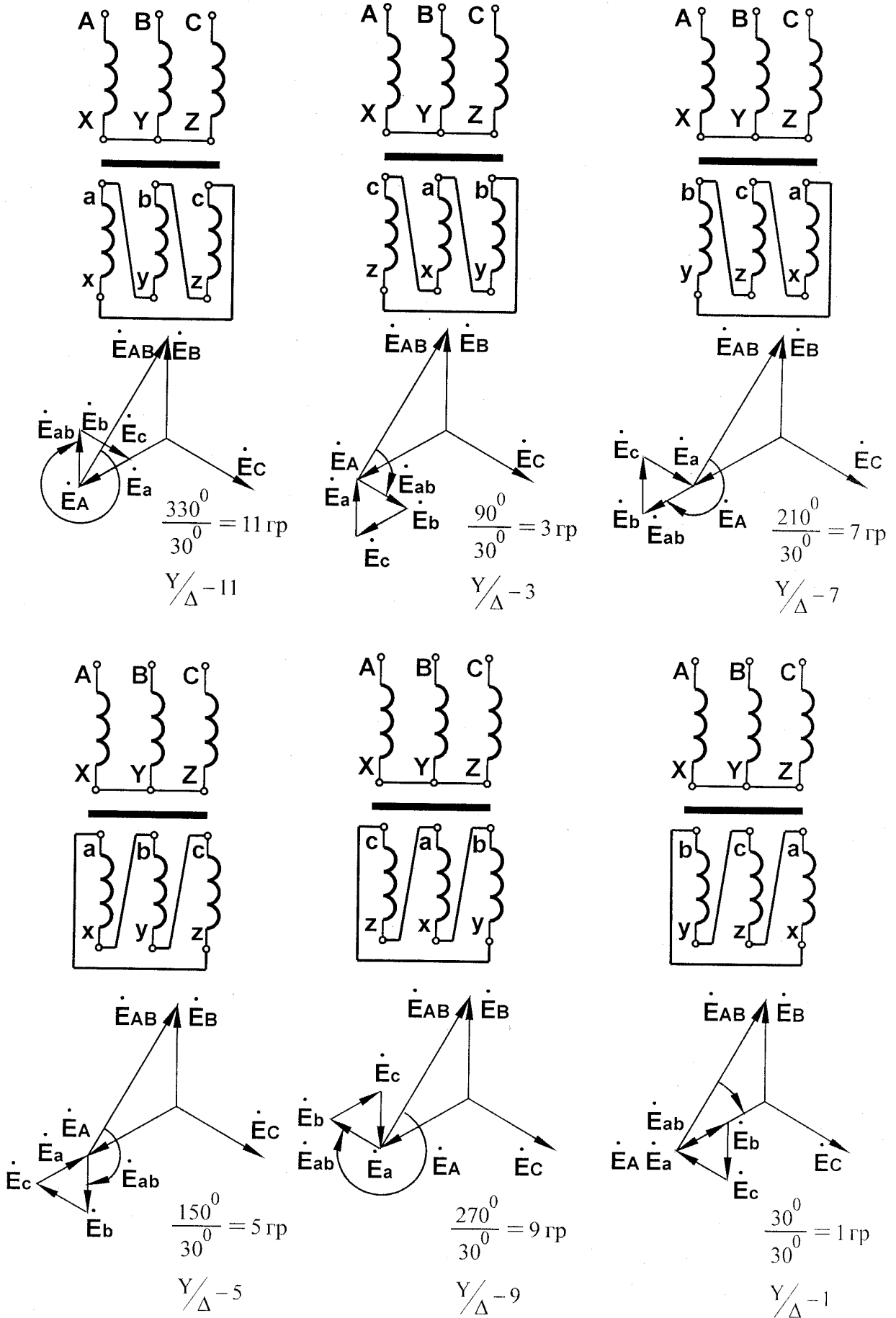


Рис.6



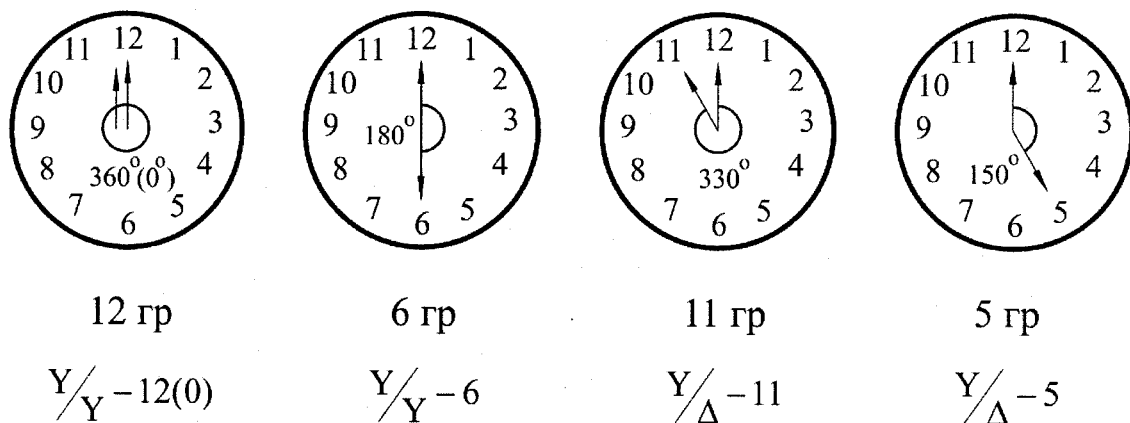


Рис.8

Для груп з'єднань $Y/Y-12(0)$ і $Y/\Delta-11$ заміряти лінійні й фазні напруги на високій і низькій стороні трансформаторів Т1 і Т2 . Причому схема для дослідження трансформаторів при з'єднанні $Y/\Delta-11$ відрізняється від рис.5 тільки тим, що вторинні обмотки трансформаторів Т1 і Т2 з'єднуються, як зазначено на рис. 7.

Для зняття даних як за схемою $Y/Y-12(0)$, так і за схемою $Y/\Delta-11$, необхідно:

увімкнути АП (нагору), натиснути ПУСК5 і ПУСК6 і записати показання приладів у табл.4, використовуючи вольтметр PV14 чи переносний PV. Потім натиснути СТОП5 і СТОП6 і вимкнути АП (униз). Відновити схему для подальших досліджень трансформаторів згідно із рис.5 (тобто для групи $Y/Y-12(0)$).

При увімкненні трансформаторів на паралельну роботу вони повинні мати однакові групи з'єднань.

2.3.4. Визначити коефіцієнти трансформації трансформаторів Т1 і Т2.

Знаючи дані фазних напруг (табл. 4), визначити коефіцієнт трансформації $K1$ для Т1 і $K2$ для Т2:

$$K1 = \frac{U_{AX}}{U_{ax}}; K2 = \frac{U_{A'X'}}{U_{a'x'}}$$

Оскільки паспортні дані досліджуваних трансформаторів (Т1 і Т2) однакові, то і $K_1=K_2$ (що також є однією з умов паралельної роботи трансформаторів).

Таблиця 4

Трансформатори	Групи з'єднань	Напруги											
		U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{AX}	U_{BY}	U_{CZ}	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_{ax}	U_{by}	U_{cz}
Т1	Y/Y -												
	12(0)												
	Y/Δ - 11												
Т2	Y/Y -												
	12(0)												
	Y/Δ - 11												

2.3.5 Визначити напруги короткого замикання U_{K1} для Т1 і U_{K2} для Т2.

З лабораторної роботи щодо дослідження однофазного трансформатора відомий дослід визначення U_K (дослід К3). Досліджувані в даній роботі трансформатори Т1 і Т2 (судячи з заводських табличок) ідентичні, а тому вважаємо, що $U_{K1}=U_{K2}$, як ще одна умова їх паралельної роботи. Четвертою умовою для увімкнення трансформаторів на паралельну роботу є однакове їх фазирування, наприклад, фаза А Т1 відповідає фазі А' Т2, фаза В Т1 - фазі В' Т2 і т.д.

Незважаючи на те, що паспортні дані трансформаторів однакові, вони можуть вирізнятися (хоча й незначно) за своїми параметрами. Це можна спостерігати за зовнішніми характеристиками трансформаторів.

2.3.6. Зняти експериментальні дані для побудови зовнішніх характеристик трансформаторів:

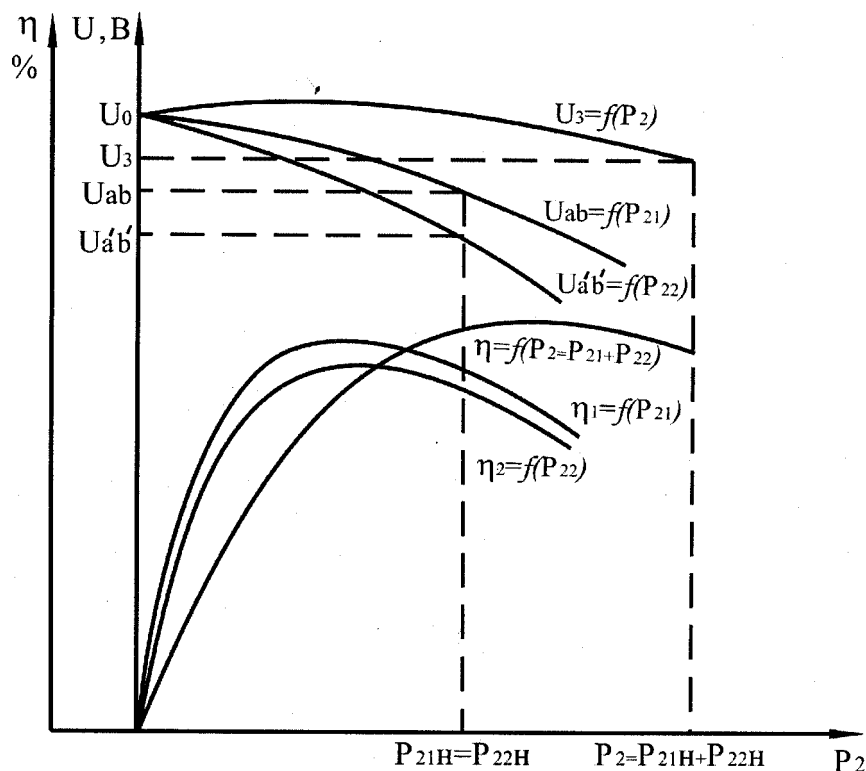
$$\begin{array}{lll}
 U_{ab}=f(P_{21}); & U_{a'b'}=f(P_{22}); & U_3=f(P_2=P_{21}+P_{22}), \\
 T1 & T2 & T1+T2
 \end{array}$$

залежності ККД від навантаження:

$$\eta = f(P_{21}); \quad \eta = f(P_{22}); \quad \eta = f(P_2=P_{21}+P_{22}),$$

приблизний вигляд яких наданий на рис. 9.

Для зняття експериментальних даних Т1 необхідно: увімкнути АП; натиснути ПУСК1, ПУСК5, ПУСК7. Після розгону АД записати показання приладів до табл.5. Потім плавним поворотом ручки ЛАТРа вправо збільшувати за допомогою АД навантаження Т1 (сім вимірів за кіловатметром РW8, але не більше 2 кВт) та записувати щоразу показання приладів до табл.5. Вивести ручку ЛАТР у ліве крайнє положення; натиснути СТОП5 і СТОП7, вимкнути АП (униз); якщо треба, то короткочасним поворотом ручки ЛАТР вправо, а потім уліво зупинити АД; натиснути СТОП1.



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_U=10\text{В/см}; \quad M_\eta=10\%/см; \quad M_P=3\text{кВт/см}$$

Рис.9

Для зняття експериментальних даних Т2 необхідно: включити АП (вгору); натиснути ПУСК1, ПУСК6, ПУСК8. Після розгону АП записати показання приладів у табл.5. Потім плавним поворотом ручки ЛАТРа вправо збільшувати за допомогою АД навантаження Т2 (сім вимірів, але за кіловатметром, але не більше 2 кВт) і записувати щоразу показання приладів у табл. 5;

вивести ручку ЛАТРа у ліве крайнє положення; натиснути СТОП6 і СТОП8, а потім виключити АП, і якщо треба, то зупинити АД.

Оскільки виконані чотири умови - однакові групи з'єднань, однакові напруги короткого замикання, однакові коефіцієнти трансформації і фазировка, то для включення Т1 і Т2 на паралельну роботу і зняття експериментальних даних паралельно працюючих трансформаторів необхідно: включити АП; натиснути ПУСК1, ПУСК5 і ПУСК6, а потім одночасно - ПУСК7 і ПУСК8. Після розгону АД записати показання приладів у табл.5. Потім плавним поворотом ручки ЛАТРа збільшувати за допомогою АД навантаження Т1 і Т2 (шість вимірів, але по КВ8, P_{21} не більш 2 кВт) і записувати щораз показання приладів у табл.5. Вивести ручку ЛАТРа у ліве крайнє положення; натиснути СТОП7, СТОП8, СТОП6, СТОП5; вимкнути АП, і, якщо треба, зупинити АД; натиснути СТОП1.

Роботу закінчено.

2.4 Обробка результатів, звіт

Звіт про лабораторну роботу повинен включати:

назву, мету і програму роботи;

паспортні дані Т1, Т2, Т3 і АД, схему установки згідно із рис.5;

табл. 4,5. з вимірюваними й обчисленими даними, отриманими за формулами:

$$P_1 = P_{11} + P_{12},$$

де P_{11} і P_{12} - відповідно активні потужності (кВт), що споживаються трансформаторами Т1 і Т2 з мережі;

$$P_{21} = P_{22} = \frac{Mn}{9750},$$

Таблиця 5

Паралельна робота	Трансформатори													Підраховано																
	Т1							Т2							Виміряно						Підраховано									
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	об/хв	ТАХ ₂	n	кВт	кВт	кВт	кВт	%	%
№п/п		V ₇	U _c	U _{AB}	I _B	P ₁₁	U _{ab}	I _b	U _{A'B'}	I _{B'}	P ₁₁	U _{a'b'}	I _{b'}	M	НМ		ТАХ ₂		n	P ₁	P ₂₁	P ₂₂	P ₂	n ₁	n ₂	η				
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			
									*	*	*	*	*							*	*	*	*	*	*	*	*			

де P_{21} і P_{22} - відповідно активні потужності (кВт) на виході трансформаторів Т1 і Т2, тобто активні потужності навантажувального АД;

M і n - відповідні цим потужностям момент і частота обертання АД;

$$P_2 = \frac{2Mn}{9750} = P_{21} + P_{22},$$

де P_2 - сумарна активна потужність (кВт) на виході паралельно працюючих трансформаторів;

$$\eta_1 = (P_{21}/P_{11})100; \eta_2 = (P_{22}/P_{12})100; \eta = (P_2/P_1)100,$$

де η_1 , η_2 , η_3 - коефіцієнти корисної дії (%) першого, другого і групи трансформаторів відповідно;

схеми і векторні діаграми (у масштабі $M_U = \frac{50B}{1cm}$) Т1 і Т2 для груп з'єднань $Y/Y-12(0)$ і $Y/\Delta - 11$ (згідно з даними табл.4 і рис.6,7,8);

характеристики згідно із рис.9 (на рис.9 P_{21} і P_{22} визначаються при значеннях $P_{11} = P_{12} = 2$ кВт).

Обробляючи результати лабораторної роботи студентам слід:

проаналізувати схеми і векторні діаграми Т1 і Т2, а також отримані характеристики трансформаторів і зробити висновки про їх експлуатаційні властивості;

за табл.4 визначити розходження в групах з'єднань трансформаторів.

Запам'ятати, що трансформатори можуть бути увімкнені на паралельну роботу тільки при дотриманні наступних умов:

2.4.1 При однаковій первинній напрузі вторинні напруги повинні бути рівні, тобто трансформатори повинні мати однакові коефіцієнти трансформації $K_1 = K_2$.

При недотриманні цієї умови навіть при холостому ході між трансформаторами виникає зрівняльний струм $I_{зр}$, зумовлений різницею вторинних напруг ΔU , який накладається на навантажувальний струм. При цьому трансформатор з меншим коефіцієнтом трансформації перевантажується, а з більшим - недовантажується. Наприклад, якщо $K_1 < K_2$, то Т1

перевантажиться, а Т2 недовантажиться. Але тому що перевантаження неприпустиме, то в підсумку доведеться розвантажувати обидва трансформатори доти, поки Т1 не буде мати номінальне навантаження. Т2 у цьому випадку буде недовикористаний, оскільки буде недовантажений. ДСТ401-41 дозволяє роботу трансформаторів з різними коефіцієнтами трансформації, якщо їх різниця не перевищує $\pm 0,5\%$ від середнього значення

$$\Delta K = \frac{K_1 - K_2}{K} 100 \leq \pm 0,5\% ,$$

де $K = \sqrt{K_1 K_2}$ середньгеометричне значення коефіцієнтів трансформації.

2.4.2 Трансформатори повинні належати до однієї групи з'єднань.

В іншому випадку вторинні вектори лінійних ЕРС будуть зсунуті на кут, відмінний від нуля, і під дією різниці ЕРС буде протікати зрівняльний струм, що марно завантажує трансформатори.

2.4.3 Трансформатори повинні мати однакові напруги короткого замикання, тобто

$$U_{K1} = U_{K2}.$$

Якщо ж ця умова не виконується, то навантаження між трансформаторами S_1 і S_2 (повні потужності) розподіляється обернено пропорційно напрузі КЗ

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{U_{K2} S_{H1}}{U_{K1} S_{H2}},$$

тобто трансформатори навантажуються непропорційно до їх потужностей, що веде до перевантаження одного з трансформаторів (з меншим U_K) і недовантаження іншого. Тому загальне навантаження знижують, щоб не допустити перевантаження одного з трансформаторів, тобто недовикористовують інший. ДСТ401-41 дозволяє різницю напруг КЗ не більше $\pm 10\%$ від їх середньоарифметичного значення, тобто

$$\Delta U_K = \frac{U_{K1} - U_{K2}}{U_K} 100 \leq \pm 10\% ,$$

де $\Delta U_K = \frac{U_{K1} - U_{K2}}{2}$ - середньоарифметичне значення напруг короткого замикання трансформаторів.

Різниця напруг КЗ трансформаторів тим більше, чим більше вони відрізняються один від одного за потужністю. Тому ДСТ401-41 рекомендує, щоб відношення номінальних потужностей трансформаторів включених паралельно, було не більш ніж 3:1.

2.4.4. Перед вмиканням трансформаторів на паралельну роботу необхідно перевірити порядок чергування фаз (фазування), яка повинна бути однаковою.

При дотриманні цієї умови показання вольтметрів у схемі рис.10 дорівнюють нулю. На паралельну роботу можуть бути включені трансформатори різної потужності, але їх загальне навантаження не повинне перевищувати сумарної номінальної потужності цих трансформаторів.

Розподіл навантаження між паралельно працюючими трансформаторами визначається в такий спосіб

$$S_x = \frac{S}{U_{KX} \sum \frac{S_{HX}}{U_{KX}}} S_{HX},$$

де S_x - навантаження одного з паралельно працюючих трансформаторів, кВА;

S - спільне навантаження всієї паралельної групи;

U_{KX} -напруга КЗ даного трансформатора, %;

S_{HX} -номінальна потужність даного трансформатора, кВА;

$$\sum \frac{S_{HX}}{U_{KX}} = \frac{S_{H1}}{U_{K1}} + \frac{S_{H2}}{U_{K2}} + \frac{S_{H3}}{U_{K3}} + \dots$$

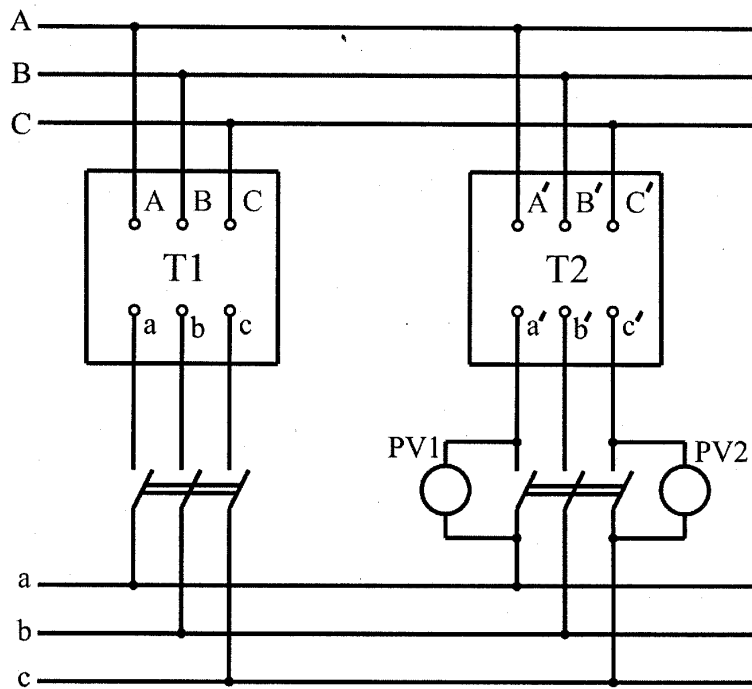


Рис.10

Контрольні запитання

1. Схема, конструкція і принцип дії трифазних трансформаторів.
2. Групи з'єднання трифазних трансформаторів. Як їх визначити?
3. Умови увімкнення трифазних трансформаторів на паралельну роботу.
4. До чого призведе увімкнення трансформаторів на паралельну роботу з різними групами з'єднань? Чи практикують таке?
5. До чого призведе увімкнення трансформаторів з різними коефіцієнтами трансформації на паралельну роботу? Яка відмінність у коефіцієнтах трансформації допустима?
6. До чого призведе увімкнення трансформаторів з різними напругами КЗ на паралельну роботу?
7. До чого призведе при паралельній роботі трансформаторів недотримання їх фазування?
8. Як впливає зміна коефіцієнта завантаження трансформатора на його ККД? При якому коефіцієнті завантаження ККД трансформатора найбільший і чому?
9. Для чого використовують паралельну роботу трансформаторів?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Копылов И.П. Электрические машины: Учеб. для вузов. -М.: Энергоатомиздат, 1966, - Гл. 2.
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. 2.
3. Вольдек А.И. Электрические машины: Учеб. для студентов высш. техн. учебн. завед. - 3-е изд., перераб. - Л.: Энергий, 1978. - Гл. 15.
4. Федоров А.А., Попов Ю.П. Эксплуатация оборудования промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – Гл. 3.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни “Електричні машини”, розділ “Трансформатори” для студентів денної та заочної форм навчання за напрямками 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