

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

Частина 1 – Трансформатори. Машини постійного струму.

**Методичні вказівки
щодо виконання лабораторних робіт**

СУМИ – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ
Частина 1 - Трансформатори. Машини постійного струму.
Механіка та енергетика електроприводу

Методичні вказівки
щодо виконання лабораторних робіт

для здобувачів освітньої програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка», 2с.т , 3 курсу денної та 1 с.т., 2с.т.,
4 курсу заочної форми здобуття освіти ступеня вищої освіти
«бакалавр»

СУМИ – 2025

Укладачі: **Чепіжний А.В.**, к.т.н., доцент, завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ
Юрченко О.Ю., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем
Рясна О.В., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем
Тесленко О.В., асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Н 18 Науково-методичне забезпечення навчального процесу
методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт:/ укл.:
Чепіжний А.В., Юрченко О.Ю., Рясна О.В., Тесленко О.В. -
Суми, 2025. – 76 с.

У методичних вказівках щодо виконання лабораторних робіт наведений матеріал по лабораторних роботах по проведенню досліджень силових трансформаторів та їх характеристики роботи. А також матеріал щодо машин постійного струму та їх робочі, електромеханічні характеристики, які використовуються у виробничих процесах енергетичного напрямлення. Для самоконтролю знань є контрольні питання в кожній лабораторній роботі.

Рецензенти:

Козін В.М., к.т.н., доцент кафедри «Енергетика та електротехнічні системи» СНАУ;
Лобода В.Б., к.ф.-м.н., професор кафедри охорони праці та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою якості інженерно-технологічного факультету. Протокол №4 від «28» січня 2025 року

© Сумський національний
аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ	
1Лабораторна робота №1Тема: Дослідження роботи та будови однофазного трансформатора.....	9
2Лабораторна робота № 2 Тема: Будова та розрахунок трифазних силових трансформаторів.....	14
3Лабораторна робота № 4 Тема: Розрахунок енергетичних показників і числа витків обмоток силового трансформатора за паспортними даними.....	19
4Лабораторно-практична робота № 4 Тема: Дослідження параметрів схеми заміщення силових однофазних трансформаторів за паспортними даними.....	26
5Лабораторна робота № 5 Тема: Розрахунок і побудова графіків ККД і визначення втрат силових трансформаторів за паспортними даними.....	29
6Лабораторно-практична робота № 6 Тема: Дослід холостого ходу і короткого замикання однофазного силового трансформатора.....	36
7Лабораторно-практична робота № 7Тема: Дослідження паралельної роботи трифазного силового трансформатора.....	38
8Лабораторна робота №8 Тема: Дослідження трифазного двообмоткового трансформатора.....	45
9Лабораторна робота № 9 Тема: Паралельна робота трифазних силових трансформаторів.....	50
10 Лабораторно-практична робота № 10 Тема: Будова машин постійного струм.....	53
11 Лабораторно-практична робота № 11 Тема: Розрахунок та побудова схем обмоток якоря машин постійного струму.....	57
12 Лабораторно-практична робота № 12 Тема: Дослідження генератора постійного струму незалежного збудження.....	61
13 Лабораторно-практична робота № 13 Тема: Розрахунок енергетичних показників генераторів постійного струму за паспортними даними.....	70
14. Лабораторно-практична робота № 14 Тема: Дослідження нагріву та охолодження електродвигуна.....	73
15. Лабораторно-практична робота № 15 Тема: Наладка схеми управління електроприводом подрібнювана з перемиканням обмоток двигуна з "зірки" на трикутник" під час пуску ...Додаток А (Оформлення і зміст звіту про роботу).....	75 79
Список рекомендованих джерел.....	80

Тематичний план

№ п/п	Тема лабораторного заняття	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Дослідження роботи та будови однофазного трансформатора.	7	4
2	Будова та розрахунок трифазних силових трансформаторів	7	4
3	Розрахунок енергетичних показників і числа витків обмоток силового трансформатора за паспортними даними.	7	4
4	Дослідження параметрів схеми заміщення силових однофазних трансформаторів за паспортними даними	7	-
5	Розрахунок і побудова графіків ККД і визначення втрат силових трансформаторів за паспортними даними.	7	-
6	Дослід холостого ходу і короткого замикання однофазного силового трансформатора	7	-
7	Дослідження паралельної роботи трифазного силового трансформатора	7	-
8	Дослідження трифазного двообмоткового трансформатора.	7	-
9	Паралельна робота трифазних силових трансформаторів.	6	-
10	Будова машин постійного струм.	12	-
11	Розрахунок та побудова схем обмоток якоря машин постійного струму	12	-
12	Дослідження генератора постійного струму незалежного збудження	6	-
13	Розрахунок енергетичних показників генераторів постійного струму за паспортними даними	4	-
14	Дослідження нагріву та охолодження електродвигуна	4	2
15	Наладка схеми управління електроприводом подрібнювана з перемиканням обмоток двигуна з "зірки" на трикутник" під час пуску	4	-
	Разом годин:	104	14

ВСТУП

1. Дисципліна «Електричні машини» є однією з основних профільюючих дисциплін у системі підготовки інженера - енергетика.

Метою вивчення дисципліни «Електричні машини» є надання майбутнім бакалаврам досить глибоких знань і уявлень в галузі електричних машин, електромеханічного перетворення енергії та управління процесами такого перетворення, що повинно стати основою для практичної діяльності в галузі експлуатації електричних машин.

Предметом вивчення дисципліни є: основні фізичні закони, на яких базується принцип дії і процеси перетворення енергії набуття та свідоме застосування знань з електричних машин; взаємозалежності електричних і техніко-економічних характеристик електричних машин; будова та принцип дії електричних машин; загальні принципи їх будови; схеми, характеристики, способи пуску та властивості двигунів постійного та змінного струму; питання запуску та гальмування двигунів та їх вибір. Приділяється увага також вивченню електричних машин в АПК; орієнтувати здобувачів на оволодіння теорією електричних машин та практичним навичкам вирішення виробничих питань.

Дисципліна базується на знаннях з вищої математики, фізики, загальної електротехніки, промислової електроніки, теоретичної механіки. Оволодіння студентами навчальної дисципліни «Електричні машини» дозволяє успішно засвоїти такі спеціальні дисципліни, як «Монтаж електрообладнання і систем керування», «Електротехнології в АПК», «Енергетичні установки», «Проектування систем електрифікації, автоматизації і електропостачання». «Електротехнології та електроосвітлення» та застосовувати знання при розв'язанні практичних виробничих завдань.

В сучасних електричних установках раціональне використання електричної енергії часто буває зв'язане не тільки з її перетворенням в механічну енергію, але й з необхідністю перетворення одного роду електричного струму в другий, наприклад змінного струму низької напруги в струм високої напруги, змінного струму – в постійний, трифазного – в двофазний та ін. Такі перетворювання виконуються при допомозі електричних машин, що називаються **перетворювачами електричного струму** або **електромашинними перетворювачами**.

Особливо широке використання в сучасній техніці одержали перетворювачі змінного струму однієї напруги в змінний струм другої напруги тієї ж частоти, що називаються трансформаторами.

Трансформатори широко застосовуються в системах передачі й розподілу електроенергії. Відомо, що передача електроенергії на далекі відстані здійснюється при високій напрузі (500 кВ та більше), завдяки чому значно зменшуються електричні втрати в лінії електропередачі. Одержати

таку високу напругу в генераторі неможливо, тому електроенергія після генератора подається на підвищувальний трансформатор, у якому напруга збільшується до необхідного значення. Ця напруга повинна бути тим вища, чим більша довжина лінії електропередачі та чим більша потужність, яка передається по цій лінії. Наприклад, при передачі електроенергії потужність 10^6 кВт на відстань 1000 км необхідна напруга 500 кВ. У місцях розподілу електроенергії між споживачами встановлюють понижуючі трансформатори, що знижують напругу до необхідного значення. І нарешті, у місцях споживання електроенергії напругу ще раз знижують за допомогою трансформаторів до 220, 380 або 660 В. При такій напрузі електроенергія подається безпосередньо споживачам – на робочі місця підприємств та в житлові приміщення. Таким чином, електроенергія змінного струму в процесі передачі від електростанції до споживачів піддається три-, а іноді чотири разовому трансформуванню. Крім цього основного застосування трансформатори використовуються в різних електроустановках (нагрівальних, зварювальних і т.п.), пристроях автоматики, зв'язку і т.д.

Електрична машина – електромеханічний пристрій, який здійснює взаємне перетворення механічної і електричної енергії. Електрична енергія виробляється на електростанціях електричними машинами – генераторами, які перетворюють механічну енергію в електричну. Основна частина енергії (до 80%) виробляється на електростанціях, де при спалюванні хімічного палива (вугілля, торф, газ) нагрівається вода і переводиться в пару високого тиску. Пара подається в турбіну, де розширяється і приводить ротор турбіни до обертання (теплова енергія в турбіні перетворюється в механічну). Обертання ротора турбіни передається на вал генератора (турбогенератора). В наслідок електромагнітних процесів, які проходять в генераторі, механічна енергія перетворюється в електричну.

Процес виробництва електроенергії на атомних електростанціях аналогічний тепловим з різницею, що замість хімічного палива використовується ядерне.

Процес вироблення електроенергії на гідроелектростанціях полягає в наступному: вода, піднята дамбою на певний рівень, скидається на робоче колесо гідротурбіни, отримана при цьому механічна енергія шляхом обертання колеса турбіни передається на вал електричного генератора, в якому механічна енергія перетворюється в електричну.

В процесі споживання електричної енергії здійснюється її перетворення в інші види енергій (теплову, механічну, хімічну). Біля 70% електроенергії використовують для приведення в дію верстатів, машин та механізмів, тобто для перетворення її в механічну енергію. Це перетворення здійснюється електричними машинами – *електродвигунами*.

Останнім часом значно зросло застосування електричних машин малої потужності – мікромашин потужністю від долей до декілька сотен ватт. Такі електричні машини застосовують в пристроях автоматики та

обчислювальної техніки.

Особливий клас електричних машин складають двигуни для побутових електричних пристроїв – пирососів, холодильників, вентиляторів. Потужність цих двигунів незначна, конструкція проста і надійна.

Лабораторна робота №1

Тема: Дослідження роботи та будови однофазного трансформатора.

1.1 Мета роботи

Метою лабораторної роботи є отримання первинних навичок експериментальної роботи з трансформаторами на прикладі найпростішого їхнього варіанту – однофазного двообмоткового трансформатора – шляхом виконання на ньому типових досліджень.

1.2 Завдання щодо проведення лабораторної роботи

У експериментальній частині роботи виконуються такі завдання:

- ✓ дослід неробочого ходу трансформатора при номінальній первинній напрузі;
- ✓ дослід короткого замикання трансформатора при номінальному первинному струмі;
- ✓ дослід навантаження трансформатора при номінальній первинній напрузі зі зняттям його робочих характеристик у діапазоні від неробочого ходу до рівня, перевищуючого номінальний на 10 %.

У результаті теоретичної підготовки та проведення роботи студент повинен знати:

- ✓ будову та принцип дії трансформатора, а також процеси, що супроводжують його роботу в режимах неробочого ходу, короткого замикання та навантаження;
- ✓ вихідні умови та порядок проведення дослідів неробочого ходу, короткого замикання та навантаження;
- ✓ параметри трансформатора, які отримують експериментально та подальшими розрахунками на основі виконаних дослідів неробочого ходу та короткого замикання;
- ✓ склад і вигляд робочих характеристик трансформатора та порядок їхнього зняття та супутніх розрахунків.

1.3 Теоретичні положення

Основою експериментального дослідження трансформатора є його такі номінальні параметри: SN – повна номінальна потужність; U_{kN}/U_{1N} – номінальні напруги обмоток вищої напруги (ВН) і нижчої напруги (НН);

I_{kN}/I_{1N} – номінальні струми обмоток ВН і НН; f – частота; m – кількість фаз. Основні теоретичні положення, що стосуються принципу дії однофазних трансформаторів, наведені в розд. А.2.

Дослідження властивостей однофазних трансформаторів, що споживають невелику потужність, проводяться методом безпосереднього навантаження.

При типовому дослідженні однофазного трансформатора проводяться три досліді: дослід неробочого ходу, дослід короткого замикання, дослід навантаження. Фізичні процеси, що виникають при режимах неробочого ходу, короткого замикання та навантаження, наведені в розд. А.6, А.7.

1. **Дослід неробочого ходу** відбувається, коли навантаження відсутнє, тобто вторинна обмотка розімкнена. Якщо на первинну обмотку подається напруга неробочого ходу U_{po} , яка дорівнює номінальній напрузі первинної обмотки U_{pN} , тоді виміряна вторинна напруга неробочого ходу U_{so} вважається номінальною напругою

вторинної обмотки U_{sN} . При виконанні досліду неробочого ходу визначається коефіцієнт трансформації напруг з урахуванням вимог, наведених у розд. А.2:

$$n_U = \frac{U_{po}}{U_{so}} \quad (1.1)$$

2. **Дослід короткого замикання** відбувається, коли вторинна обмотка замкнена сама на себе. Дослідне коротке замикання відрізняється від режиму аварійного короткого замикання, оскільки проводиться при зниженій первинній напрузі. Якщо на первинну обмотку подається така напруга короткого замикання U_{pk} , при якій струм первинної обмотки I_{pk} дорівнюватиме номінальному I_{pN} , виміряний вторинний струм I_{sk} вважається номінальним струмом вторинної обмотки I_{sN} .

У результаті визначається коефіцієнт трансформації струмів:

$$n_I = \frac{I_{pk}}{I_{sk}} \quad (1.2)$$

$$\frac{1}{n_U}$$

якій повинен дорівнювати значенню n_U , де n_U визначається за (1.1).

3. **Дослід навантаження** відбувається, коли до затисків вторинної обмотки підключене будь-яке навантаження, що характеризується комплексним опором

$Z_l = Z_l e^{j\phi_l}$, де кут ϕ_l визначається характером навантаження.

Трансформатор живиться номінальною напругою U_{pN} . Навантаження регулюється в таких межах, щоб струм вторинної обмотки I_s , який є одночасно й струмом навантаження, змінювався від нуля (режим неробочого ходу) до номінального значення I_{sN} або декілька вище – зазвичай на 10...20 % вище номінального. Для поєднання даних досліду навантаження у єдину систему бажано при змінюванні повного опору Z_l зберігати його характер, тобто аргумент ϕ_l . Це легко забезпечити, якщо за навантаження взяти реостат, який характеризується тільки активним опором R_l , відповідно, має незмінний аргумент $\phi_l = 0$.

При кожному значенні I_s вимірюються або розраховуються для трансформатора вхідна активна потужність P_{in} , первинний струм I_p , вторинна напруга U_s , коефіцієнт потужності трансформатора $\cos\phi_p$, вихідна активна потужність P , ККД η .

1.4 Опис випробувальної установки

Принципова схема випробувальної установки наведена на рис.1.1. Випробовуванням є однофазний двообмотковий трансформатор T_2 , номінальні дані якого надаються на лабораторному стенді. Ці дані треба занести до протоколу вимірювань за формою табл.1.1.

Електроживлення на випробувальну установку подається через автоматичний вимикач QF . Наявність напруги в мережі змінного струму контролюється світловим індикатором HL . Для регулювання вхідної напруги досліджуваного трансформатора T_2 застосовується автотрансформатор T_1 . Регульована напруга з автотрансформатора подана на затискі А та Х первинної

Таблиця 1.1 – Номінальні дані трансформатора

Задане							Визначене			
S_N , В·А	U_{hN} , В	U_{lN} , В	I_{hN} , А	I_{lN} , А	f , Гц	m	U_{pN} , В	I_{pN} , А	U_{sN} , В	I_{sN} , А

3. Здійснити дослід неробочого ходу. Тумблер Q розімкнутий, тому й вторинна обмотка трансформатора $T2$ розімкнена, трансформатор $T2$ не буде мати навантаження. Замкнути контакти QF і за допомогою автотрансформатора $T1$ подати на первинну обмотку трансформатора $T2$ номінальну напругу. Відкоригувати границі вимірювань приладів за наявними напругами та струмами. Результати вимірювань у досліді неробочого ходу занести до табл.1.3 (тут додавання індексу o відповідає позначенню величин неробочого ходу).

Таблиця 1.3 – Значення величин досліді неробочого ходу

Задане	Виміряне			Обчислене				
$U_{po} = U_{pN}$, В	I_{po} , А	P_o , Вт	U_{so} , В	n_U	i_o , %	$P_{mag N}$, Вт	$\cos \varphi_{po}$	Z_o , Ом

4. Провести дослід в режимі навантаження з його регулюванням. Початковим станом для цього досліді є попередній режим неробочого ходу, дані якого також впишіть у табл. 1.4. Замкнути тумблер Q і, підтримуючи на первинній обмотці трансформатора $T2$ незмінну номінальну напругу U_{pN} , встановити за допомогою реостата R низку рівнів навантаження трансформатора в 7–8 фіксованих положеннях з рекомендованого діапазону. При регулюванні навантаження слід орієнтуватися на величину вторинного струму I_s , який встановлюють з приблизно постійним кроком в діапазоні від неробочого ходу до $1,1 I_{sN}$. Результати вимірювань внести також до табл.1.4.

Таблиця 1.4 – Значення величин досліді навантаження

Задане	Виміряне				Обчислене			
$U_p = U_{pN}$, В	I_p , А	P_{in} , Вт	I_s , А	U_s , В	β	$\cos \varphi_p$	P , Вт	η

5. Провести дослід в режимі короткого замикання, суворо дотримуючи послідовність вказаних далі дій, оскільки відхилення від цього може призвести до аварії. При можливості переведіть живлення автотрансформатора $T1$ з джерела 220 В на джерело з меншою напругою. Початковий стан для досліді короткого замикання відповідає вказаному на початку роботи у п.2. Увімкнути автоматичним вимикачем QF електроживлення та переконавшись по вольтметру $PV1$, що напруга на виході автотрансформатора $T1$ дорівнює нулю. Вимкнувши тимчасово живлення, замкнути на коротко коло вторинної обмотки трансформатора $T2$ за допомогою провідника, підключеного на

затискачі реостата R паралельно йому. Увімкнути автоматичним вимикачем QF живлення автотрансформатора $T1$ і дуже обережно з його допомогою плавно збільшити струм в первинній обмотці трансформатора $T2$ до значення I_{pN} , оскільки критерієм досліду короткого замикання є саме номінальний струм цієї обмотки. У цьому положенні виміряти первинну напругу U_{pk} , вхідну потужність P_k і вторинний струм I_{sk} , а результати вписати до табл.1.5 (індекс « k » відповідає досліду короткого замикання).

Таблиця 1.5 – Значення величин досліду короткого замикання

Відключити джерело живлення і привести обладнання до початкового стану.

Задане	Виміряне			Обчислене					
$I_{pk} = I_{pN}$ А	U_{pk} В	P_k Вт	I_{sk} А	n_I	$u_k \%$ %	$P_{el N}$ Вт	$\cos \varphi_{pk}$	Z_k Ом	$I_{Av k}$ А

1.6 Обробка результатів дослідів та оформлення звіту

1. За даними досліду неробочого ходу (табл.1.3) та короткого замикання (табл.1.5) визначити такі параметри трансформатора та занести їх до цих таблиць:

- n_U , n_I – коефіцієнти трансформації напруг (1.1) і струмів (1.2);
- i_o , u_k – відсоткові значення струму неробочого ходу (А.10) та напруги короткого замикання (А.15);
- $P_{mag N}$, $P_{el N}$ – магнітні (А.11) та електричні (А.14) втрати потужності, які визначені при номінальних напругах і струмах, відповідно;
- $\cos \varphi_{po}$, $\cos \varphi_{pk}$ – коефіцієнт потужності в режимах неробочого ходу (А.9) та короткого замикання (А.13);
- Z_o , Z_k – повний опір трансформатора в режимах неробочого ходу та короткого

$$Z = \frac{U_p}{I_p}$$

замикання на основі загального виразу

- $I_{Av k}$ – струм аварійного короткого замикання при U_{pN} , який розраховується за

$$I_{Av k} = I_{pk} \frac{U_{pN}}{U_{pk}}$$

формулою

2. За результатами вимірювань в режимі навантаження (табл. 1.4) розрахувати величини:

- β – коефіцієнт навантаження (А.20);

$$\cos \varphi_p = \frac{P_m}{m U_{pN} I_p}$$

- $\cos \varphi_p$ – коефіцієнт потужності трансформатора при навантаженні
- P – вихідна активна потужність трансформатора та одночасно навантаження за формулою $P = U_s I_s \cos \varphi_l$ (слід врахувати активний характер навантаження і відповідний цьому коефіцієнт потужності $\cos \varphi_l = 1$);
- η – коефіцієнт корисної дії трансформатора (А.21).

- Результати розрахунків у всьому діапазоні внести до табл.1.4 і побудувати робочі (експлуатаційні) характеристики трансформатора: $U_s(\beta)$, $I_p(\beta)$, $\eta(\beta)$ і $\cos\varphi_p(\beta)$. Рекомендується використання загальної осі β та індивідуальних осей і масштабів для вказаних функцій. Загальний вигляд робочих характеристик наведено на рис.А.18.
3. Проаналізувати результати, отримані в табл.1.3–1.5 і проілюстровані побудованими робочими характеристиками.
 4. Оформити звіт відповідно до додатка Д.

Контрольні питання

1. Зобразіть конструкцію однофазного трансформатора і поясніть призначення його елементів.
2. У чому полягає принцип дії трансформатора?
3. Що таке коефіцієнт трансформації та як він зв'язує напруги та струми обмоток трансформатора?
4. Які величини трансформатора надаються у його паспортних даних?
5. Яким чином проводиться дослід неробочого ходу трансформатора та які його параметри отримують за даними цього досліджу?
6. Яким чином проводиться дослід короткого замикання трансформатора і які його параметри отримують за даними цього досліджу?
7. Яким чином отримують експериментальні та розрахункові дані для робочих характеристик трансформатора?
8. Покажіть робочі характеристики трансформатора та поясніть їхній характер.
9. Які втрати потужності мають місце в трансформаторі, яка їхня фізична природа і чи залежать вони від величини навантаження трансформатора?

Лабораторна робота № 2

Тема: Будова та розрахунок трифазних силових трансформаторів

Мета: розглянути будову та виконати розрахунок трифазних силових трансформаторів

Теоретичні питання. 1. Трансформатор — статичний електромагнітний пристрій із двома або більшим числом індуктивно зв'язаних обмоток, який служить для перетворення за допомогою електромагнітної індукції змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги.

2. Класифікація.

За призначенням трансформатори бувають: силові, узгоджувальні та імпульсні;
за потужністю — малої, середньої та великої потужності;
за кількістю обмоток — двообмоткові та багатообмоткові;
за способом охолодження - сухі і масляні;
за типом осердя - стержньові, броньові і тороїдні; а також — без осердя (повітряні);
за кількістю фаз — однофазні і трифазні.

Силові трансформатори призначені для перетворення електричної енергії в електричних мережах та в установках для її приймання і використання. Вони складають основну, найбільш численну групу.

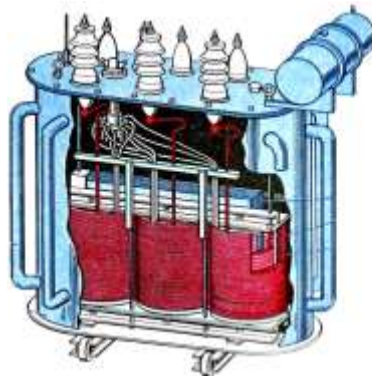


Рис. 1 Будова трифазного силового трансформатора

Потужні силові трансформатори встановлюють на електростанціях для підвищення електричної енергії генераторів. Передача електроенергії по лінії електропередачі високою напругою і малими струмами значно зменшує втрати потужності, що дає можливість зменшити переріз проводів та істотно знизити витрати кольорового металу.

У кінці лінії електропередачі встановлюють трансформатори, які знижують напругу до рівня, необхідного для розподілу її між великими споживачами (міста, населені пункти, промислові підприємства, цехи підприємств та ін.).

У місцях споживання електроенергії встановлюють трансформатори, які знижують напругу до експлуатаційної. Більшість споживачів працюють при напрузі 220, 380 і 660 В.

Отже, електроенергія, яка передається від електростанції до електроприймачів, трансформується декілька разів. Спочатку підвищується, а потім знижується.

Трансформатори, призначені для підвищення напруги, називаються *підвищувальними*, а трансформатори, призначені для зниження напруги, — *знижувальними*.

Трансформатори широко використовують у радіо - і телеапаратурі, у вимірювальних пристроях, місцевому освітленні тощо.

Трансформатори, які використовуються для узгодження напруги або опорів між каскадами в радіопристроях, називаються *узгоджувальними*.

Трансформатори, призначені для передачі імпульсів напруги або струмів з однієї мережі в іншу, називаються *імпульсними*. Вони широко використовуються в імпульсній техніці.

Залежно від потужності трансформатори випускають з природним і масляним охолодженням. Активні частини трансформаторів у потужних енергетичних установках занурюють в мінеральне трансформаторне масло для кращого відведення тепла і поліпшення ізоляції.

Трансформатори малої потужності випускають з повітряним охолодженням.

Призначення і принцип виконання трифазного трансформатора.
Основні розрахунки. Трифазний трансформатор служить для перетворення електричної енергії трифазного струму з одним співвідношенням лінійних напруг і струмів в електричну енергію трифазного струму з іншим співвідношенням цих же величин.

Як правило трифазними виконуються силові трансформатори, призначені для передачі і розподілу електричної енергії на трансформаторних підстанціях промислових підприємств.

В системах електропередачі, де потрібно перетворювати великі потужності (більше 80 000 кВА), замість трифазних трансформаторів використовуються

групи, які складаються з трьох однофазних трансформаторів. Пояснюється це величезністю трифазних трансформаторів великої потужності і складністю їх транспортування від заводів-виготовлювачів до місця вантажу.

Обмотки трифазних силових трансформаторів, які складають трифазну групу, з'єднують між собою в зірку або в трикутник.

Магнітопровід трифазного трансформатора складається з трьох вертикальних стержнів, замкнутих між собою зверху і знизу ярмами.

Принцип використання тристержевого трансформатора полягає в такому. Використаємо трифазну групу з трьох однофазних трансформаторів (рис. 9.1а), по обмотках яких A , B і C течуть синусоїдальні струми, зсунуті по часу відносно один одного $2/3\pi$ рад. Будемо вважати, що відповідні магнітні потоки також синусоїдальні, тобто

$\Phi_A = \Phi_m \sin \omega t, \Phi_B = \Phi_m \sin(\omega t - 2\pi/3), \Phi_C = \Phi_m \sin(\omega t - 4\pi/3)$ Об'єднаємо три стержні 1, 2 і 3 (див. рис. 9.1а) в один загальний, тоді сумарний магнітний потік в ньому

$$\begin{aligned} \Sigma \Phi &= \Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = \Phi_m [\sin \omega t + \sin(\omega t - 2\pi/3) + \sin(\omega t - 4\pi/3)] = \\ &= \Phi_m [\sin \omega t + \sin \omega t \cos 2\pi/3 - \cos \omega t \sin 2\pi/3 + \sin \omega t \cos 4\pi/3 - \cos \omega t \sin 4\pi/3] = \\ &= \Phi_m [\sin \omega t (1 - 0.5 - 0.5) - \cos \omega t ((3/4)^{1/2} - (3/4)^{1/2})] = 0 \end{aligned} \quad (9.1)$$

Отже, загальний стержень можна викинути, отримавши симетричний трансформатор (рис. 9.1б).

В 1889 році М.О. Доливо-Добровольський відмітив, що падіння магнітного потенціалу в ярмах трансформатора фази B невелике і запропонував їх викинути, отримавши більш компактний трансформатор (рис. 9.1в). Ця конструкція отримала загальне розповсюдження. Такий магнітопровід не повністю симетричний; щоб зменшити симетрію, переріз ярма виконують трохи більшим за переріз стержнів. Крім того, така магнітна не симетрія позначається лише на струмі холостого ходу: в обмотці 5 (середній стержень) він буде менший, ніж в інших фазах. Але, як показано в п. 8.10, струм холостого ходу дуже мало впливає на робочі струми обмоток. На кожний стержень насаджують обмотку $ВН$ і $НН$ (рис. 9.1а), тому при симетричній нарузі живлення і рівномірному навантаженні всі фази знаходяться в однакових умовах. Виходячи з цього, виведені раніше формули і схеми заміщення для однофазного трансформатора справедливі і для трифазного трансформатора. Виключення складає режим холостого ходу, на який впливає схема з'єднання обмотки.

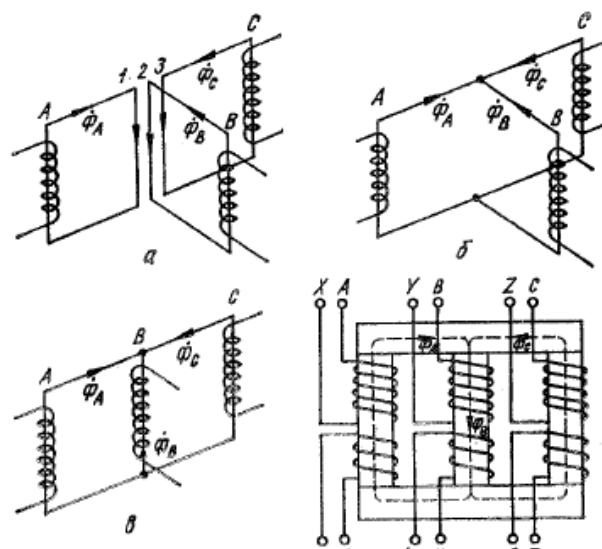


Рис. 9.1 Утворення тристержневого трансформатора (а-в) і його схема (г)

Іншою особливістю трифазних трансформаторів є необхідність дотримання початків і кінців при з'єднанні як первинних, так і вторинних обмоток (фаз) трансформатора. Але як правило первинна і вторинна обмотки (фази) мають однаковий напрямок намотування на стержні трансформатора, тому напрямок їх магнітних потоків однаковий, так як з'єднання обмоток узгоджене. Якщо початий і кінці фаз переплутати, то з'єднання може бути зустрічним, що призведе до порушення нормальної роботи трансформатора. На рис. 9.1г показано позначення початків і кінців первинних і вторинних обмоток: A, B, C і X, Y, Z відповідно печатки і кінці фаз і обмотки BH ; a, b, c і x, y, z - відповідно початки і кінці фаз обмоток HH .

Обмотки з'єднують "зіркою" (Y ; Y) або "трикутником" (Δ ; Δ); з'єднання показують умовними позначеннями через дріб, в якого чисельник - обмотка BH . Наприклад, якщо обмотки трансформатора з'єднані по схемі "зірка-зірка", то умовне позначення буде Y/Y ; схема "зірка з нульовим дротом - трикутник" позначається Y/Δ .

ОФОРМЛЕННЯ І ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ

Д.1. Звіт про лабораторну роботу кожен здобувач оформляє самостійно.

Д.2. Звіт повинен відповідати встановленій в університеті формі.

Д.3. Звіт виконується на окремих листах і містить:

- 1) титульний лист (рис. Д.1);
- 2) електричну схему експерименту;
- 3) технічні (паспортні) дані досліджуваних об'єктів;
- 4) таблиці даних експерименту і розрахунку;
- 5) необхідні розрахункові формули;
- 6) графічний матеріал;

7) висновки по роботі.

Д.4. Обробка результатів вимірювань проводиться на підставі розрахункових співвідношень, вибраних при підготовці до виконання роботи, з використанням мікрокалькуляторів або комп'ютерів з точністю до трьох значущих цифр.

Д.5. Звіт повинен бути виконаний акуратно, схеми виконуються за допомогою циркуля, лінійки або на комп'ютері з дотриманням стандартів.

Д.6. Графіки отриманих залежностей доцільно виконувати на міліметрівці, або на комп'ютері з указівкою на осях стандартних буквених позначень величин і одиниць вимірювань. Якщо в одних координатних осях будується декілька графіків функцій від однієї незалежної змінної, то слід нанести додаткові шкали, кожен зі своїм масштабом. Виключення початкових ділянок шкал або розриви шкал на осях координат не допускаються.

Д.7. Векторні діаграми будуються з дотриманням вибраного масштабу. Усі вектори повинні бути чітко позначені.

Д.8. Отримані в результаті оформлення звіту числові дані, графіки, характеристики, діаграми слід проаналізувати і порівняти з теоретичними.

Д.9. У кінці звіту необхідно привести результати аналізу експериментальних даних і стислі висновки з роботи.

Д.10. Здобувач подає викладачеві звіт у день виконання наступної роботи.

Д.11. Здача звіту проводиться індивідуально або побригадно.

При цьому здобувач повинен проявити знання теоретичного матеріалу з даної роботи, добре орієнтуватися в схемі установки і принципі її роботи, методиці проведення експерименту, отриманні розрахункових даних, пояснити характер графічних залежностей, побудованих за експериментальними даними, і порівняти їх з теоретичними.

Д.12. Відмітка про здачу лабораторної роботи заноситься викладачем у лабораторний журнал.

Д.13. Викладач дає завдання на виконання наступної лабораторної роботи.

Контрольні питання

1. Яке призначення і принцип виконання трифазних трансформаторів?
2. Яке призначення і принцип виконання однофазних трансформаторів?
2. Як маркуються виводи обмоток трифазних трансформаторів?
3. Які є основні схеми з'єднання обмоток трифазних трансформаторів, їх умовне позначення?
4. Що називають групою трансформатора, чим вона визначається?
5. Які групи можна отримати при різних схемах з'єднання трифазних трансформаторів?
6. Яких умов слід дотримуватися при ввімкненні трансформаторів на паралельну роботу?
7. Що таке автотрансформатор, який принцип його роботи?

8. Порівняйте виконання обмоток звичайного т трансформатора і автотрансформатора, в чому вигода використання останнього ?
9. Що таке розрахункова потужність, чому нею визначаються розміри і маса трансформатора?
10. Порівняйте розрахункові потужності звичайного трансформатора і автотрансформатора; коли вигідніше використовувати останній?
11. Де використовують автотрансформатори? В чому є їх недолік, в якій області вони використовуються?
12. Як отримати сильно спадну зовнішню характеристику зварювального трансформатора і регулювати значення його струму?
13. Для чого призначені вимірювальні трансформатори?
14. Який робочий режим роботи трансформатора напруги, чим викликаються похибки вимірювань при роботі з ним?
15. Який робочий режим трансформатора струму, чим викликаються похибки вимірювань при роботі: ним? Чи можна розмикати його вторинну обмотку?

Лабораторна робота № 3

Тема: Розрахунок енергетичних показників і числа витків обмоток силового трансформатора за паспортними даними.

Мета: дослідити і виконати розрахунок енергетичних показників і числа витків обмоток трансформатора

Теоретичні питання

Обмотки. Основним елементом обмотки є **виток** - електричний провідник, або ряд паралельно сполучених таких провідників (багатодротяна жила), що одноразово обхвачує частину магнітної системи трансформатора, електричний струм якого спільно із струмами інших таких провідників і інших частин трансформатора створює магнітне поле трансформатора і в якому під дією цього магнітного поля наводиться електрорушійна сила.

Обмотка - сукупність витків, створюючих електричний ланцюг, в якому підсумовуються ЕДС, наведені у витках. У трифазному трансформаторі під обмоткою зазвичай мають на увазі сукупність обмоток однієї напруги трьох фаз, що сполучаються між собою.

Провідник обмотки в силових трансформаторах зазвичай має квадратну форму для найбільш ефективного використання наявного простору (для збільшення коефіцієнта заповнення у вікні сердечника). При збільшенні площі провідника провідник може бути роздільний на два і більш паралельних провідних елементів з метою зниження втрат на вихрові струми в обмотці і полегшення функціонування обмотки. Провідний елемент квадратної форми називається житловою.

Кожна жила ізолюється за допомогою або паперової обмотки, або емалевого лаку. Дві окремо ізольованих і паралельно сполучених жили іноді можуть мати загальну паперову ізоляцію. Дві таких ізольованих жили в загальній паперовій ізоляції називаються кабелем.

Особливим видом провідника обмотки є безперервно транспонований кабель. Цей кабель складається з жил, ізольованих за допомогою двох шарів емалевого лаку, розташованих в осьовому положенні один до одного, як показано на малюнку. Безперервно транспонований кабель виходить шляхом переміщення зовнішньої жили одного шару до наступного шару з постійним кроком і застосування загальної зовнішньої ізоляції[8].

Паперова обмотка кабелю виконана з тонких (декілька десятків мікрометрів) паперових смуг шириною декілька сантиметрів, намотаних навколо жили. Папір завертається в декілька шарів для отримання необхідної загальної товщини.



Рис. 1 Дисківа обмотка.

Обмотки розділяють на:

- **Регулюючі** - при невисокому струмі обмотки і не дуже широкому діапазоні регулювання, в обмотці можуть бути передбачені відведення для регулювання коефіцієнта трансформації напруги.
- **Допоміжні** - обмотки, призначені, наприклад, для живлення мережі власних потреб з потужністю істотно меншою, ніж номінальна потужність трансформатора, для компенсації третин гармонійної магнітного поля, подмагнічування магнітної системи постійним струмом.
- **Рядова обмотка** - витки обмотки розташовуються в осьовому напрямі у всій довжині обмотки. Подальші витки намотуються щільно один до одного, не залишаючи проміжного простору.
- **Гвинтова обмотка** - гвинтова обмотка може бути варіантом багатшарової обмотки з відстанями між кожним витком або заходом обмотки.
- **Дисківа обмотка** - дисківа обмотка складається з ряду дисків, сполучених послідовно. У кожному диску витки намотуються в радіальному напрямі у вигляді спіралі по напрямку всередину і назовні на сусідніх дисках.
- **Фольгова обмотка** - фольгові обмотки виконуються з широкого мідного або алюмінієвого листа завтовшки від десятих доль міліметра до декількох міліметрів.

Схеми і групи з'єднання обмоток трифазних двохобмоточних трансформаторів:

Існують три основні способи з'єднання фазових обмоток кожної сторони трифазного трансформатора:

- **Y-з'єднання**, так званою сполучення зіркою, де всі три обмотки сполучено разом одним кінцем кожній з обмоток в одній крапці, званою нейтральною крапкою або зіркою
- **D-з'єднання**, так зване дельта-з'єднання, або з'єднання трикутником, де три фазні обмотки сполучено послідовно і утворюють кільце (або трикутник)

- **Z-з'єднання**, так зване з'єднання зигзагом

Первинна, вторинна і третинна сторони трансформатора можуть бути сполучені будь-яким з трьох способів, показаним вище. Дані способи пропонують декілька різних комбінацій з'єднань в трансформаторах з різними характеристиками, вибір яких також може бути обумовлений типом сердечника.

Y- з'єднання зазвичай є природним вибором для найвищої напруги, коли нейтральна крапка призначена для зарядки. У будь-якому випадку в цілях захисту від перенапруження або для прямого заземлення передбачена наявність нейтрального прохідного ізолятора. У останньому випадку в цілях економії рівень ізоляції нейтралі може бути нижче, ніж рівень ізоляції фазного кінця обмотки.

Сполучена зіркою обмотка також має ту перевагу, що перемикання регулювання коефіцієнта трансформації може бути передбачене на нейтральному кінці, де також може бути розміщений перемикач числа витків. Тому перемикач числа витків зможе функціонувати при напрузі низького логічного рівня, а різниця напруги між фазами також буде незначна. В порівнянні з витратами, витраченими на установку перемикача числа витків, при вищому рівні напруги економічні витрати будуть нижчі.

Сполучення зіркою використовується на одній стороні трансформатора, інша сторона повинна бути сполучена трикутником, особливо у випадках, якщо нейтраль сполучення зіркою планується для зарядки. З'єднання обмотки трикутником забезпечує баланс ампер-виток для струму нульової послідовності, наступного по нейтралі, і кожної фази сполучення зіркою, що дає прийнятний рівень повного опору нульовій послідовності. Без з'єднання трикутником обмотки струм нульової послідовності привів би до утворення поля струмів нульової послідовності в сердечнику.

Якщо сердечник має три стрижні, дане поле від ярма до ярма проникне крізь стінки бака і приведе до виділення тепла. У випадку з броньовим сердечником, або за наявності п'яти стрижнів сердечника, дане поле проникне між розкрученими бічними стрижнями і повний опір нульовій послідовності істотно підвищиться. Внаслідок цього струм, у разі пробоя на землю може стати настільки слабким, що захисне реле не спрацює.

В сполученій трикутником обмотці струм, що протікає по кожній фазовій обмотці рівний фазному струму, розділеному на 3, тоді як в сполученні зіркою, лінійний струм кожної фазної обмотки ідентичний лінійному струму мережі. З іншого боку, для однакової напруги з'єднання трикутником вимагає наявності триразової кількості витків в порівнянні із сполученням зіркою. З'єднання обмотки трикутником вигідно використовувати у високовольтних трансформаторах, коли сила струму висока, а напруга відносна низьке, як наприклад, в обмотці нижчої напруги в трансформаторах, що підвищують.

З'єднання обмотки трикутником дозволяє циркулювати трійковим синусоїдальним струмам усередині трикутника, утвореного трьома послідовно сполученими фазними обмотками. Трійкові синусоїдальні струми необхідні щоб уникнути спотворення потоку магнітних індукцій в сердечнику, а також спотворення при синусоїдальній формі наведеної напруги. Трійкові

синусоїдальні струми у всіх трьох фазах мають однакову тривалість, дані струми не можуть циркулювати в обмотці, сполученою зіркою, поки нейтраль обмотки не замкнута.

Недолік трійкових синусоїдальних струмів в струмі, що намагнічує, може привести до значних спотворень наведеної напруги, у випадках, якщо у сердечника 5 стрижнів, або він виконаний в броньовому варіанті. Сполучена трикутником обмотка трансформатора усуне дане порушення, оскільки обмотка із з'єднанням трикутником забезпечить загасання гармонійних струмів.

Іноді в трансформаторах передбачена наявність третинної D-сполученої обмотки, передбаченої не для зарядки, а для запобігання спотворенню напруги і пониження повного опору нульовій послідовності. Такі обмотки називаються компенсаційними. Розподільні трансформатори, призначені для зарядки, між фазою і нейтралю на стороні першого контура, забезпечені зазвичай сполученою трикутником обмоткою. Проте струм в сполученій трикутником обмотці може бути дуже слабким для досягнення мінімуму номінальної потужності, а необхідний розмір провідника обмотки надзвичайно незручний для заводського виготовлення. У подібних випадках високовольтна обмотка може бути сполучена зіркою, а вторинна обмотка - зигзагоподібно. Струми нульової послідовності, циркулюючи в двох відведеннях зигзагоподібно сполученої обмотки балансуватимуть один одного, повний опір нульовій послідовності вторинної сторони головним чином визначається полем розсіяння магнітного поля між двома розгалуженнями обмоток, і виражається вельми незначною цифрою.

При використанні з'єднання пари обмоток різними способами можливо досягти різних ступенів напруги зсуву між сторонами трансформатора.

Зрушення фаз між ЕДС первинної і вторинної обмоток прийнято виражати **групою з'єднань**. Для опису напруги зсуву між первинною і вторинною, або первинною і третинною обмотками, традиційно використовується приклад з циферблатом годинника.

Оскільки це зрушення фаз може змінюватися від 0° до 360° , а кратності зрушення складає 30° , то для позначення групи з'єднань вибирається ряд чисел від 1 до 12, в якому кожна одиниця відповідає куту зрушення в 30° . Одна фаза первинною указує на 12, а відповідна фаза іншої сторони указує на іншу цифру циферблату.

Найбільш часто використовувана комбінація Yd11 означає, наприклад, наявність 30° зсуву нейтралі між напругою двох сторін.

Бак. Бак в першу чергу є резервуаром для масла, а також забезпечує фізичний захист для активного компоненту. Він також служить як опорна конструкція для допоміжних пристроїв і апаратури управління.

Перед заповненням маслом бака з активним компонентом всередині з нього викачується все повітря, яке може піддати небезпеки діелектричну міцність ізоляції трансформатора (тому бак призначений для витримки тиску атмосфери з мінімальною деформацією).

Ще одним явищем, що враховується при проектуванні баків, є збіг звукових частот, що виробляються сердечником трансформатора, і частот резонансу

деталей бака, що може підсилити шум, що випромінюється в навколишнє середовище.

Конструкція бака допускає температурно-залежне розширення масла. Найчастіше встановлюється окремий розширювальний бачок, який також називається розширювачем.

При збільшенні номінальної потужності трансформатора дія великих струмів всередині і зовні трансформатора робить вплив на конструкцію. Те ж саме відбувається з магнітним потоком розсіяння усередині бака. Вставки з немагнітного матеріалу навколо сильноточних прохідних ізоляторів знижують ризик перегріву. Внутрішнє облицювання бака з високопровідних щитків не допускає попадання потоку через стінки бака. З іншого боку, матеріал з низьким магнітним опором поглинає потік перед його проходженням через стінки бака.

Базові принципи дії трансформатора Робота трансформатора заснована на двох базових принципах: Зміна магнітного потоку, що проходить через обмотку, створює ЕДС в цій обмотці (електромагнітна індукція).

Змінний струм, що протікає в первинній обмотці, створює змінний магнітний потік в магнітопроводі, зміни якого у свою чергу, проходячи через вторинну обмотку, створюють в ній змінну ЕДС

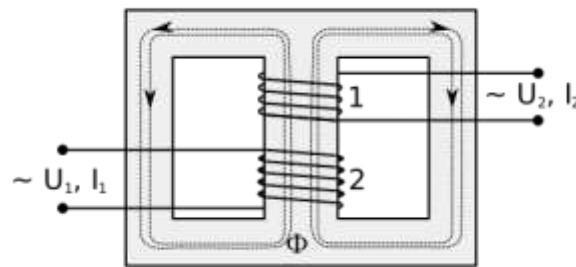


Рис. 1 Схематичний пристрій трансформатора. 1 - первинна обмотка, 2 - вторинна

Розрахунок трансформатора. Існують різні методики розрахунку трансформаторів:

- Розрахунок мережевого трансформатора
- Розрахунок трансформатора з Ш-образним сердечником
- Розрахунок вихідного трансформаторного
- Розрахунок тороїдального трансформатора
- Розрахунок імпульсних трансформаторів

Закон Фарадея. ЕДС, створювана у вторинній обмотці, може бути обчислена за законом Фарадея, який свідчить, що:

Де: U_2 - напруга на вторинній обмотці, N_2 - число витків у вторинній обмотці, Φ - сумарний магнітний потік, через один виток обмотки.

Якщо витки обмотки розташовані перпендикулярно лініям магнітного поля, то потік буде пропорційний магнітному полю B і площі S через яку він проходить.

ЕДС, створювана в первинній обмотці, відповідно:

Де: U_1 - миттєве значення напруги на кінцях первинної обмотки, N_1 - число витків в первинній обмотці. Поділивши рівняння U_2 на U_1 , отримаємо відношення [11]:

Розрахунок енергетичних показників і числа витків обмоток трансформатора

Якщо вторинну обмотку підключити до навантаження, то електрична енергія передаватиметься з первинного ланцюга у вторинний. У ідеалі трансформатор всю енергію, що поступає, з первинного ланцюга трансформує в магнітне поле і, потім, в енергію вторинного ланцюга. Енергія, що в цьому випадку поступає, рівна перетвореній енергії.

Де: P_1 - миттєве значення потужності, що поступає на трансформатор, поступає з первинного ланцюга, з'єднавши це рівняння з відношення напруги на кінцях обмоток, отримаємо рівняння ідеального трансформатора: таким чином отримуємо, що при збільшенні напруги на кінцях вторинної обмотки U_2 , зменшується струм вторинного ланцюга I_2 .

Для перетворення опору одного ланцюга до опору іншого, потрібно помножити величину на квадрат відношення.[12] Наприклад, опір Z_2 підключений до кінців вторинної обмотки, його приведені значення до первинного ланцюга. Дане правило справедливе також і для вторинного ланцюга. Робота трансформатора заснована на явищі електромагнітної індукції. На одну з обмоток, звану *первинною обмоткою* подається напруга від зовнішнього джерела. Змінний струм, що протікає по первинній обмотці, створює змінний магнітний потік в магнітопроводі, зрушений по фазі, при синусоїдальному струмі, на 90° по відношенню до напруги в первинній обмотці. В результаті електромагнітної індукції, змінний магнітний потік в магнітопроводі створює у всіх обмотках, у тому числі і в первинній, ЕДС індукції пропорційну першою похідною магнітного потоку, при синусоїдальному струмі зрушеною на 90° у зворотний бік по відношенню до магнітного потоку.

Коли вторинні обмотки ні до чого не підключені (режим холостого ходу), ЕДС індукції в первинній обмотці практично повністю компенсує напругу джерела живлення, тому струм через первинну обмотку невеликий, і визначається в основному її індуктивним опором.

Напруга індукції на вторинних обмотках в режимі холостого ходу визначається відношенням числа витків відповідної обмотки w_2 до витків первинної обмотки w_1 :

$$U_2 = U_1 w_2 / w_1$$

При підключенні вторинної обмотки до навантаження, по ній починає текти струм. Цей струм також створює магнітний потік в магнітопроводі, причому він направлений протилежно магнітному потоку, що створюється первинною обмоткою.

В результаті, в первинній обмотці порушується компенсація ЕДС індукції і ЕДС джерела живлення, що приводить до збільшення струму в первинній обмотці, до тих пір, поки магнітний потік не досягне практично колишнього значення. У цьому режимі відношення струмів первинної і вторинної обмотки рівне зворотному відношенню числа витків обмоток:

$$I_1 = I_2 w_2 / w_1,$$

відношення напруги в першому наближенні також залишається тим самим. В результаті, потужність, споживана від джерела в ланцюзі первинної обмотки практично повністю передається у вторинну.

Вище сказане можна зобразити таким чином:

$$U_1 I_1 I_{1w1} \Phi f_1 2 \quad (I_2)$$

Миттєвий магнітний потік в магнітопроводі трансформатора визначається інтегралом за часом від миттєвого значення ЕДС в первинній обмотці, і у разі синусоїдальної напруги зрушений по фазі на 90.

ОФОРМЛЕННЯ І ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ

Д.1. Звіт про лабораторну роботу кожен здобувач оформляє самостійно.

Д.2. Звіт повинен відповідати встановленій в університеті формі.

Д.3. Звіт виконується на окремих листах і містить:

8) титульний лист (рис. Д.1);

9) електричну схему експерименту;

10) технічні (паспортні) дані досліджуваних об'єктів;

11) таблиці даних експерименту і розрахунку;

12) необхідні розрахункові формули;

13) графічний матеріал;

14) висновки по роботі.

Д.4. Обробка результатів вимірювань проводиться на підставі розрахункових співвідношень, вибраних при підготовці до виконання роботи, з використанням мікрокалькуляторів або комп'ютерів з точністю до трьох значущих цифр.

Д.5. Звіт повинен бути виконаний акуратно, схеми виконуються за допомогою циркуля, лінійки або на комп'ютері з дотриманням стандартів.

Д.6. Графіки отриманих залежностей доцільно виконувати на міліметрівці, або на комп'ютері з указівкою на осях стандартних буквених позначень величин і одиниць вимірювань. Якщо в одних координатних осях будується декілька графіків функцій від однієї незалежної змінної, то слід нанести додаткові шкали, кожен зі своїм масштабом. Виключення початкових ділянок шкал або розриви шкал на осях координат не допускаються.

Д.7. Векторні діаграми будуються з дотриманням вибраного масштабу. Усі вектори повинні бути чітко позначені.

Д.8. Отримані в результаті оформлення звіту числові дані, графіки, характеристики, діаграми слід проаналізувати і порівняти з теоретичними.

Д.9. У кінці звіту необхідно привести результати аналізу

експериментальних даних і стислі висновки з роботи.

Д.10. Здобувач подає викладачеві звіт у день виконання наступної роботи.

Д.11. Здача звіту проводиться індивідуально або побригадно.

При цьому здобувач повинен проявити знання теоретичного матеріалу з даної роботи, добре орієнтуватися в схемі установки і принципі її роботи, методиці проведення експерименту, отриманні розрахункових даних, пояснити характер графічних залежностей, побудованих за експериментальними даними, і порівняти їх з теоретичними.

Д.12. Відмітка про здачу лабораторної роботи заноситься викладачем у лабораторний журнал.

Д.13. Викладач дає завдання на виконання наступної лабораторної роботи.

Контрольні запитання

1. Перелічіть номінальні параметри, що характеризують трансформатор.
2. Поясніть розходження між аварійним режимом КЗ і дослідом "КЗ".
3. Назвіть необхідні умови для рівнобіжної роботи трансформаторів.
4. Методи перевірки можливості включення трансформаторів для рівнобіжної роботи.
5. Дайте характеристику групам з'єднання трансформаторів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ТЕМА: ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ СИЛОВИХ ОДНОФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА ПАСПОРТНИМИ ДАНИМИ

Мета: дослідити параметри схеми заміщення силових однофазних трансформаторів

Теоретичні основи роботи розглянемо на прикладі однофазного трансформатора з феромагнітним сердечником.

На рис. 3 схематично зображений трансформатор з сердечником із феромагнітного матеріалу. Де W_1 і W_2 - число витків відповідно первинної та вторинної обмоток; Φ_0 - основний магнітний потік; Φ_{S1} та Φ_{S2} - потоки розсіювання відповідно первинної та вторинної обмоток; r_1 та r_2 - активні опори відповідно первинної та вторинної обмоток.

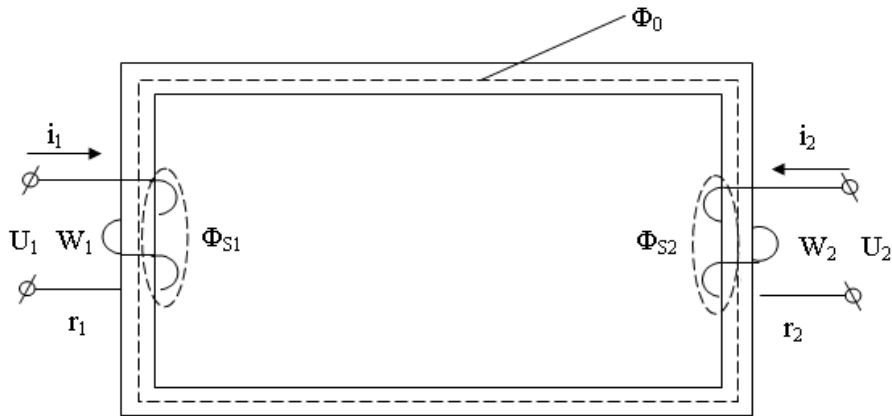


Рис. 3

Первинні та вторинні напруги та струми позначені відповідними індексами. Потоки розсіювання Φ_{S1} і Φ_{S2} замкнені частково в повітрі, тому залежність їх від струмів i_1 і i_2 лінійна. Основний потік Φ_0 замкнений повністю в феромагнітному середовищі і зв'язаний з результуючою намагнічуючою силою (тобто струмами) нелінійною залежністю внаслідок не лінійності характеристики намагнічування матеріалу сердечника. Це означає, що при синусоїдній первинній напрузі U_1 криві струмів i_1 та i_2 будуть не синусоїдні. В зв'язку з цим поточозчеплення котушок можна записати так:

$$\Psi_{S1} = \Psi_{S1} + \Psi_{01} = L_{S1}i + W_1\Phi_0, \quad (1.1)$$

$$\Psi_{S2} = \Psi_{S2} + \Psi_{02} = L_{S2}i + W_2\Phi_0. \quad (1.2)$$

Тут L_{S1} і L_{S2} - індуктивність відповідно первинної та вторинної обмоток, які визначаються потоками розсіювання.

Струм у вторинному колі виникає під дією ЕРС $e_2 = W_2 d\Phi_0 / dt$. На підставі другого закону Кірхгофа для первинного та вторинного контурів можна записати рівняння:

$$u_1 = i_1 r_1 + L_{s1} \frac{di_1}{dt} + W \frac{d\Phi_0}{dt}; \quad (1.3)$$

$$e_1 = i_2 r_2 + L_{S2} \frac{di_2}{dt} + u_2; \quad (1.4)$$

де u_2 - напруга на навантаженні;

$$e_2 = -W_2 d\Phi_0 / dt.$$

Диференціальні рівняння (13.3) та (13.4) нелінійні внаслідок нелінійної залежності між напругою (поток) та струмом (напруженістю). Розв'язування цих рівнянь аналітичним методом досить громіздкий і не може бути точним внаслідок неминучих похибок при апроксимації характеристики. В даному випадку доцільно застосувати метод еквівалентних синусоїд, що дозволить записати рівняння в комплексній формі:

$$U_1 = I_1 r_1 + j\omega L_{s1} I_1 + j\omega W_1 \Phi_0 \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

$$E_2 = I_2 r_2 + j\omega L_{s2} I_2 + U_2 \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

В трансформаторі з сердечником сума напруг $(\dot{I}_1 \dot{r}_1 + j\omega L_{s1} \dot{I}_1)$ за модулем значно менша напруги $\omega W_1 \Phi_0$ (13.5). Тому при $U_1 = \text{const}$ потік Φ_0 і відповідна йому напруга $U_0 = \omega W_1 \Phi$ залишаються практично незмінними в широких межах, в тому числі і в режимі холостого ходу. Як наслідок цього, результувальна ЕРС в усіх режимах залишається незмінною:

$$I_1 W_1 + I_2 W_2 = I_0 W_1 \dots\dots\dots (1.7)$$

де I_0 - струм холостого ходу трансформатора.

Дослідження схеми заміщення та векторної діаграми трансформатора. Для зручності аналізу процесів в трансформаторі виконують приведення числа витків вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки, тобто, приймають число витків вторинної обмотки приведенного трансформатора $W_2' = W_1$. При цьому не повинні змінюватись: режим і параметри первинного контуру; потужність, що передається з первинного контуру у вторинний; результуюча ЕРС, для чого повинна виконуватись рівність $I_2 W_2 = I_2' W_2'$, де I_2' - приведений вторинний струм.

Якщо позначити відношення $W_1 / W_2 = k$ (k – коефіцієнт трансформації) і врахувати, що $W_1 = W_2'$ з рівності $I_2 W_2 = I_2' W_2'$ маємо:

$$I_2' = I_2 W_2 / W_2' = I_2 / k.$$

При цій умові, ЕРС наведені в обмотках основним магнітним потоком Φ_0 , будуть рівні (E_1 та E_2'). Але $E_1 = -j\omega W_1 \Phi_0$ а $E_2 = -j\omega W_2 \Phi_0$, звідки $E_2' / E_2 = W_1 / W_2$ або $E_2' = k E_2$

Підставимо E_2 та I_2 , виражені через приведені величини і отримаємо:

$$E_2' = I_2' k^2 r_2 + I_2' j\omega k^2 L_{S2} + k U_2. \dots\dots\dots (1.8)$$

Позначимо $r_2' = k^2 r_2$; $L_{S2}' = k^2 L_{S2}$ та $U_2' = k U_2$.

Рівняння (13.5), (13.7) та (13.8) зводимо в одну систему з урахуванням зроблених позначок:

$$U_1 = I_1 r_1 + I_1 j\omega L_{S1} + U_1 \dots\dots\dots (1.9)$$

$$E_2' = I_2' r_2' + I_2' j\omega L_{S2}' + U_2 \dots\dots\dots (1.10)$$

$$I_0 = I_1 + I_2 \dots\dots\dots (1.11)$$

Цій системі рівнянь відповідає схема заміщення трансформатора (рис. 4) в якій магнітний зв'язок між первинним і вторинним контурами замінений електричним.

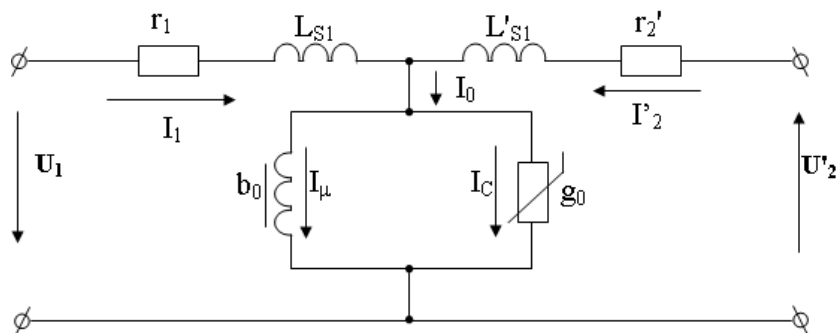


Рис. 4

Струм I_0 в схемі заміщення показаний у вигляді суми двох струмів:

$$I_0 = I_\mu + I_C$$

де I_μ - намагнічувальний струм, що визначає основний потік;

I_C – струм, що визначає втрати в сталі.

Потрібно накреслити векторну діаграму приведенного трансформатора, навантаженого на опір активно-індуктивного характеру ($\varphi_H > 0$).

Параметри схеми заміщення можна визначити із дослідів холостого ходу та короткого замикання.

А. Режим холостого ходу

При роботі трансформатора в номінальному режимі значення падіння напруги на елементах r_1 та ωL_{S1} складає 2-3%, а в режимі холостого ходу при струмі $I = I_0 = (0,02 - 0,1)I_{1H}$ 0,2-0,3% номінальної напруги U_{1H} . Тому можна з достатньою точністю прийняти умову $U_1 \approx U_0$. Це означає, що в режимі холостого ходу активна потужність, яку споживає трансформатор визначається розміром втрат в сталі. Тому для активної провідності можна записати:

$$g_0 = P_{cm} / U_1$$

Для повної провідності маємо $y = I_0 / U_1$, тоді $b = \sqrt{y^2 - g_0^2}$.

Б. Режим короткого замикання

В цьому режимі струми обмоток мають номінальні значення, а вхідна напруга $U_1 = U_{1k}$ складає приблизно 3-18% U_{1H} та називається напругою короткого замикання трансформатора. Оскільки вторинні клеми замкнені на коротко, то струм у колі (рис. 4) проходить в основному шляхом $r_1-L_{S1}-L_{S2}-r_2'$, тому струмом I_0 можна знехтувати в порівнянні із струмом к.з. I_k : внаслідок цього можна вважати, що $I_{1k} = I_{2'H}$. Якщо виміряти в цьому режимі U_{1k} , I_{1k} , P_{1k} , то можна визначити еквівалентні активні та реактивні опори:

$$r_e = \frac{P_{1k}}{I_{1H}^2}; \quad Z_e = \frac{U_{1k}}{I_{1k}}; \quad X_e = \sqrt{Z_e^2 + r_e^2}, \text{ де}$$

$$r_e = r_1 + r_2'; \quad X_e = \omega L_{S1} + \omega L_{S2}.$$

Для приведенного трансформатора можна вважати, що $r_1 = r_2'$ і $\omega L_{S1} = \omega L_{S2}$. Тому $r_1 = r_2' = r_e/2$; $\omega L_{S1} = \omega L_{S2} = X_e/2$.

Контрольні питання

1. Яке призначення і принцип виконання трифазних трансформаторів?
2. Як маркуються виводи обмоток трифазних трансформаторів?
3. Які є основні схеми з'єднання обмоток трифазних трансформаторів, їх умовне позначення?
4. Що називають групою трансформатора, чим вона визначається?
5. Які групи можна отримати при різних схемах з'єднання трифазних трансформаторів?
6. Яких умов слід дотримуватися при ввімкненні трансформаторів на паралельну роботу?
7. Що таке автотрансформатор, який принцип його роботи?
8. Порівняйте виконання обмоток звичайного т трансформатора і автотрансформатора, в чому вигода використання останнього ?
9. Що таке розрахункова потужність, чому нею визначаються розміри і маса трансформатора?
10. Порівняйте розрахункові потужності звичайного трансформатора і автотрансформатора; колі вигідніше використовувати останній?
11. Де використовують автотрансформатори? В чому є їх недолік, в якій області вони використовують-ся?
12. Як отримати сильно спадну зовнішню характеристику зварювального трансформатора і регулювати значення його струму?
13. Для чого призначені вимірювальні трансформатори?
14. Який робочий режим роботи трансформатора напруги, чим викликаються похибки вимірювань при роботі з ним?

15. Який робочий режим трансформатора струму, чим викликаються похибки вимірювань при роботі ним? Чи можна розмикати його вторинну обмотку?

Лабораторна робота № 5

Тема: Розрахунок і побудова графіків ККД і визначення втрат силових трансформаторів за паспортними даними.

Мета: виконати розрахунки та побудувати графіки ККД і визначити втрати трансформаторів

ККД і втрати в трансформаторі. Потужність, що отримується навантаженням трансформатора менше ніж потужність, що споживається на вході первинної обмотки внаслідок наявності втрат. Втрати в трансформаторі в процесі перетворення енергії поділяються на втрати в обмотках P_m та втрати в сталі $P_{ст}$.

Втрати в обмотках трансформатора пропорційні квадрату струму (навантаженню) (або втрат короткого замикання, що представляють собою втрати в міді обмоток, а також додаткових втрат в стінках бака та інших металічних частинах, викликаних потоком розсіювання).

Втрати в сталі пропорційні квадрату наведеної ЕРС (втрати холостого ходу, що виникають внаслідок перемагнічування активної сталі сердечника і навантажувальних втрат). При навантаженнях не вище номінального наведена ЕРС майже рівна напрузі на виводах первинної обмотки (за виключенням падіння напруги на декілька відсотків в первинному колі трансформатора). З чого слідує, що у випадку незмінної первинної напруги втрати в сталі трансформатора можна прийняти незалежними від навантаження.

Визначення ККД через повну потужність на вторинній стороні і коефіцієнт потужності:

$$\eta = \frac{S_2 \cos \varphi_2}{S_2 \cos \varphi_2 + P_{ст} + P_m} 100, \text{ при умові поділення виразу на } S_2 \cos \varphi_2 \text{ і введенні}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_{ст} + P_m}{S_2 \cos \varphi_2}} 100 = \frac{1}{1 + \frac{P_{ст} + K^2 P_{мн}}{S_2 \cos \varphi_2}}$$

позначення $P_m = P_{мн} \left(\frac{S_2}{S_m} \right)^2 = P_{мн} K^2$, тоді

Тоді ККД, при постійному коефіцієнті потужності, залежить від повної потужності і має екстремальне значення. У випадку заданого коефіцієнта потужності найбільший ККД буде отриманий при такій повній потужності, при

$$P_{ст} = \left(\frac{S_2}{S_n} \right)^2 P_{мн}$$

якій електричні втрати в обмотках і втрати в сталі однакові:

Трансформатори виготовляються з різними відношеннями втрат для того, щоб можна було вибрати найбільш економічний трансформатор для даного режиму навантаження. Відношення втрат $P_{обм.ном} / P_{ст}$ практично може бути рівним 3,6-6,0. Менше значення відноситься до трансформаторів великої потужності з кращим використанням за навантаженням; більші значення відносяться до трансформаторів меншої потужності і з більш поганим використанням за навантаженням. Середній ККД стандартного трансформатора складають 98%, таким чином трансформатори за своїм ККД переважають решту виробничого обладнання. Підвищення вартості електроенергії стимулює зниження як втрат холостого ходу, так і навантажувальних (особливо в генераторних та інших

трансформаторах, що мають високий коефіцієнт завантаження). За останні 30 років втрати в трансформаторах знижені в середньому на 50 %. Зниження втрат холостого ходу відбувалось завдяки: - використання вдосконалених марок сталі; - вдосконалення технології виготовлення магнітної системи і особливо технології різання сталі; - вдосконалення конструкції сердечника і, перш за все, стиків листів сталі.

Загалом, біля 50 % втрат в сталі складають втрати на вихорові струми і 50 % - на гістерезис, тому виробники намагаються зменшити товщину листів. Можливо покращити це значення завдяки використанню новітніх технологій виготовлення трансформаторів. Останні розробки з аморфною сталлю дозволяє скоротити втрати трансформатора до 60%. Трансформатори, виготовлені з аморфної сталі, за своєю конструкцією мають набагато важчі сердечники, і тому більші за розміром, ніж традиційні трансформатори. Економія досягається за рахунок зменшення втрат, що виникають при намагнічуванні залізного сердечника трансформатора.

На відміну від втрат холостого ходу зниження навантажувальних втрат не супроводжувалось істотним покращенням матеріалу. Головним способом зниження навантажувальних втрат було зменшення густини струму в проводі через збільшення площі його поперечного розрізу. Проте, це мало два негативних наслідки: по перше – збільшення розмірів сердечника, по друге – збільшення втрат від вихрових струмів.

Додаткові втрати, у зовнішніх по відношенню до обмоток металічним частинам, викликані потоком розсіювання, створеного обмотками, що залежить від конфігурації обмоток і не залежним від густини струму. По мірі зниження втрат в проводі у навантажувальних втратах зростає доля додаткових втрат поза обмотками, особливо в трансформаторах с великим значенням опору КЗ.

В Україні, на сьогодні, знаходиться в експлуатації 197 360 трансформаторів. Проведеним аналізом технічного стану і характеристик трансформаторів потужністю 25-2500 кВА напругою до 35 кВ встановлено, що 75% із них було виготовлено в 1970-1980 роках. Дані надані ВАТ “Укрелектроапарат” м Хмельницький.

На сьогодні, термін експлуатації яких 20 і більше років морально застарілі і мають завищені втрати холостого ходу і короткого замикання. ВАТ “Укрелектроапарат” проводячи модернізацію розподільчих трансформаторів із застосуванням високоякісних матеріалів дозволяє знизити втрати холостого ходу та короткого замикання в порівнянні з трансформаторами виготовленими в 1965-х роках:

Потужність, кВА	100			250			630		1000		1600				
	1965	1975	2002	1965	1975	2002	1965	1975	2002	1965	1975	2002	1965	1975	2002
Втрати P_{xx} , кВт	0,37	0,32	0,29	1,05	0,78	0,48	1,95	1,68	0,96	2,95	2,35	1,5	3,3	2,65	1,95

Втрати $P_{кз}$, кВт	2,35	2,22	1,9	3,9	3,7	3,7	7,8	7,6	7,6	11,5	10,8	10,2	16,5	16,5	16,0
Маса, кг	430	715	645	1280	1125	1020	2765	2340	1980	3950	3560	3250	5640	5640	4600

Заміна застарілих трансформаторів на сучасні дозволяють значно скоротити втрати електроенергії в електромережах України.

Для прикладу, при умові, що середня потужність трансформаторів, які експлуатуються в Україні – 250 кВА. Зменшення втрат холостого ходу при використанні нових трансформаторів складає $P_{хх} = 0,78 - 0,48 = 0,3$ кВт на одному трансформаторі. При повній заміні 197360 трансформаторів потужністю 25-2500 кВа випуску 1980-2018 років на нові модернізовані, можна зменшити втрати при трансформації на:

$$\Delta W = P_{хх} \cdot \text{Ц} \cdot t_p \cdot 197360 = 25\,933\,100 \text{ дол.. США в рік,}$$

де: Ц - ціна 1 кВт/год = 0,05 дол/кВт; t_p = години роботи в рік = 8760 годин

Підвищення технічного рівня трансформаторів, пов'язане з розв'язанням таких проблем: застосування для магнітних систем високоякісних марок електротехнічних сталей з питомими втратами на рівні 1 Вт/кг і нижче, впровадження в конструкцію магнітних систем сучасних схем шихтовки, включаючи повну схему “степ-леп”. впровадження для трансформаторів 110 кВ здійснюваного в спеціальних камерах вакуумного заливання активних частин трансформаторним маслом у власних баках. використання в багато паралельних обмотках емальпроводів прямокутного перерізу.

- впровадження технології, що забезпечує стабілізацію висоти обмоток.
- застосування для обмоток, які стискаються у випадку КЗ, циліндрів із склопластику.
- застосування пресувальних кілець із склопластику або твердого електрокартону.
- впровадження сучасних конструкцій пристроїв РПН (РПН - перемикальний пристрій регулювання напруги під навантаженням).
- зниження додаткових втрат в елементах конструкцій трансформаторів.
- підвищення ефективності систем охолодження.

- більш широке використання триобмоткових трансформаторів із зниженими потужностями обмоток СН та НН.

Охолодження обмоток масляних силових трансформаторів.
Застосовуються такі способи охолодження силових масляних трансформаторів: природне масляне (М); масляне з дуттям і природною конвекцією масла (Д); масляне з примусовою конвекцією масла і повітря (ДЦ); масловодяне з примусовою конвекцією масла і води (Ц).

Охолодження потужних силових трансформаторів є актуальною проблемою щодо утилізації втрат в трансформаторах. В ряді країн широкого поширення набули роботи зі створення установок для вторинного використання тепла, які дають істотну економію енергетичних ресурсів. Наприклад, у США понад 60 фірм займається виробництвом таких установок з використанням теплових насосів, одинична потужність яких становить від 1-2 кВт до 500 кВт. За самими приблизними оцінками втрати тепла в трансформаторах протягом року досягають сотень мільйонів кіловат-годин, і це тепло витрачається на нагрівання довілля. В той же самий час опалення пристанційних будинків електричних станцій та підстанцій здійснюється за рахунок використання електроенергії.

Визначення втрат електроенергії в двообмоточному трансформаторі.

Розрахунок параметрів схеми заміщення трансформаторів та автотрансформаторів має на увазі знання каталожних даних (коефіцієнта трансформації k_T , втрат холостого ходу ΔP_X та короткого замикання ΔP_K , I_X - струму холостого ходу, u_K - напруги короткого замикання). Параметри схеми двообмоточних трансформаторів з номінальною потужністю S_{HOM}

розраховуються за формулами: $r_T = \frac{\Delta P_K U_{HOM}^2}{S_{HOM}^2}$; $x_T = \frac{u_K \% U_{HOM}^2}{100 S_{HOM}}$. Втрати потужності в n паралельно працюючих двообмоточних трансформаторах можна записати у вигляді:

$$\Delta P_T = \frac{1}{n} \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{HOM}^2} r_T + n \Delta P_X = \frac{\Delta P_K}{n} \frac{S_H^2}{S_{HOM}^2} + n \Delta P_X = \Delta P_K + \Delta P_X;$$

$$\Delta Q_T = \frac{1}{n} \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{HOM}^2} x_T + n \frac{I_X \%}{100} S_{HOM} = \frac{1}{n} \frac{u_K \%}{100} \frac{S_H^2}{S_{HOM}} + n \frac{I_X \%}{100} S_{HOM} = \Delta Q_K + \Delta Q_X.$$

$$S_H = P_2 + jQ_2 - \text{навантаження трансформатора.}$$

- ΔP_K и ΔQ_K - втрати відповідно активної потужності на нагрівання обмоток трансформатора і реактивної потужності на розсіювання в обмотках, пропорційні квадрату повної потужності, що протікає через трансформатор;

- ΔP_x и ΔQ_x - незалежні від навантаження втрати активної потужності й потужності в сталі

трансформатора и втрати реактивної потужності на намагнічування. Приведені втрати потужності в трансформаторах (з врахуванням втрат в системі електропостачання): $\Delta P_T^I = \Delta P_x^I + K_3^2 \Delta P_K^I$, де $\Delta P_x^I = \Delta P_x + K_{np} \Delta Q_x$ - приведені втрати потужності при холостому ході трансформатора; K_3 - коефіцієнт навантаження трансформатора; $\Delta P_K^I = \Delta P_K + K_{np} \Delta Q_K$ - приведені втрати потужності при короткому замиканні; K_{np} -

коефіцієнт зміни втрат (залежить від передачі реактивної потужності (для промислових підприємств, коли коефіцієнт не заданий енергосистемою, слід приймати 0,07), ΔP_x - втрати потужності холостого ходу (приймаються рівними приблизно втратам в сталі); ΔP_K - втрати потужності короткого замикання

(приблизно втрати в міді обмоток трансформатора); K_3 - коефіцієнт завантаження ($K_3 = \frac{S_H}{S_{ном}}$, де S_H - фактичне або розрахункове навантаження трансформатора; $S_{ном}$ - номінальна потужність трансформатора, (коефіцієнт

завантаження трансформатора $k_3 = \frac{\vartheta_A}{S_H T_{II} \cos \varphi_{ср}} \cdot \frac{\Delta Q_x - S_{ном} \frac{I_x}{100}}{S_{ном}}$); $\Delta Q_x = S_{ном} \frac{I_x}{100}$ - реактивна

потужність холостого ходу трансформатора; $\Delta Q_K = S_{ном} \frac{u_K}{100}$ - реактивна потужність, що споживається трансформатором при номінальному паспортному навантаженні; I_x, u_K - струм холостого ходу та напруга к.з. трансформатора, %.

При підрахунку втрат активної потужності в трьох обмотковому трансформаторі користуються виразом:

або $\Delta P_{T, \Sigma}^I = \Delta P_x^I + K_{31}^2 \Delta P_{K1}^I + K_{32}^2 \Delta P_{K2}^I + K_{33}^2 \Delta P_{K3}^I$, де $\Delta P_{K1}^I, \Delta P_{K2}^I, \Delta P_{K3}^I$ - приведені втрати активної потужності в обмотках вищої (1), середньої (2) і нижчої (3)

напруги; $K_{31} = \frac{S_{H1}^2}{S_{ном}^2}, K_{32} = \frac{S_{H2}^2}{S_{ном}^2}, K_{33} = \frac{S_{H3}^2}{S_{ном}^2}$ - коефіцієнти завантажень цих обмоток.

При підрахунку втрат реактивної потужності в трьох обмотковому трансформаторі користуються виразом: Втрати енергії у всіх елементах електричної мережі при відомому графіку навантаження розраховується як

$\Delta W = \sum_{i=1}^n \Delta P_i^I t_i$. Для випадку трансформатора, втрати активної електричної енергії в трансформаторі, кВт.г, $\Delta W_A = \Delta P_x^I T_{II} + \Delta P_K^I k_3^2 T_P$, де T_{II} - повне число під'єднання трансформатора до електромережі; T_P - число годин роботи

трансформатора під навантаженням. Втрати реактивної електричної енергії в

трансформаторі, кВА.г,
$$\Delta W_P = S_{ном} \frac{I_x}{100} T_n + S_{ном} \frac{U_K}{100} k_z^2 T_P$$

ОФОРМЛЕННЯ І ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ

Д.1. Звіт про лабораторну роботу кожен здобувач оформляє самостійно.

Д.2. Звіт повинен відповідати встановленій в університеті формі.

Д.3. Звіт виконується на окремих листах і містить:

- титульний лист (рис. Д.1);
- електричну схему експерименту;
- технічні (паспортні) дані досліджуваних об'єктів;
- таблиці даних експерименту і розрахунку;
- необхідні розрахункові формули;
- графічний матеріал;
- висновки по роботі.

Д.4. Обробка результатів вимірювань проводиться на підставі розрахункових співвідношень, вибраних при підготовці до виконання роботи, з використанням мікрокалькуляторів або комп'ютерів з точністю до трьох значущих цифр.

Д.5. Звіт повинен бути виконаний акуратно, схеми виконуються за допомогою циркуля, лінійки або на комп'ютері з дотриманням стандартів.

Д.6. Графіки отриманих залежностей доцільно виконувати на міліметровці, або на комп'ютері з указівкою на осях стандартних буквених позначень величин і одиниць вимірювань. Якщо в одних координатних осях будується декілька графіків функцій від однієї незалежної змінної, то слід нанести додаткові шкали, кожен зі своїм масштабом. Виключення початкових ділянок шкал або розриви шкал на осях координат не допускаються.

Д.7. Векторні діаграми будуються з дотриманням вибраного масштабу. Усі вектори повинні бути чітко позначені.

Д.8. Отримані в результаті оформлення звіту числові дані, графіки, характеристики, діаграми слід проаналізувати і порівняти з теоретичними.

Д.9. У кінці звіту необхідно привести результати аналізу експериментальних даних і стислі висновки з роботи.

Д.10. Здобувач подає викладачеві звіт у день виконання наступної роботи.

Д.11. Здача звіту проводиться індивідуально або побригадно.

При цьому здобувач повинен проявити знання теоретичного матеріалу з даної роботи, добре орієнтуватися в схемі установки і принципі її роботи, методиці проведення експерименту, отриманні розрахункових даних, пояснити характер графічних залежностей, побудованих за експериментальними даними, і порівняти їх з теоретичними.

Д.12. Відмітка про здачу лабораторної роботи заноситься викладачем у лабораторний журнал.

Д.13. Викладач дає завдання на виконання наступної лабораторної роботи.

Контрольні запитання

6. Перелічіть номінальні параметри, що характеризують трансформатор.
7. Поясніть розходження між аварійним режимом КЗ і дослідом “КЗ”.
8. Назвіть необхідні умови для рівнобіжної роботи трансформаторів.
9. Методи перевірки можливості включення трансформаторів для рівнобіжної роботи.
10. Дайте характеристику схемам з'єднання трансформаторів.
11. Дайте характеристику групам з'єднання трансформаторів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ТЕМА: ДОСЛІДЖЕННЯ ХОЛОСТОГО ХОДУ І КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ОДНОФАЗНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

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

Короткі теоретичні відомості. Трансформатор – це електромагнітний статичний пристрій для перетворення напруги чи струму однієї величини в іншу, без зміни частоти.

Коефіцієнт трансформації:

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} \approx \frac{U_1}{U_2'}$$

де w_1, E_1, I_1, U_1 – відповідно кількість витків, ЕРС, струм та напруга первинної обмотки; w_2, E_2, I_2, U_2 – відповідно кількість витків, ЕРС, струм та напруга вторинної обмотки.

Завдання

Порядок виконання роботи

1. Записати паспортні дані однофазного трансформатора.
2. Зібрати схему для дослідження однофазного трансформатора згідно з рис. 2.

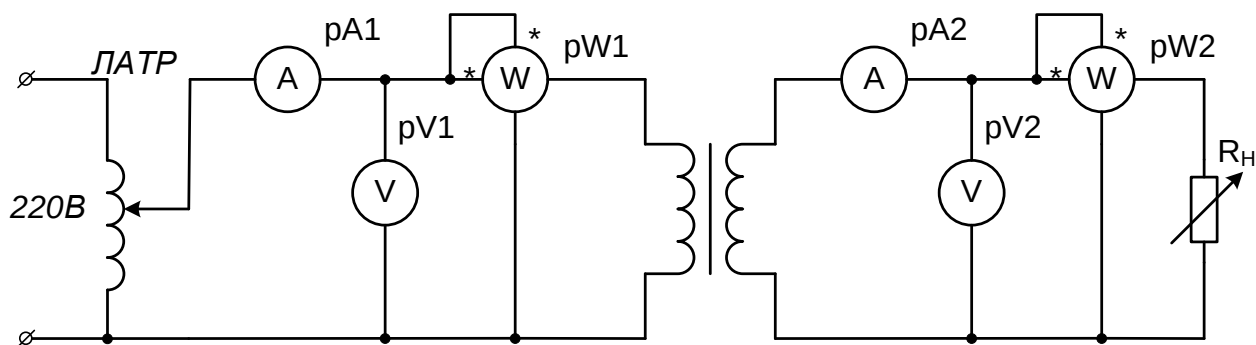


Рис. 2 – Схема для дослідження однофазного трансформатора

3. Провести дослід XX однофазного трансформатора, для чого, плавно збільшуючи за допомогою ЛАТРу напругу первинної обмотки однофазного трансформатора (приблизно сім вимірів), записати показання приладів до табл. 1.

Таблиця 1 – Дослід XX

Результати вимірювань				Результати обчислень			
$U_{10},$ В	$I_{10},$ А	$P_0,$ Вт	$U_{20},$ В	$\cos \varphi_0$	$Z_0,$ Ом	$r_0,$ Ом	$X_0,$ Ом

4. Провести дослід КЗ однофазного трансформатора, для чого повністю вивести опір реостату R_n і, плавно збільшуючи за допомогою ЛАТРу напругу первинної обмотки трансформатора (шість вимірів), записати показання приладів до табл. 2. При цьому щоразу встановлювати струм вторинного ланцюга (I_2) відповідно до коефіцієнта завантаження трансформатора ($\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$).

Таблиця 2 – Дослід КЗ

β	Результати вимірювань				Результати обчислень			
	$U_{1K},$ В	$I_{1K},$ А	$P_K,$ Вт	$I_{2K},$ А	$\cos \varphi_K$	$Z_K,$ Ом	$r_K,$ Ом	$X_K,$ Ом
0,25								
0,5								
0,75								
1								
1,25								
1,5								

5. Провести дослід безпосереднього навантаження, для чого, встановивши напругу на первинній обмотці трансформатора 220 В, та змінюючи опір навантаження і контролюючи коефіцієнт завантаження β , записати показання приладів до табл. 3 (7 значень).

Таблиця 3 – Дослід безпосереднього навантаження

β	Результати вимірювань						Результати обчислень		
	U_1 , В	I_1 , А	P_1 , Вт	U_2 , В	I_2 , А	P_2 , Вт	η , %	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$
0	220								
...									
1,5									

Обробка результатів. Оформлення і зміст звіту про роботу (Д. А)

1. Заповнити таблиці, використовуючи для обчислення наступні формули:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{I_{10} U_{10}}; \quad Z_0 = \frac{U_{10}}{I_{10}}; \quad r_0 = \frac{P_0}{I_{10}^2};$$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{I_{1K} U_{1K}}; \quad Z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1K}}; \quad r_K = \frac{P_K}{I_{1K}^2};$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}; \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2};$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 I_1}; \quad \cos \varphi_2 = \frac{P_2}{U_2 I_2};$$

$$P_{CT} = P_0 \quad (\text{з дослідів ХХ});$$

$$P_M = P_K \quad (\text{з дослідів КЗ});$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\beta P_1}{\beta P_1 + P_{CT} + \beta^2 P_M} \cdot 100\%$$

Контрольні питання

1. Наведіть схему однофазного трансформатора. Чим відрізняються однофазний та трифазний трансформатори?
2. Які основні елементи конструкції однофазного трансформатора.
3. Який принцип дії однофазного трансформатора.
4. Що таке коефіцієнт трансформації?
5. Які причини втрат потужності у сталі та міді?
6. Як експериментально визначити втрати в сталі?
7. Як експериментально визначити втрати в міді?
8. Для чого необхідно проводити дослідів ХХ та КЗ?
9. Чи можна замінити дослід під навантаженням дослідів ХХ та КЗ?
10. Чим пояснити збільшення струму первинної обмотки трансформатора, за умови збільшення струму навантаження?
11. Як залежать ККД і $\cos \varphi$ трансформатора від навантаження?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ТЕМА: ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи

Метою роботи є експериментальне вивчення порядку вмикання трансформаторів на паралельну роботу та дослідження їх паралельної роботи

при однакових та різних напругах короткого замикання.

Завдання щодо проведення лабораторної роботи

У експериментальній частині роботи виконуються такі завдання:

- визначити величини вторинних напруг трансформаторів та перевірити їх однаковість;
- перевірити належність трансформаторів до однієї групи;
- увімкнути трансформатори на паралельну роботу;
- навантажити паралельно працюючі трансформатори при однакових та різних напругах короткого замикання.

У результаті теоретичної підготовки та проведення роботи студент повинен знати:

- умови включення трансформаторів на паралельну роботу;
- наслідки невиконання умов включення трансформаторів на паралельну роботу;
- розподіл струмів між обмотками паралельно працюючих трансформаторів при однакових та різних напругах короткого замикання.

Теоретичні положення

Під паралельною роботою двох або декількох трансформаторів розуміють такий режим роботи, при якому всі первинні обмотки приєднані до спільної живлячої мережі, а вторинні – до спільного навантаження.

При паралельній роботі в трансформаторах не повинно бути зрівнювальних струмів між обмотками та повинно бути пропорційне навантаження всіх паралельно працюючих трансформаторів. Для цього для усіх паралельно працюючих трансформаторів повинні виконуватись певні умови:

- 1) однаковість коефіцієнтів трансформації;
- 2) залежність до однієї групи з'єднань обмоток;
- 3) однаковість напруг короткого замикання.

Наслідки невиконання цих умов розглянуті.

Опис випробувальної установки

Принципова схема випробувальної установки подана на рис. 1. на паралельну роботу вмикаються два підвищувальних трифазних трансформатори T_1 та T_2 з однаковими номінальними даними, які наведені на лабораторному стенді.

Живлення на обидва трансформатори подається зі спільної мережі змінного струму через автоматичний вимикач QF та контактор KM . Наявність напруги в мережі змінного струму контролюється світловим індикатором HL . Для імітації роботи трансформаторів з різними напругами короткого замикання до кожної фази вторинної обмотки трансформатора T_1 роз'єднувачем QS_1 можуть бути увімкнені додаткові резистори R_1 , R_2 , R_3 з однаковими опорами. Увімкнення на паралельну роботу трансформатора T_2 здійснюється роз'єднувачем QS_2 . Навантаження трансформаторів здійснюється потенціал-регулятором T_3 , який відіграє роль регулювальної індуктивності. До навантаження трансформатори вмикаються роз'єднувачем QS_3 .

Також до схеми входять такі вимірювальні прилади, що показують:

- вольметр PV_1 – лінійну напругу на первинних обмотках трансформаторів;
- амперметр PA_1 – сумарний струм первинних обмоток трансформаторів;
- амперметр PA_2 – фазний струм первинної обмотки трансформатора T_1 ;
- амперметр PA_3 – фазний струм первинної обмотки трансформатора T_2 ;
- амперметр PA_4 – фазний струм вторинної обмотки трансформатора T_1 ;
- амперметр PA_5 – фазний струм вторинної обмотки трансформатора T_2 ;
- амперметр PA_6 – сумарний струм вторинних обмоток трансформаторів; вольметр PV_2 – напругу між певними точками електричного кола,
- приклад призначений для перевірки умов підключення на паралельну роботу.

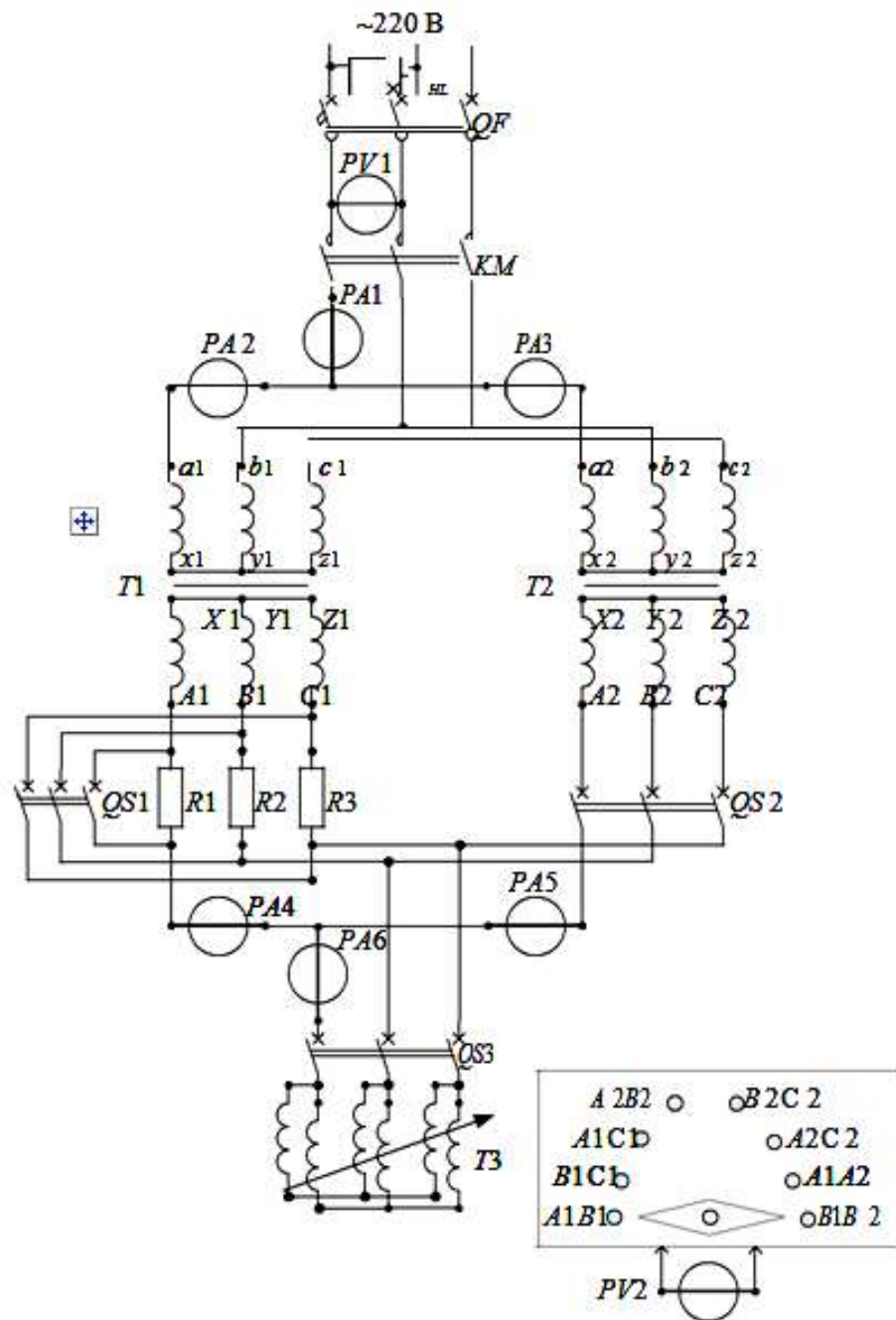


Рис. 1 – Схема випробувальної установки

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з досліджуваними трансформаторами та апаратурою, встановленою на робочому місці. До протоколу випробувань записати номінальні дані трансформаторів, що зазначені на лабораторному стенді (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Номінальні дані трансформаторів

S_N , В·А	U_{hN} , В	U_{IN} , В	I_{hN} , А	I_{IN} , А

2. Для дослідження паралельної роботи трансформаторів скласти

випробувальну установку за схемою на рис. 1.

3. Перед ввімкненням трансформаторів на паралельну роботу перевірити:

а) *однаковість коефіцієнтів трансформації порівнянням вторинних напруг.*

Перед початком досліду перевірити, щоб всі роз'єднувачі були вимкнені. Увімкнути автоматичний вимикач QF та контактор KM . Виміряти вторинні напруги U_{AB} , U_{BC} , U_{AC} обох трансформаторів вольтметром $PV2$. Якщо ці напруги однакові, то умова однаковості коефіцієнтів трансформації дотримується. В іншому випадку паралельна робота трансформаторів недопустима.

б) *належність трансформаторів до однієї групи.*

Для цього знеструмити установку, вимкнувши контактор KM та автоматичний вимикач QF . Замкнути проводом два однойменних кінця вторинних обмоток обох трансформаторів, наприклад, $C1$ та $C2$. Увімкнути автоматичний вимикач QF та контактор KM . Вольтметром $PV2$ виміряти напругу між іншими парами однойменних кінців вторинних обмоток: для наведеного прикладу $A1$ та $A2$, $B1$ та $B2$.

Якщо заміряні напруги дорівнюють нулю, то умова належності трансформаторів до однієї групи виконується.

Якщо напруги не дорівнюють нулю, то це може свідчити або про невірне ввімкнення первинних обмоток до мережі чи вторинних обмоток до навантаження, або про належність трансформаторів до різних груп. Для вірного ввімкнення первинних обмоток до мережі чи вторинних обмоток до навантаження треба поміняти місцями вивідні кінці трансформаторів $a1$ з $b1$ або $a2$ з $b2$ при з'єднаних кінцях $C1$ та $C2$. Якщо напруги U_{A1A2} та U_{B1B2} не будуть дорівнювати нулю, можна зробити висновок, що трансформатори належать до різних груп. В цьому разі паралельна робота трансформаторів недопустима.

Після виконання досліду знеструмити випробувальну установку та видалити провід, що з'єднував затискачі $C1$ та $C2$.

4. Якщо умови підключення трансформаторів на паралельну роботу виконані, ввімкнути трансформатори на паралельну роботу. Для цього ввімкнути автоматичний вимикач QF , контактор KM та роз'єднувач $QS2$. Після ввімкнення роз'єднувача $QS2$ трансформатори знаходяться у режимі холостого ходу. За допомогою вольтметрів $PV1$ та $PV2$ виміряти напруги холостого ходу первинних та вторинних обмоток U_{abo} та U_{ABo} , які однакові для обох трансформаторів при паралельній роботі. За допомогою амперметра $PA1$ виміряти сумарний струм обох трансформаторів при неробочому ході I_{ao} . За допомогою амперметрів $PA2$ та $PA3$ виміряти їх струми холостого ходу I_{po1} та I_{po2} . Отримані значення занести до протоколу випробувань (табл. 4.2, режим холостого ходу).

5. Виконати дослід навантаження паралельно працюючих трансформаторів для одного положення роз'єднувача $QS1$. Для навантаження паралельно працюючих трансформаторів

увімкнути роз'єднувач $QS3$. Роз'єднувач $QS1$ поставити в будь-яке положення з двох можливих. Величина навантаження змінюється за допомогою потенціал-регулятора $T3$ таким чином, щоб струми трансформаторів не перевищували номінальних значень. Зняти 4–5 точок та занести покази приладів у первинному та вторинному колах у табл. (перше положення роз'єднувача $QS1$).

6. Виконати дослід навантаження паралельно працюючих трансформаторів для другого положення роз'єднувача $QS1$. Роз'єднувач $QS1$ поставити в друге положення. Повторити дослід навантаження трансформаторів аналогічно п. 5. Занести покази приладів у первинному та вторинному колах у табл. 4.2 (друге положення роз'єднувача $QS1$). Знеструмити випробувальну установку.

Обробка результатів дослідів та оформлення звіту

1. За даними табл. 4.2 побудувати залежності $I_{a1}(I_a)$ та $I_{a2}(I_a)$ при одному та другому положенні роз'єднувача QS1 в одній координатній системі.
2. За даними табл. 4.2 побудувати залежності $I_{A1}(I_A)$ та $I_{A2}(I_A)$ при одному та другому положенні роз'єднувача QS1 в одній системі координат.
3. За виглядом побудованих залежностей зробити висновок, у якому випадку напруги короткого замикання однакові (дослід проводився з вимкненими додатковими резисторами $R1, R2, R3$), а в якому різні (дослід проводився з ввімкненими додатковими резисторами $R1, R2, R3$).
4. Оформити звіт відповідно до додатка А.

Таблиця 4.2 – Досліди холостого ходу та навантаження

Коло обмоток Трансформаторів	Первинне коло				Вторинне коло			
Величина	$U_{ab}, \text{В}$	$I_a, \text{А}$	$I_{a1}, \text{А}$	$I_{a2}, \text{А}$	$U_{AB}, \text{В}$	$I_A, \text{А}$	$I_{A1}, \text{А}$	$I_{A2}, \text{А}$
Прилад	PV1	PA1	PA2	PA3	PV2	PA6	PA4	PA5
Результати вимірювань	режим холостого ходу							
	$U_{abo} =$	$I_{ao} =$	$I_{po1} =$	$I_{po2} =$	$U_{ABo} =$	0	0	0
	перше положення роз'єднувача QS1							
	друге положення роз'єднувача QS1							

Контрольні запитання

1. В яких випадках використовується паралельна робота трансформаторів?
2. Які умови включення трансформаторів до паралельної роботи?
3. Чому трансформатори повинні мати однакові коефіцієнти трансформації?
4. Чому трансформатори повинні мати однакові напруги короткого

замикання?

5. Чому трансформатори повинні мати однакові групи з'єднань обмоток?
6. Як визначити однаковість коефіцієнтів трансформації паралельно працюючих трансформаторів?
7. Як визначити однаковість груп паралельно працюючих трансформаторів?
8. Як визначити однаковість напруг короткого замикання паралельно працюючих трансформаторів?
9. Як розподіляється навантаження між двома паралельними працюючими трансформаторами при неоднаковості напруг короткого замикання?

Лабораторна робота №8

Тема: Дослідження трифазного двообмоткового трансформатора.

2.1 Мета роботи

Метою лабораторної роботи є визначення параметрів трифазного двообмоткового трансформатора за дослідами неробочого ходу та короткого замикання, розрахунок робочих характеристик, визначення розподілу втрат потужності та ККД.

2.2 Завдання щодо проведення лабораторної роботи

У експериментальній частині роботи виконуються такі завдання:

- ✓ дослід неробочого ходу трансформатора при змінюванні первинної напруги від нуля до рівня, перевищуючого номінальний на 10 %, із визначенням характеристик неробочого ходу;
- ✓ дослід симетричного трифазного короткого замикання трансформатора при змінюванні первинного струму від нуля до рівня, перевищуючого номінальний на 10 %, із визначенням характеристик короткого замикання.

У результаті теоретичної підготовки та проведення роботи студент повинен знати:

- ✓ будову та принцип дії трифазного трансформатора, а також процеси, супутні його роботі у режимах неробочого ходу, короткого замикання та навантаження;
- ✓ вихідні умови та порядок проведення дослідів неробочого ходу, короткого замикання;
- ✓ параметри трансформатора, які отримують розрахунково на основі виконаних дослідів неробочого ходу та короткого замикання;
- ✓ характер залежностей змінювання вторинної напруги від коефіцієнта навантаження та кута навантаження трансформатора, порядок їхнього визначення;
- ✓ характер залежностей ККД від коефіцієнта навантаження та кута навантаження трансформатора, порядок їхнього визначення.

2.3 Теоретичні положення

При експериментальному визначенні параметрів трифазних трансформаторів середньої та великої потужності використовується непрямий метод за результатами дослідів неробочого ходу та короткого замикання.

Фізичні процеси, що виникають при режимах неробочого ходу, короткого замикання та навантаження, наведені в розд. А.5, А.6, А.7.

1. Дослід неробочого ходу проводиться при розімкненій вторинній обмотці. Для

здійснення вимірювань між двома фазними вторинними обмотками вмикається вольтметр. Третя фазна вторинна обмотка залишається розімкненою. Опір вольтметра дуже великий, тобто трансформатор знаходиться в режимі неробочого ходу.

На первинну обмотку підводиться напруга U_p , величина якої змінюється в межах $(0 \dots 1,1)U_{pN}$. При цьому реєструються значення напруги неробочого ходу вторинної обмотки U_{so} , струму неробочого ходу I_{po} , потужності неробочого ходу P_o . За результатами вимірів можна розрахувати параметри трансформатора Z_o , R_o , X_o за (A.8), коефіцієнт потужності за (A.9) та отримати характеристики трансформатора при неробочому ході (рис. A.14).

2. Дослід короткого замикання виконується як експериментальне коротке замикання. При експериментальному короткому замиканні вторинна обмотка трансформатора замикається сама на себе, а до первинної обмотки подається напруга, яка забезпечує струми в обмотках, що перевищують номінальні не більше ніж на 10 %. За таких умов найбільше значення напруги в досліді менше 10 % від напруги U_{pN} .

Для здійснення вимірювань до будь-якої фазної обмотки вмикається амперметр, опір якого наближається до нуля, тому можна вважати, що трансформатор знаходиться в режимі короткого замикання.

Під час дослідів реєструються значення напруги первинної обмотки U_{pk} , струму первинної обмотки I_{pk} , струму вторинної обмотки I_{sk} , потужності короткого замикання P_k . За результатами вимірів можна розрахувати параметри трансформатора Z_k , R_k , X_k за (A.12), коефіцієнт потужності за (A.13) та отримати характеристики трансформатора при короткому замиканні (рис. A.17).

3. Робота трансформатора при навантаженні

При замиканні вторинної обмотки на будь-яке навантаження на ній встановлюється напруга U_s . Величина U_s буде залежати від величини струму навантаження $I_l = I_s$ та характеру навантаження. Робота трансформатора при навантаженні характеризується зміною напруги трансформатора ΔU , зовнішньою характеристикою $U_s(I_s)$ та робочими характеристиками.

2.4 Опис випробувальної установки

Принципова схема випробувальної установки наведена на рис.2.1. Випробовуваним є трифазний двообмотковий трансформатор T2, номінальні дані якого надаються на лабораторному стенді.

Для регулювання вхідної напруги застосовується трифазний регулятор напруги T1, електроживлення на який подається через автоматичний вимикач QF та контактор KM. Наявність напруги в мережі змінного струму контролюється світловим індикатором HL. Регульована напруга з трифазного регулятора напруги T1 подається до вхідних затисків A, B, C вимірювального комплексу K-540 P. Він має систему вимірювань, орієнтовану на трифазне навантаження, з'єднане за схемою «зірка». Вольтметр PV1, який входить до цього комплексу, показує фазні напруги $U_{\phi A}$, $U_{\phi B}$, $U_{\phi C}$. Амперметр PA1, що входить до цього комплексу, показує значення фазних струмів $I_{\phi A}$, $I_{\phi B}$, $I_{\phi C}$.

Ватметр PW1, що входить до цього комплексу, показує розподіл активної потужності між фазами: $P_{\phi A}$, $P_{\phi B}$, $P_{\phi C}$.

Для дослідження неробочого ходу до вихідних зажимів A, B, C вимірювального комплексу P вмикається обмотка нижчої напруги трансформатора $T2$, яка є в даному випадку первинною обмоткою. Вторинна обмотка розімкнена. До зажимів фаз A та B трансформатора $T2$ ввімкнено вольтметр $PV2$ для вимірювання лінійної напруги вторинної обмотки при неробочому ході.

Для дослідження короткого замикання до вихідних зажимів A, B, C вимірювального комплексу P вмикається обмотка вищої напруги трансформатора $T2$, яка є в даному випадку первинною обмоткою. Вторинна обмотка замкнена сама на себе. До кола фазної обмотки ax ввімкнено амперметр $PA2$ для вимірювання фазного струму вторинної обмотки при короткому замиканні.

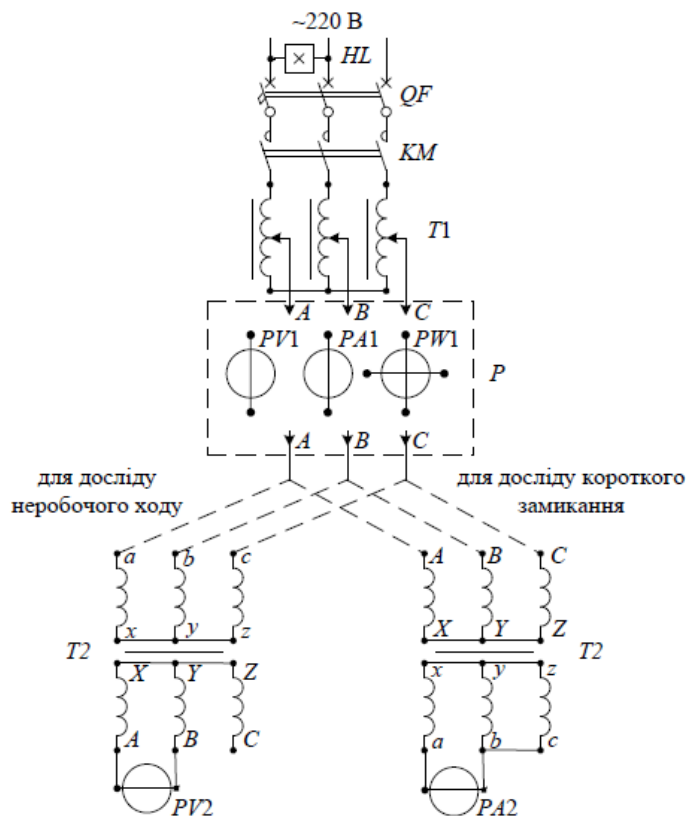


Рисунок 2.1 – Принципова схема випробувальної установки

При виконанні дослідів неробочого ходу та короткого замикання не має значення, яким боком підключати трансформатор до мережі, тому що втрати потужності в обох випадках виділятимуться однакові.

2.5 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з досліджуваним трансформатором та апаратурою, встановленою на робочому місці. До протоколу випробувань записати номінальні дані трансформатора, зазначені на лабораторному стенді (табл. 2.1): S_N – повна номінальна потужність; U_{hN}/U_{lN} – номінальні (лінійні) напруги

обмоток вищої напруги (ВН) і нижчої напруги (НН); I_{hN} / I_{lN} – номінальні (лінійні) струми обмоток ВН і НН.

Таблиця 2.1 – Номінальні дані трансформатора

$S_N, \text{В} \cdot \text{А}$	$U_{hN}, \text{В}$	$U_{lN}, \text{В}$	$I_{hN}, \text{А}$	$I_{lN}, \text{А}$

2. Провести дослід неробочого ходу. Скласти випробувальну установку за схемою, що відповідає досліді неробочого ходу (див. рис. 2.1). Складену випробувальну установку показати викладачеві. Перед вмиканням випробувальної установки перевірити, щоб регулятор напруги $T1$ знаходився в нульовому положенні. Ввімкнути автоматичний вимикач QF та контактор KM . За допомогою регулятора напруги $T1$ поступово підвищувати напругу від $0,4 U_{pN}$ до $1,1 U_{pN}$ однаковими інтервалами, щоб виміряти 6–8 точок. Результати записати у табл. 2.2. Відключити установку від живлення за допомогою автоматичного вимикача QF .

Примітка: для точного вимірювання величин під час досліді необхідно змінювати межі вимірів напруг, струмів та потужностей на вимірювальному комплексі К-540.

Таблиця 2.2 – Результати досліді неробочого ходу

$U_{\phi A}, \text{В}$	$U_{\phi B}, \text{В}$	$U_{\phi C}, \text{В}$	$I_{\phi A}, \text{А}$	$I_{\phi B}, \text{А}$	$I_{\phi C}, \text{А}$	$P_{\phi A}, \text{Вт}$	$P_{\phi B}, \text{Вт}$	$P_{\phi C}, \text{Вт}$	$U_o, \text{В}$

3. Провести дослід трифазного симетричного короткого замикання. Скласти випробувальну установку за схемою, що відповідає досліді короткого замикання (див. рис. 2.1). Складену випробувальну установку показати викладачеві. Перед вмиканням випробувальної установки перевірити, щоб регулятор напруги $T1$ знаходився в нульовому положенні. Ввімкнути автоматичний вимикач QF та контактор KM . За допомогою регулятора напруги $T1$ поступово підвищувати напругу таким чином, щоб струм вторинної обмотки змінювався від $0,4 I_{sN}$ до $1,2 I_{sN}$. При цьому через однакові інтервали зафіксувати 5–7 вимірювань. Результати записати у табл. 2.3.

Примітка: для точного вимірювання величин під час досліді необхідно змінювати межі вимірів напруг, струмів та потужностей на вимірювальному комплексі К-540.

4. Вимкнути живлення установки за допомогою автоматичного вимикача QF . Привести лабораторний стенд до початкового стану: регулятор напруги $T1$ привести в

нульове положення, з'єднувальні провідники від'єднати.

Таблиця 2.3 – Результати дослідження короткого замикання

$U_{\phi A}$, В	$U_{\phi B}$, В	$U_{\phi C}$, В	$I_{\phi A}$, А	$I_{\phi B}$, А	$I_{\phi C}$, А	$P_{\phi A}$, Вт	$P_{\phi B}$, Вт	$P_{\phi C}$, Вт	I_{sk} , А

2.6 Обробка результатів дослідів та оформлення звіту

2.7

1. За даними табл. 2.2 розрахувати та занести у табл. 2.4:

- фазну напругу первинної обмотки неробочого ходу

$$U_{\phi po} = \frac{U_{\phi A} + U_{\phi B} + U_{\phi C}}{3}$$

- фазний струм первинної обмотки неробочого ходу

$$I_{\phi po} = \frac{I_{\phi A} + I_{\phi B} + I_{\phi C}}{3}$$

- потужність неробочого ходу $P_o = P_{\phi A} + P_{\phi B} + P_{\phi C}$;
- коефіцієнт трансформації n (А.2);
- опори неробочого ходу Z_o , R_o , X_o (А.8)
- коефіцієнт потужності неробочого ходу $\cos \phi_o$.

Таблиця 2.4 – Результати дослідження неробочого ходу

$U_{\phi po}$, В	$I_{\phi po}$, А	P_o , Вт	n	Z_o , Ом	R_o , Ом	X_o , Ом	$\cos \phi_o$

2. За даними табл. 2.4 побудувати характеристики неробочого ходу

трансформатора $I_{\phi po}(U_{\phi po})$, $P_o(U_{\phi po})$, $\cos \phi_o(U_{\phi po})$ (рис.А.14). Рекомендується використання загальної осі $U_{\phi po}$ та індивідуальних осей і масштабів для вказаних функцій.

3. За даними табл. 2.3 розрахувати та занести у табл. 2.5:

- фазну напругу первинної обмотки при короткому замиканні

$$U_{\phi pk} = \frac{U_{\phi A} + U_{\phi B} + U_{\phi C}}{3}$$

- фазний струм первинної обмотки при короткому замиканні

$$I_{\phi pk} = \frac{I_{\phi A} + I_{\phi B} + I_{\phi C}}{3}$$

- потужність короткого замикання $P_k = P_{\phi A} + P_{\phi B} + P_{\phi C}$;
- опори короткого замикання Z_k, R_k, X_k (A.12);
- коефіцієнт потужності $\cos \varphi_k$ (A.13).

Таблиця 2.5 – Результати дослідження короткого замикання

$U_{\phi pk}, \text{В}$	$I_{\phi pk}, \text{А}$	$P_k, \text{Вт}$	$Z_k, \text{Ом}$	$R_k, \text{Ом}$	$X_k, \text{Ом}$	$\cos \varphi_k$

4. За результатами табл. 2.5 побудувати характеристики короткого замикання трансформатора $I_{\phi pk}(U_{\phi pk})$, $P_k(U_{\phi pk})$, $\cos \varphi_k(U_{\phi pk})$ (рис. А.17). Рекомендується використання загальної осі $U_{\phi pk}$ та індивідуальних осей і масштабів для вказаних функцій.

5. За результатами табл. 2.5 для номінального струму вторинної обмотки розрахувати складові напруги короткого замикання – активну u_{ka} (A.18) та реактивну u_{kr} (A.19), а також напругу короткого замикання u_k (A.17).

При визначенні активної складової u_{ka} треба використовувати активний опір, зведений до робочої температури 75°C , $R_{k75} = 1,22 R_k$.

6. Розрахувати та побудувати залежності зміни вторинної напруги від коефіцієнта навантаження $\Delta u(\beta)$ (A.23) при постійних значеннях коефіцієнта навантаження вторинної обмотки $\cos \varphi_l = 1$, $\cos \varphi_l = 0,8$ ($\varphi_l > 0$), $\cos \varphi_l = 0,8$ ($\varphi_l < 0$) та змінюванні $\beta = 0 \dots 1$ (рис. А.20).

7. Розрахувати та побудувати залежності зміни вторинної напруги від кута навантаження вторинної обмотки $\Delta u(\varphi_l)$ (A.23) при $\beta = 1$ та змінюванні $\varphi_l = -90 \dots +90$ (рис. А.19).

8. Розрахувати та побудувати залежність коефіцієнта корисної дії від коефіцієнта навантаження $\eta(\beta)$ (A.22) при $U_{pN} = \text{const}$ та $\cos \varphi_s = 0,8$ та змінюванні $\beta = 0 \dots 1$ (рис. А.18).

При визначенні ККД за (A.22) втрати потужності короткого замикання P_{kN} відповідають номінальній споживаній потужності та приведені до робочої температури 75°C . Для визначення значення P_{kN} необхідно за значенням струму $I_{\phi pk} = I_{pN}$ за характеристикою $I_{\phi pk}(U_{\phi pk})$ визначити значення напруги $U_{\phi pk \text{ nom}}$; за значенням напруги $U_{\phi pk \text{ nom}}$ за характеристикою $P_k(U_{\phi pk})$ визначити значення втрат потужності $P_{k \text{ nom}}$, яке відповідає холодному стану обмоток трансформатора. Втрати потужності P_{kN} , зведені до робочої температури 75°C , визначаються як $P_{kN} = 1,22 P_{k \text{ nom}}$.

10. ОФОРМЛЕННЯ І ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ

Д.1. Звіт про лабораторну роботу кожен здобувач оформляє самостійно.

Д.2. Звіт повинен відповідати встановленій в університеті формі.

Д.3. Звіт виконується на окремих листах і містить:

- 15) титульний лист (рис. Д.1);
- 16) електричну схему експерименту;
- 17) технічні (паспортні) дані досліджуваних об'єктів;
- 18) таблиці даних експерименту і розрахунку;

- 19) необхідні розрахункові формули;
- 20) графічний матеріал;
- 21) висновки по роботі.

Д.4. Обробка результатів вимірювань проводиться на підставі розрахункових співвідношень, вибраних при підготовці до виконання роботи, з використанням мікрокалькуляторів або комп'ютерів з точністю до трьох значущих цифр.

Д.5. Звіт повинен бути виконаний акуратно, схеми виконуються за допомогою циркуля, лінійки або на комп'ютері з дотриманням стандартів.

Д.6. Графіки отриманих залежностей доцільно виконувати на міліметровій, або на комп'ютері з указівкою на осях стандартних буквених позначень величин і одиниць вимірювань. Якщо в одних координатних осях будується декілька графіків функцій від однієї незалежної змінної, то слід нанести додаткові шкали, кожен зі своїм масштабом. Виключення початкових ділянок шкал або розриви шкал на осях координат не допускаються.

Д.7. Векторні діаграми будуються з дотриманням вибраного масштабу. Усі вектори повинні бути чітко позначені.

Д.8. Отримані в результаті оформлення звіту числові дані, графіки, характеристики, діаграми слід проаналізувати і порівняти з теоретичними.

Д.9. У кінці звіту необхідно привести результати аналізу експериментальних даних і стислі висновки з роботи.

Д.10. Здобувач подає викладачеві звіт у день виконання наступної роботи.

Д.11. Здача звіту проводиться індивідуально або побригадно.

При цьому здобувач повинен проявити знання теоретичного матеріалу з даної роботи, добре орієнтуватися в схемі установки і принципі її роботи, методиці проведення експерименту, отриманні розрахункових даних, пояснити характер графічних залежностей, побудованих за експериментальними даними, і порівняти їх з теоретичними.

Д.12. Відмітка про здачу лабораторної роботи заноситься викладачем у лабораторний журнал.

Д.13. Викладач дає завдання на виконання наступної лабораторної роботи.

Контрольні питання

1. Опишіть конструкцію трифазного тристрижньового трансформатора.
2. Які основні рівняння характеризують роботу трансформатора?
3. Які існують схеми заміщення трансформатора та яке їх практичне використання?
4. Для чого виконуються дослід неробочого ходу та короткого замикання трансформатора?
5. Які втрати потужності існують в трансформаторі при неробочому ході, при короткому замиканні та при навантаженні?

6. Які властивості трансформатора характеризує напруга короткого замикання?
7. Яка причина змінювання вторинної напруги трансформатора при підвищенні навантаження?
8. Як визначити параметри у схемі заміщення трансформатора за даними дослідів неробочого ходу та короткого замикання?
9. Як визначити ККД трансформатора за дослідом неробочого ходу та короткого замикання?
10. Поясніть характеристики неробочого ходу та короткого замикання трансформатора.

Лабораторна робота № 9

Тема: Паралельна робота трифазних силових трансформаторів.

Мета: провести дослідження паралельної роботи трифазних силових трансформаторів та скласти схеми.

Паралельна робота трансформаторів. Роздроблення загальної трансформаторної потужності на ряд паралельно працюючих трансформаторів (їх первинні і вторинні обмотки відповідно ввімкнені паралельно) дозволяє:

- ✓ краще вирішити проблему резервного електропостачання споживачів;
- ✓ відключити частину трансформаторів при зменшенні навантаження;
- ✓ спростити організацію профілактичного ремонт.

При цьому повинні бути збережені такі три умови ввімкнення на паралельну роботу: первинні і відповідно вторинні напруги повинні бути однакові, тобто повинні бути однакові коефіцієнти трансформації ($k_I = k_{II} = \dots = u_{kn}$).

2) паралельно працюючі трансформатори повинні належати до однієї групи з'єднань;

3) паралельно працюючі трансформатори повинні мати однакові напруги короткого замикання

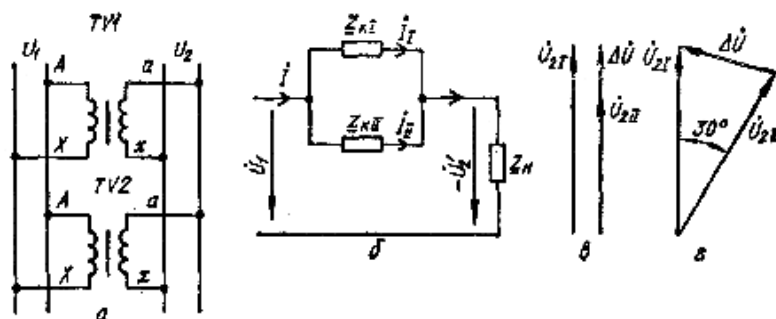


Рис. 9.5. Схеми ввімкнення (а) з заміщення (б) трансформаторів, виникнення напруги при їх $U\Delta$ паралельній роботі з різними коефіцієнтами трансформації (в) або належності до різних груп з'єднань обмоток (г)

$$(u_{kI} = u_{kII} = \dots = u_{kn}).$$

Розглянемо по черзі наслідки недотримання цих умов.

$k I \neq k II$. Нерівність коефіцієнтів трансформації, тобто (вважається, що $U_n = U_w$). При цьому між паралельно ввімкненими трансформаторами (рис. 9.5а) повний опір яких Z_{kl} і Z_{kII} , виникає зрівнювальний струм, обумовлений різницею вторинних напруг (рис. 9.5в):

Цей зрівнювальний струм перевантажує трансформатор з більш високою напругою холостого ходу (з меншим коефіцієнтом трансформації). Трансформатор з великим коефіцієнтом трансформації виявляється не довантаженим. Оскільки перевантаження трансформаторів не припустимо, доводиться знижувати загальне навантаження. На практиці допускається паралельна робота трансформаторів, якщо різниця в їх коефіцієнтах трансформації не перевищує 6,5 %, а для трансформаторів з - не більше $k_1 > 3$ %. В такому випадку значення, буде невеликим і зрівнювальний струм незначним. ΔU .

Неоднакові групи з'єднання. В цьому випадку між однойменними затискачами вторинних обмоток виникає різниця напруг (рис. 9.5г), яка при найменшій можливості значення кута досягає значення $\alpha \approx 30^\circ$. У абсолютно однакових трансформаторів зрівнювальний струм $\Delta U = 2U_2 \sin 15^\circ = 0.5U_2$

$$I_{zp} = \Delta U / 2Z_k = 0.26U_2 / Z_k$$

В даному випадку величина являє собою напругу $0.26U_2$, прикладену до короткозамкненого трансформатора, I_{zp} є струмом короткого замикання. Порівнюючи ці величини алогічними в п.8.9 бачимо, що вони приблизно в 3-5 разів перевищують напругу короткого замикання і номінальний струм трансформатора. Як. видно, таке ввімкнення ні в якому разі неприпустиме.

Неоднакові напруги короткого затикування, тобто $u_{kII} \neq u_{kI}$.

Розподіл навантаження між двома паралельно ввімкненими трансформаторами

(див. рис. 9.5б) можна визначити з умови $I_1 Z_{kI} = I_2 Z_{kII}$

$$\frac{I_I}{I_{II}} = \frac{1}{Z_{kI}} : \frac{1}{Z_{kII}}$$

Замінивши комплексні величини їх модулями, отримаємо :
або,

$$\frac{I_I}{I_{II}} = \frac{I_{Iном}}{I_{IIном}} : \frac{I_{Iном}}{I_{IIном}} = \frac{I_{Iном}}{I_{IIном}} : \frac{I_{Iном}}{I_{IIном}}$$

Згідно виразу
$$U_{1A} = \frac{u_k U_{1ном}}{100}$$

$$\frac{I_I}{I_{II}} = \frac{I_{Iном}}{u_{kI} U_{1ном}} : \frac{I_{IIном}}{u_{kII} U_{1ном}} = \frac{S_{Iном}}{u_{kI}} : \frac{S_{IIном}}{u_{kII}}$$

Таким чином, для того, щоб струми навантаження в паралельно працюючих трансформаторах розподілились прямо пропорційно їх номінальним потужностям і трансформатори повинні $S_{Iном}$ і $S_{IIном}$ мати однакові напруги короткого замикання.

Дійсно, якщо $u_{kI} \neq u_{kII}$ то при паралельній роботі більше навантажується трансформатор з меншим u_k і щоб не допустити його перевантаження, доводиться знижувати загальне навантаження. Отже, нерівність напруги короткого замикання не дозволяє повного використання паралельного включення трансформаторів за потужністю. Задовільний розподіл навантаження має місце, коли значення u_k відхиляється від його середнього арифметичного значення не більше, ніж на

$\pm 10\%$. Але оскільки різниця в значеннях тим більше, чим більше трансформатори відрізняються за потужністю, *uk* рекомендується, щоб відношення номінальних потужностей паралельно працюючих трансформаторів було не більше, ніж $S_{I\text{ном}} / S_{II\text{ном}} = 3/1$.

Ця вимога пояснюється тим, що у трансформаторів різних потужностей активні і реактивні складові напруги короткого замикання (див. вираз 8.29) різні, у трансформаторів великої потужності, більше, *u_{k.p}*

а менше, ніж у трансформаторів малої потужності. Якщо $u_{kI} = u_{kII}$ але $u_{k.pI} \neq u_{k.pII}$ і $u_{k.aI} \neq u_{k.aII}$ то струми паралельно працюючих трансформаторів будуть зсунуті по фазі на деякий кут. При цьому сумарний струм, який віддається навантаженню, буде дорівнювати векторній сумі обох трансформаторів, тобто менше їх алгебраїчної суми. Значить і в цьому випадку номінальна потужність трансформатора не буде повністю використана.

ОФОРМЛЕННЯ І ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ

Д.1. Звіт про лабораторну роботу кожен здобувач оформляє самостійно.

Д.2. Звіт повинен відповідати встановленій в університеті формі.

Д.3. Звіт виконується на окремих листах і містить:

- 22) титульний лист (рис. Д.1);
- 23) електричну схему експерименту;
- 24) технічні (паспортні) дані досліджуваних об'єктів;
- 25) таблиці даних експерименту і розрахунку;
- 26) необхідні розрахункові формули;
- 27) графічний матеріал;
- 28) висновки по роботі.

Д.4. Обробка результатів вимірювань проводиться на підставі розрахункових співвідношень, вибраних при підготовці до виконання роботи, з використанням мікрокалькуляторів або комп'ютерів з точністю до трьох значущих цифр.

Д.5. Звіт повинен бути виконаний акуратно, схеми виконуються за допомогою циркуля, лінійки або на комп'ютері з дотриманням стандартів.

Д.6. Графіки отриманих залежностей доцільно виконувати на міліметрівці, або на комп'ютері з указівкою на осях стандартних буквених позначень величин і одиниць вимірювань. Якщо в одних координатних осях будується декілька графіків функцій від однієї незалежної змінної, то слід нанести додаткові шкали, кожен зі своїм масштабом. Виключення початкових ділянок шкал або розриви шкал на осях координат не допускаються.

Д.7. Векторні діаграми будуються з дотриманням вибраного масштабу. Усі вектори повинні бути чітко позначені.

Д.8. Отримані в результаті оформлення звіту числові дані, графіки, характеристики, діаграми слід проаналізувати і порівняти з теоретичними.

Д.9. У кінці звіту необхідно привести результати аналізу експериментальних даних і стислі висновки з роботи.

Д.10. Здобувач подає викладачеві звіт у день виконання наступної роботи.

Д.11. Здача звіту проводиться індивідуально або побригадно.

При цьому здобувач повинен проявити знання теоретичного матеріалу з даної роботи, добре орієнтуватися в схемі установки і принципі її роботи, методиці проведення експерименту, отриманні розрахункових даних, пояснити характер графічних залежностей, побудованих за експериментальними даними, і порівняти їх з теоретичними.

Д.12. Відмітка про здачу лабораторної роботи заноситься викладачем у лабораторний журнал.

Д.13. Викладач дає завдання на виконання наступної лабораторної роботи.

Контрольні запитання

12. Перелічіть номінальні параметри, що характеризують трансформатор.

13. Поясніть розходження між аварійним режимом КЗ і дослідом "КЗ".

14. Назвіть необхідні умови для рівнобіжної роботи трансформаторів.

15. Методи перевірки можливості включення трансформаторів для рівнобіжної роботи.

16. Дайте характеристику групам з'єднання трансформаторів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10 ТЕМА: БУДОВА МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Закріплення теоретичних знань про загальну будову та принцип дії електричної машини постійного струму (МПС); вивчення будови, конструкції та призначення окремих її вузлів і деталей.

Завдання щодо проведення лабораторної роботи

При проведенні лабораторної роботи виконуються наступні завдання:

- ознайомлення з робочим місцем;
- вивчення загальної будови дослідної МПС;
- виконання ескізу магнітної системи;
- виконання ескізів якоря та листа осердя якоря;
- виконання ескізу паза якоря з обмоткою;
- креслення електричної схеми з'єднань МПС.

У результаті теоретичної підготовки і проведення лабораторної роботи здобувач повинен знати:

- загальну будову та призначення і особливості конструкції окремих вузлів і деталей МПС;
- принцип дії МПС в генераторному і двигунному режимах;

- роботу контактної пари “електрощітка-колектор” в режимі випрямляча і в режимі інвертора.

Теоретичні положення

Із загальної теоретичної частини відомий принцип дії МПС в режимах роботи генератором та двигуном. Там також показана конструкція двигуна постійного струму типу 4ПН225М.

Електричні машини постійного струму мають широке застосування в народному господарстві переважно як двигуни, а як генератори рідко – у спеціальних випадках. Їхньою особливістю є простота керування частотою обертання (в режимі двигуна) і регулювання напруги (в режимі генератора).

В конструкції МПС виділяються дві основні частини:

1. нерухома частина, яка призначена головним чином для створення основного магнітного потоку збудження: тому цю частину називають *індуктором*;
2. обертальна частину, в якій проходить процес перетворення механічної енергії на електричну (в режимі генератора), або електричної енергії на механічну (в режимі двигуна), тому цю частину називають *якорем*.

З функціональної точки зору МПС має:

1. активну частину, яка створює умови для електромагнітних процесів, необхідних для реалізації принципу дії машини (станина, осердя полюсів, обмотки полюсів, осердя якоря, обмотка якоря, колектор, щітки та ін.);
2. механічну частину, яка служить головним чином для утримання елементів активної частини, передачі та сприйняття механічних навантажень (вал, підшипникові щити, знов станина, підшипники, траверса, лапи та ін.).

Нерухома і обертальна активні частини відокремлені одна від одної повітряним проміжком відносно малої величини.

Опис експериментальної установки

Конкретним об'єктом вивчення будови МПС є двигун постійного струму типу ПН28,5. Дослідний зразок цього двигуна зображений на робочому місці двома окремими частинами – статором і якорем з підшипниковими щитами.

Конструктивна схема двигуна наведена на рис. 23.

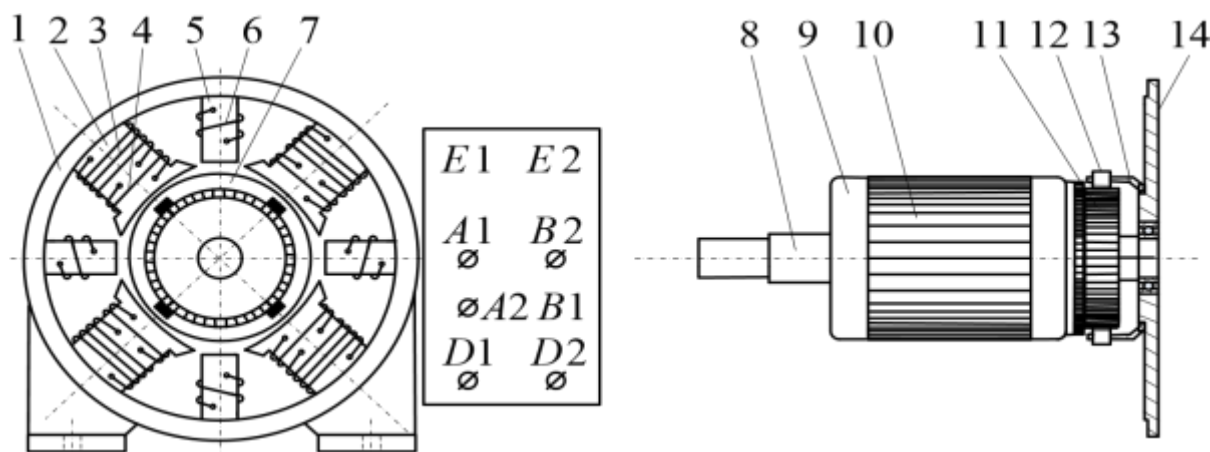


Рис. 23 Конструктивна схема машини постійного струму:

1 – станина; 2 – осердя головного полюса; 3 – котушка паралельної або незалежної обмотки збудження; 4 – послідовна обмотка збудження; 5, 6 – осердя і обмотка додаткового полюса; 7 – якір; 8 – вал; 9 – обмотка якоря; 10 – осердя якоря; 11 – колектор; 12 – щіткотримач; 13 – траверса; 14 – підшипниковий щит

Статор складається з циліндричної станини, осердь головних та додаткових полюсів і розташованих на них котушок відповідних обмоток, причому осердя закріплені болтами на внутрішньої поверхні станини.

Якір складається з вала, шихтованого сталюого осердя, обмотки і колектора. Осердя кріпиться на валу, обмотка якоря укладена в пазах осердя, а кожна її секція приєднана до півників колектора.

Вал обертається в підшипниках кочення, закріплених в підшипникових щитах, які, у свою чергу, кріпляться з торців станини. На валу якоря, з боку, протилежного колектору, закріплений відцентровий вентилятор.

На кільцевій проточці підшипникового щита з боку колектора закріплена щіткова траверса. На ній розташовані щіткотримачі з щітками.

Позначення вивідних кінців обмоток МПС (ГОСТ 26772-85) наведено в табл. 1.1 (окремий випадок маркірування вивідних клем є на рис. 23).

Таблиця 1.1. Позначення вивідних кінців обмоток машин постійного струму

Назва обмотки	Позначення виводів	
	Початок	Кінець
Обмотка якоря	A1	A2
Паралельна обмотка збудження	E1	E2
Послідовна обмотка збудження	D1	D2
Незалежна обмотка збудження	F1	F2
Обмотка додаткових полюсів	B1	B2
Компенсаційна обмотка	C1	C2

Порядок виконання роботи

1. Ознайомтеся з дослідним зразком машини постійного струму і випишіть до табл.

1.2 її паспортні дані із заводської таблички, прикріпленої до станини: тут P_N , U_N , I_{aN} , n_N – номінальні потужність, напруга і струм якоря, частота обертання.

Таблиця 1.2 – Паспортні дані дослідної машини постійного струму

Тип машини	P_N , кВт	U_N , В	I_{aN} , А	n_N , об/хв	Збудження

2. Вивчіть будову окремих вузлів і деталей дослідного зразка та опишіть призначення і конструктивне виконання:

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1) станини; | 2) осердя головного полюса; |
| 3) котушки обмотки збудження; | 4) осердя додаткового полюса; |
| 5) котушки додаткового полюса; | 6) осердя якоря; |
| 7) обмотки якоря; | 8) колектора; |
| 9) вала; | 10) траверси; |
| 11) вентилятора; | 12) підшипникових щитів; |
| 13) підшипникових вузлів. | |

3. Виконайте ескізи якоря та лист осердя якоря.

З'єднайте виводи котушок додаткових полюсів і обмотки якоря через щітки певної полярності. Узгодьте полярності головних і додаткових полюсів (N або S), завдавшись напрямком обертання якоря у генераторному G та двигунному M режимах.

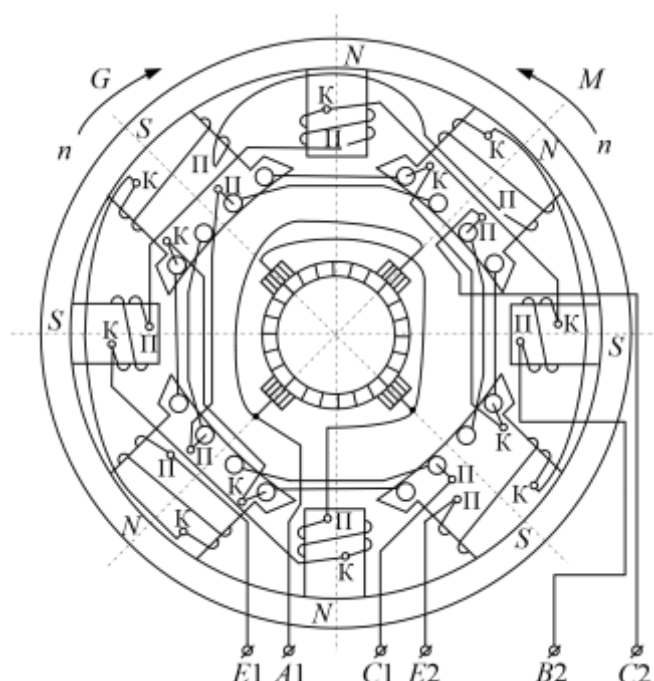


Рис. 24 Електрична схема з'єднань машини постійного струму

Контрольні питання

1. Перелічіть основні елементи конструкції МПС та їх призначення.

2. Перелічіть активні та конструктивні матеріали, які застосовуються в МПС, і назвіть їхні основні властивості.
3. Поясніть принцип роботи МПС у генераторному режимі.
4. Поясніть принцип роботи МПС у двигунному режимі.
5. Як змінити напрям обертання двигуна постійного струму?
6. Накресліть клеми коробки виводів (реально розмістивши їх на площині креслення), виконайте необхідні з'єднання їх одна з одною і покажіть, які клеми необхідно підключати до мережі.
7. Нарисуйте електричну схему з'єднань машини.
8. Які способи збудження можуть мати машини постійного струму?
9. Як працює контактна пара "щітка – колектор" при роботі МПС в режимах генератора і двигуна?
10. Покажіть напрямки струмів в обмотках МПС на її поперечному перерізі в генераторному і двигунному режимах.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11 ТЕМА: РОЗРАХУНОК ТА ПОБУДОВА СХЕМ ОБМОТОК ЯКОРЯ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета: розглянути і скласти схеми обмоток якоря та виконати розрахунок та побудови

Сучасні електричні машини виконують в основному з зубчатими барабаними якорями, в пази яких вкладають *двошарові* обмотки.

Основним елементом обмотки якоря є *секція*, що складається з одного або декількох послідовно з'єднаних витків. У кожному пазові знаходиться, як правило, декілька секцій (рис. 5 а), ізолюваних загальною корпусною ізоляцією від стінок, паза Вони утворюють котушку якоря. В цьому випадку говорять, що кожному реальному пазові відповідає декілька двошарових *елементарних* пазів.

Секція якоря має дві активні сторони - верхню і нижню. Перехід з верхнього шару в нижній виконують за допомогою *голівки* в задній лобовій частині секції. Кінці передньої лобової частини секції приєднують (припаюють) до колекторних пластин, причому початок наступної секції під'єднують до тої ж колекторної пластини, що і кінець попередньої. Це створює неперервність обмотки. Загальна кількість секцій завжди дорівнює числу колекторних пластин і числу *SK* елементарних пазів : ze

$$S = K = z_e = u_n z \quad (3.1)$$

де - число колекторних пластин або елементарних пазів, які приходяться на один реальний паз, *un*

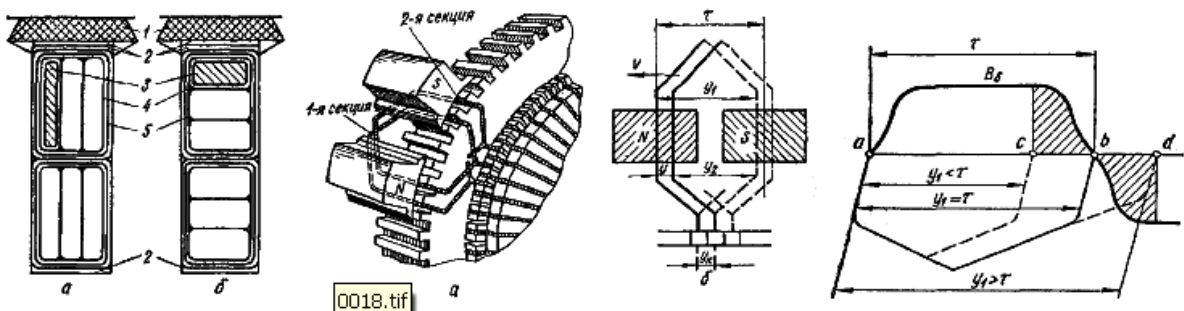


Рис. 5 Розташування провідників у пазах якоря «на ребро» (а) і «лежачи» (б): 1-клин; 2-прокладки; 3-виткова; 4-корпусна; 5-покрівельна ізоляція

Рис.6 Загальний вигляд петлевої обмотки (а) і схема з'єднання її секцій (б)

Рис.7 Схема розташування діаметральної, вкороченої і подовженої секцій в магнітному полі електричної машини

Оскільки кожен виток секції утворений її двома сторонами (провідниками), то повне число провідників в якорі, де - число витків в секції W_c

$$N = 2Kw_c = 2Sw_c \quad (3.1, a)$$

В останні роки, особливо в тягових електричних машинах, широке розповсюдження дістала *багатошарова* конструкція пазу (рис. 5б), в якій більше заповнення міддю і краща віддача теплоти кожным провідником стінками пазу, хоча принципової різниці між пазами на рис. 5а і 5б немає: другий можна отримати, розмістивши провідники першого "лежачи"; В обох *3ul*, тому обмотка, виконана конструктивно за рис. 5б, також є двошаровою.

ЕРС, що виникають в кожній з активних сторін секцій повинні додаватися, тому сторони секцій розміщують під полюсами різної полярності на відстані що дорівнює довжині полюсного поділу $\times 1y$ (рис. 6). Обмотки, у яких y_{1t} , тобто сторони секцій знаходяться під кутом 180° ел. по відношенню одна до одної, отримали назву *діаметральних*, на відміну від *хордових*, де y_{1t} .

На рис. 7 показані три секції, у яких: $y_{1t} =$ (секція *ab*); $a_{1b} \text{ ут} < 0$ (секція *ac*) і $y_{1t} > 1$ (секція *ad*). Контур діаметральної секції охоплює весь магнітний потік Φ_0 , що відповідає площі, яка обмежена кривою індукції у повітряному проміжку. Контур хордової вкороченої секції *ac* охоплює тільки частину цього потоку; тому ЕРС, що виникає у ній буде менша, ніж у секції *ab*, на величину пропорційну заштрихованій площі, відповідній вкороченню *bc*. Подовжена секція *ad* отримує від'ємний приріст потоку, що відповідає заштрихованій площі на відстані *bd*. Якщо вкорочення *bc* та подовження *bd* дорівнюють одне одному, то ЕРС в секціях *ac* і *ad* також дорівнюватимуть одна одній; але для виготовлення подовженої секції потрібно більше міді та ізоляції на виконання її лобових частин. Тому на практиці подовжені обмотки не використовують.

Основним типом обмотки є вкорочена (y_{1t}) і тільки у невеликих машинах можна зустріти діаметральні обмотки.

Проста петлева обмотка

Простою петлевою обмоткою називають таку обмотку, у якої кінець і початок секції приєднані до лежачих поруч пластин, тобто її крок по колектору

$$y_k = 1 \quad (3-2)$$

Свою назву ця обмотка отримала тому, що її секція нагадує петлю (див. рис. 6) Відстань між активними сторонами одної секції, виражена через число колекторних пластин, називається *першим частковим кроком* 1 Так як на довжину одного полюсного поділу приходить $y \cdot K / (2 \cdot p)$ колекторних пластин, то у вкороченої обмотки 1

$$y_1 = K/(2p) - \varepsilon \quad (3.3)$$

де ε - величина, вкорочення. Отже, величина ε має бути такою, щоб значення кроку y_1 дорівнювало цілому числу. Як правило вона мінімальна. У діаметральній обмотки 0ε . Друга секція зсунута вправо від першої на крок Відстань між кінцевою стороною k у попередньої секції і початковою стороною наступної називається *другим частковим кроком*. Його відрахунок в петлевій обмотці йде y_2 справа на ліво (проти підрахунку y_1) тому y_2 є від'ємною величиною.

Результуючий крок петлевої обмотки

$$y = y_1 + y_2 = y_r = 1 \quad (3.4)$$

тоді $y_1 = 12 - y_2$

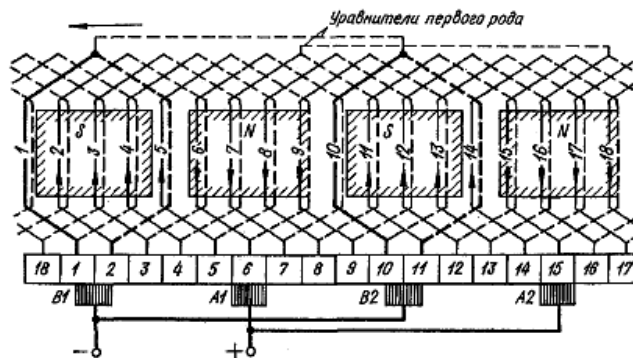


Рис. 8. Схема простої петлевої обмотки

$$(2p = 4, z = z_s = S = K = 18, y_1 = 4, y_2 = -3, y_3 = 1, \varepsilon = 0.5)$$

$$y_2 = 1 - y_1 \quad (3.4a)$$

Розглянемо приклад простої петлевої обмотки генератора, схема і основні дані якої наведені на рис. 8. Покладемо число елементарних пазів $z_{\text{ел}}$, тобто $1; 1 \text{ уривс}$. Щітки на колекторі стоять на однаковій відстані одна від одної і встановлені суворо по осі полюсів.; замикаючи накоротко колекторні пластини секцій, сторони яких розміщені симетрично відносно середини полюса, коли ЕРС в них приблизно дорівнює нулю (ці секції № 1 і 10 виділені на рисунку товстими лініями). Якщо величина вкорочення $0 = \varepsilon$, то сторони цих секцій лежать суворо на геометричній нейтралі, а їх ЕРС дорівнює нулю.

Оскільки секції № 1 і 10 закорочені щітками B1 і B2, вони не приймають участі у створенні ЕРС в обмотці. Верхні 16 секцій кожної паралельної гілки знаходяться під одним полюсом, а нижні - під іншим. Спрощена схема простої петлевої обмотки, показаної на рис. 8 зображена на рис. 9, де кожний її виток, відповідає реальній секції обмотки.

Як видно з рисунка, струм якоря $I_{\text{я}}$ складається зі струмів паралельних гілок $i_{\text{я}}$ всередині обмотки, і до кожної щітки підходить (чи відходить) струм $2i_{\text{я}}$ двох паралельних гілок. При обертанні якоря секція переходить з одної паралельної

гілки в іншу, замикаючись накоротко щіткою в момент переходу. Кожній парі полюсів відповідають пара щіток і пара паралельних гілок, обмотки.

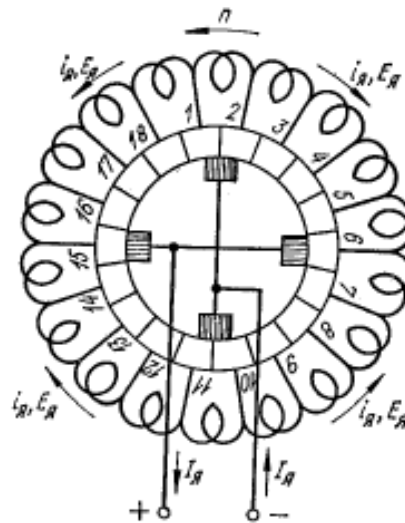


Рис. 9. Спрощена схема простої петлевої обмотки

З розглянутих схем простої петлевої обмотки (рис. 8 і 9) випливає, що у машини з числом полюсів $2p=4$ число паралельних гілок обмотки $2a=4$. Але це число полюсів було вибрано в розглянутому прикладі випадково. Відповідно, в загальному випадку число пар паралельних, гілок простої петлевої обмотки дорівнює числу пар полюсів, тобто

$$a = p \quad (3.5)$$

а струм якоря

$$I_A = 2ai_A \quad (3.6)$$

Відзначимо, що ЕРС в одній паралельній гілці E_A є також і ЕРС у всій обмотці E число щіток на колекторі машини, з петлевою обмоткою завжди повинно дорівнювати числу її полюсів.

Приклад розрахунку простої петлевої обмотки. Вихідні дані (див. рис. 3.4): число полюсів машини $2p=4$, число пазів $z=18$, число колекторних пластин $K=18$, число витків в секції 1 w_s .

Оскільки 1 , то 1 , тобто в кожному реальному пазові знаходиться один елементарний – $KeZz = U$ л, що складається з двох сторін (верхньої і нижньої) секцій.

Згідно (3.3), перший частковий крок $18/4y_1$ Щоб y_1 дорівнювало цілому числу, мінімальна величина вкорочення $\epsilon=0,5$, тоді $y_1=4$ (провідник, котрий лежить в першому пазові, з'єднується лобовою частиною з провідником п'ятого паза. Повне число провідників згідно (3.1а) $21836 = N$.

Оскільки 1 , то з (3.4а) другий частковий крок $y_2=143$ (його відрахунок на схемі проводиться, на відміну від першого часткового кроку не зліва направо, а справа наліво).

Нанесемо на креслення контури полюсів, вкажемо (довільно) їх полярність, а також пронумеруємо всі пази (див. рис. 8), Верхній провідник в пазові наведений суцільною, а нижній штриховою лінією. Вважатимемо, що полоси, контури яких нанесе» на кресленні, знаходяться над якірною обмоткою, тобто магнітні силові лінії, наприклад «північного» - полюса, входять в площину креслення.

Потім необхідно зобразити колекторні пластини і приєднати верхній провідник першого пазу до колекторної пластини, якій присвоїмо №1. Цей провідник задньою лобовою частиною з'єднується з нижнім провідником п'ятого пазу. Утворилась перша секція; її кінець під'єднаний до колекторної пластини №2, від якої починається друга секція (верхній провідник другого пазу). Подальша побудова схеми виконується аналогічно. Остання (18-а) секція повинна замкнути обмотку тобто її кінець (нижній провідник четвертого пазу) під'єднується до колекторної пластини №1.

Далі треба зобразити на схемі щітки. Відстань між щітками протилежної полярності А і В повинна дорівнювати колекторним пластинам, щітки встановлюються суворо по осі полюсів. $I(2)18/44.5Kp$ Оскільки обмотка виконується для машини з $24p$, щіток має бути чотири. Полярність щіток визначають виходячи з Припущення, що машина працює в режимі генератора, а якір обертається в напрямі стрілки. Skorиставшись правилом правої руки знаходимо напрям ЕРС (струму), яка виникає в секціях, і вказують його стрілками В підсумку виявилось, що щітки А1 та А2, від яких відводиться струм зовнішнє кало є додатнім, а щітки В1 та В2 - від'ємними. Щітки однакової полярності під'єднують паралельно до відповідних виводів.

Контрольні запитання і задача

1. Що таке реакція якоря? Яка вона може бути?
2. В яких випадках виникає повздовж?
3. Що таке лінійне навантаження і що воно характеризує?
4. Як розподіляється по довжині полюсної поділки МДС якоря, де вона максимальна?
5. Як впливає реакція якоря на роботу машини і як це проявляється?
6. Що таке середня напруга між колекторними пластинами?
7. Що таке коефіцієнт спотворення поля?
8. Чим визначається кількість колекторних пластин в машині і діаметр колектора?
9. Визначити діаметр колектора тягового двигуна, користуючись даними і результатами рішення задач 4.
10. Які можливі заходи по боротьбі із спотворюючою дією поперечної реакції якоря?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12

ТЕМА: ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи - визначення експлуатаційних властивостей генератора постійного струму (ГПС) незалежного збудження шляхом експериментального зняття його основних характеристик.

Програма роботи

1 Вивчити за літературою, що рекомендується, діафільмами, кінофільмами, навчальними плакатами і лабораторними макетними стендами схему, конструкцію, принцип дії ГПС незалежного збудження, його основні характеристики і методику їх зняття.

2 Зняти експериментальні дані і побудувати основні характеристики ГПС незалежного збудження: характеристику холостого ходу (ХХХ), навантажувальну, зовнішню, регульовальну і характеристику короткого замикання (ХКЗ.).

3 Проаналізувати отримані основні характеристики і зробити висновки про експлуатаційні властивості ГПС незалежного збудження.

Техніка безпеки

Перед виконанням лабораторної роботи студенти знайомляться з інструкціями з правил техніки безпеки і протипожежної безпеки, про що розписується в контрольному листку.

Після зборки студенти можуть увімкнути схему тільки після того, як її перевірів викладач.

Опис установки. Устаткування і прилади

Електрична схема для дослідження ГПС незалежного збудження наведена на рис.11. Частини схеми, обведені пунктиром, зібрані всередині стенда.

Лабораторний стенд за схемою рис.1 містить механічно з'єднані на одному валі приводний асинхронний двигун (АД) і ГПС незалежного збудження; щитові вимірювальні прилади, апаратуру для пуску і зупинки приводного АД. Подача і зняття напруги на стенд здійснюється контактором К шляхом натискання кнопок "Пуск1" і "Стоп1". Ключем S7 здійснюється пуск і зупинка АД. Ключем S6 подається напруга на лабораторний автотрансформатор (ЛАТР), ручкою якого через випрямляч В регулюється постійний струм у незалежній обмотці збудження (ОЗ) генератора. Величина струму ОЗ і напруги на ній контролюються міліамперметром і вольтметром V1. Частота обертання ГПС через велику жорсткість механічної характеристики приводного АД з короткозамкненим ротором практично постійна при будь-яких режимах роботи ГПС і фіксується тахометром ТАХ Струм АД у фазі А контролюється амперметром А9.

Вмикання ГПС на дискретно (R_{H1} R_{H2} ; R_{H3}) і плавно (R_{HP}) регульоване навантаження здійснюється відповідно комбінацією вмикання і вимикання ключів S1, S2, S3 і S4. Контроль струму і напруги навантаження здійснюється амперметром А6 і вольтметром V2. Зміна напрямку струму в ОЗ досягається перемиканням S5 з положення "1" (вгору) у положення "2" (вниз).

Порядок виконання роботи

1 Записати паспортні дані АД і ГПС за формою, зазначеною на їх заводських табличках

2 Зібрати схему згідно із рис.1. Вихідне положення апаратури: S₁, S₂, S₃, S₄, S₆, S₇ – вимкнені (вниз), S₅ - у положенні "1" (вгору); ручка ЛАТРа в крайньому лівому положенні (відповідає мінімальній напрузі на ОЗ).

3 Зняти характеристику холостого ходу (XXX) ГПС незалежного збудження: $U_0 = f(I_3)$ при $I_a = 0$ і $n = \text{const}$.

Приблизний її вигляд наведено на рис.2.

Для зняття показань необхідно:

1 Подати на стенд напругу живлення натисканням кнопки "Пуск1".

2 Здійснити пуск АД ключем S7.

3.Перевірити полярність підключення приладів V₁; mA5, А6, V₂ (прилади підключені правильно, якщо після ввімкнення S1 і S6 і при незначному повороті ручки ЛАТРа вправо стрілки всіх зазначених приладів відхилилися вправо; якщо стрілка одного чи декількох приладів відхилилася вліво, то необхідно, вимкнувши S₁, S₆ і S₇ і повернувши ручку ЛАТРа в крайнє ліве положення, поміняти місцями проводи з'єднання на затискачах відповідних приладів).

4 Знову здійснити пуск АД ключем S₇ і записати показання приладів у табл.1. Початку відповідає точка А (рис.12) і напруга $U_0 = 0A$ за рахунок залишкового магнетизму полюсів ГПС при $I_3 = 0$.

5 Увімкнути S6 і знову записати показання приладів.

6 Для подальшого правильного зняття показань на кожній ділянці петлі гістерезису струм збудження слід змінювати тільки в одну сторону (як це показано стрілками на рис.12), щоб уникнути спотворення показань через частинні гістерезисні цикли.

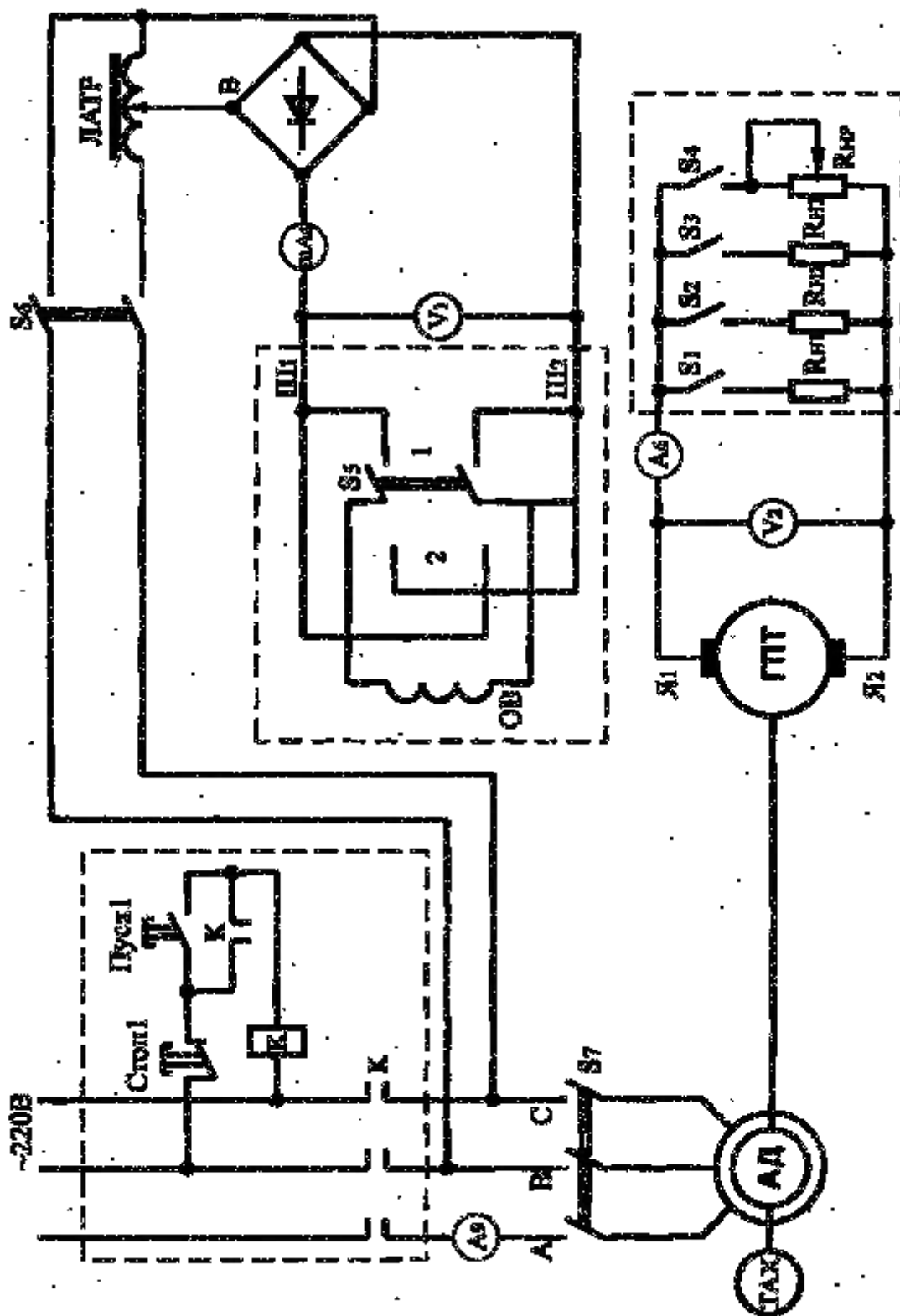
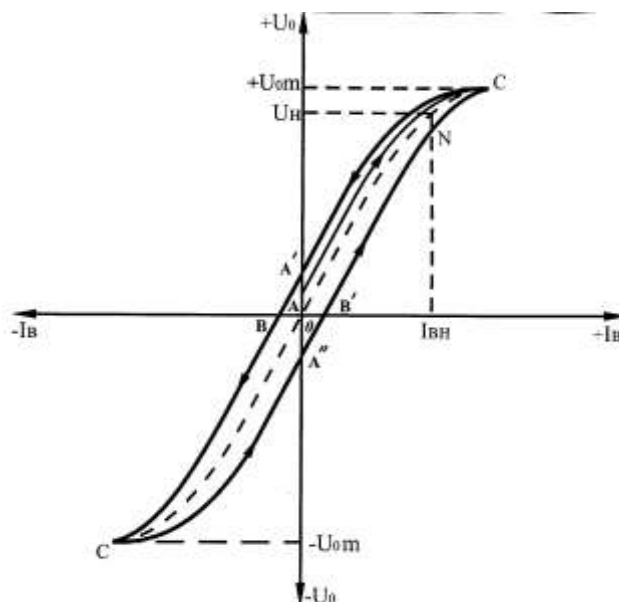


Рис. 11



Масштаби, що рекомендуються: $M_U=20\text{В/см}$; $M_I=25\text{мА/см}$

Рис. 12

7 Збільшуючи струм збудження (5-6 значень), досягти за V_2 $U_0=U_{om}=250\text{В}$ (точка С) і записати показання приладів.

8 Зменшуючи струм збудження (5-6 значень), установити ручку ЛАТРа в крайнє ліве положення і записати показання приладів.

9 Вимкнути S_6 і записати показання приладів (точка А' і $U_0=OA'$ при $I_3=0$).

10 Змінити напрямок струму збудження в ОЗ, перемкнувши S_5 у положення "2" (вниз), увімкнути S_6 і записати показання приладів.

11 Збільшити струм збудження на стільки, щоб $U_0=0$ (точка В) і записати показання приладів.

12 Поміняти полярність на V_2 шляхом зміни проводів з'єднання на його затискачах і, збільшуючи струм збудження (5-6 значень), досягти $U_0=U_{om}=250\text{В}$ (точка С') і записати показання приладів.

13 Зменшуючи струм збудження (5-6 значень), установити ручку ЛАТРа в крайнє ліве положення і записати показання приладів.

14 Вимкнути S_6 і записати показання приладів (точка А'' і $U_0=OA''$ при $I_3=0$).

15 Змінити напрямок струму збудження, переключивши S_5 у положення "1" (вгору); увімкнути S_6 і записати показання приладів.

16 Збільшити струм збудження на стільки, щоб $U_0=0$ (точка В), і записати показання приладів.

17 Поміняти полярність на V_2 зміною проводів на його затискачах і, збільшуючи струм збудження (5-6 значень), досягти $U_0=U_{om}=250\text{В}$ (точка С) і записати показання приладів.

Зняття показань закінчено.

18 Установити ручку ЛАТРа в крайнє ліве положення, вимкнути S_6 і зупинити ключем S_7 АД.

Таблиця 1

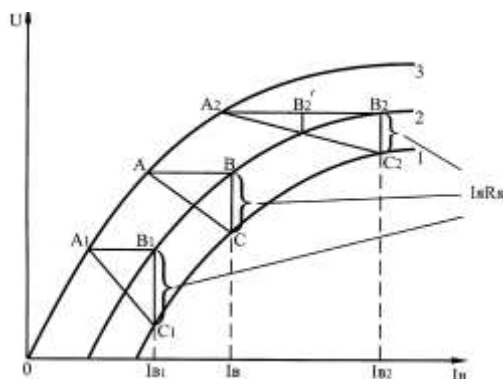
№ п/п	mA_5	V_2	A_6	n	Примітки
	I_3, mA	U, B	I_a, A	об/хв	
1					
2					
...					
35					

19 Побудувавши за табл.1. $x.x$ і з'єднавши точки С, О і С' (пунктир на рис. 12), отримаємо розрахункову $x.x$, що у визначеному масштабі повторює криву намагнічення: за нею роблять висновок про ступінь насичення ГПС. На цій розрахунковій $x.x$ початкова ділянка майже лінійна (ненасичена частина); точка N (коліно кривої) відповідає середньо насиченій частини (номінальний режим при I_{3n} і U_n); точка С відповідає насиченню ГПС.

Зняти навантажувальну характеристику ГПС:

$U=f(I_3)$ при $I_a=\text{const}$ і $n=\text{const}$.

Приблизний її вигляд наведено на рис. 13 (крива 1).



Масштаби, що рекомендуються: $M_U=20\text{B/см}$; $M_I=25\text{mA/см}$

Рис. 13

Для зняття навантажувальної характеристики необхідно:

- 1 Здійснити пуск АД ключем S_7 .
- 2 Установити R_{HP} на максимальне значення (повзунок - у крайньому правому положенні).
- 3 Ключем S_3 підключити навантаження R_{H3} ; подати живлення на ОЗ ключем S_6 і, збільшуючи струм збудження, установити за V_2 $U_n=230\text{B}$, якому відповідає за A_6 $I_a=2,2\text{A}\approx 0,5I_n$ (записати показання приладів до табл.2).

Таблиця 2

№ п/п	mA_5	V_2	A_6	n	Примітки
	I_3, A	U, B	I_a, A	об/хв	
1					
2					
3					
4					
5					

4 По черзі ключами S_1 , S_2 , і S_4 збільшувати навантаження ГПС R_{H1} , R_{H2} і R_{H3} , установлюючи щоразу зменшенням струму збудження за A_6 $I_{Я}=2,2A$. Записати показання приладів.

5 Подальше збільшення навантаження здійснити за допомогою R_{HP} . Зняти дві точки, що відповідають $1/2 R_{HP}$ (повзунок посередині) та $R_{HP}=0$ (повзунок - у крайньому лівому положенні). Для кожного виміру зменшенням струму збудження підтримувати струм навантаження $I_{Я}=2,2A=const$. Записати показання приладів. Зняття навантажувальної характеристики закінчено.

6 Установити R_{HP} на максимальне значення (крайнє праве положення повзунка реостата); вимкнути S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 , S_6 ; зупинити АД ключем S_7 .

Зняти зовнішню характеристику ГПС: $U=f(I_{Я})$ при $I_3=const$ і $n=const$, приблизний вид якої наведено на рис. 14 (крива 1).

Для зняття зовнішньої характеристики необхідно:

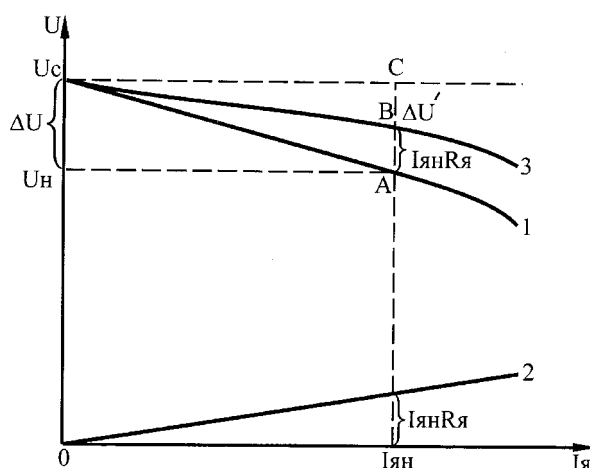
1 Здійснити пуск АД ключем S_7 .

2 Підключити ключами S_1 , S_2 і S_3 навантаження ГПС R_{H1} , R_{H2} і R_{H3} .

3 Подати живлення на ОЗ ключем S_6 і, збільшуючи струм збудження, досягти за A_6 $I_{Я}=I_H=4,35A$.

Записати показання приладів до табл.3.

4 По черзі вимикаючи S_3 , S_2 і S_1 зменшувати навантаження за A_6 до $I_{Я}=0$, записуючи щоразу показання приладів. Характеристику знято.



Масштаби, що рекомендуються:
 $M_U=20V/1cm$; $M_I=0.5A/1cm$

Рис. 14

5 Зменшити струм збудження до нуля, вимкнути S_6 , ключем S_7 зупинити АД.

Таблиця 3

№ п/п	A_6	V_2	mA_5	n	Примітки
	$I_{Я}, A$	U, B	I_3, mA	об/хв	
1					
2					
3					
4					

Зняти регулювальну характеристику ГПС: $I_3=f(I_{Я})$ при $U=const$ і $n=const$, приблизний вид якої наведено на рис. 15.

Для зняття регулювальної характеристики необхідно:

1 Здійснити Пуск АД ключем S_7 .

2 Увімкнути S_6 і, збільшуючи струм збудження, установити за V_2 $U=190V$.
Записати показання приладів до табл.4.

Подаді знімати регулювальну характеристику, змінюючи струм збудження в один бік, як це показано на рис. 15 стрілками, щоб уникнути спотворення характеристики через частинні гістерезисні цикли.

Таблиця 4.

№ п/п	mA_5	A_6	V_2	n	Примітки
	I_3, mA	I_a, A	U, V	об/хв	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

3 за черзі ключами S_1 , S_2 , і S_3 збільшувати за A_6 струм навантаження до значення $I_a = I_{aH} = 4,35A$, при цьому щоразу збільшенням рукою ЛАТРа струму збудження підтримувати за V_2 $U=190V=const$ і записувати показання приладів (на рис. 15 - крива 1).

4 за черзі ключами S_3 , S_2 , S_1 зменшувати за A_6 струм навантаження ГПС до нуля, при цьому щоразу зменшенням струму збудження підтримувати по V_2 $U=190V=const$ і записувати показання приладів (на рис. 15 – крива 2).

Характеристику знято.

5 Зменшити струм збудження до нуля, вимкнути S_6 , ключем S_7 зупинити АД.

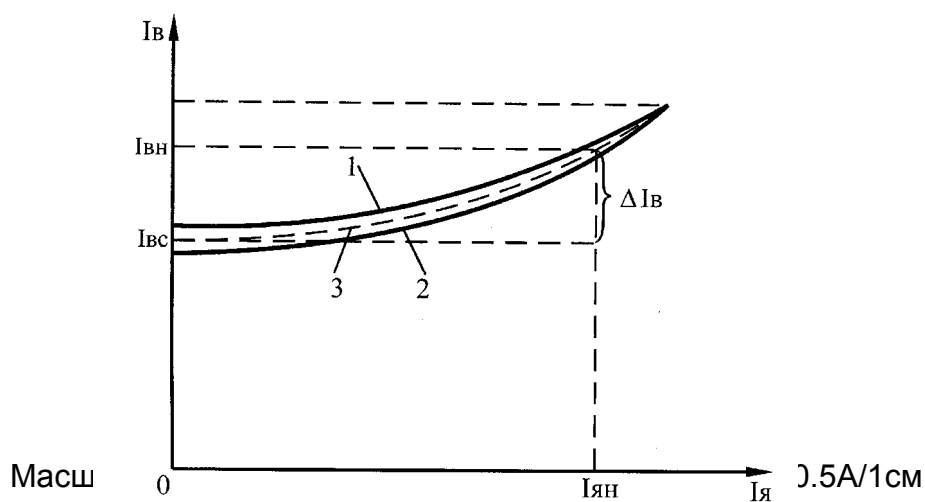


Рис. 15

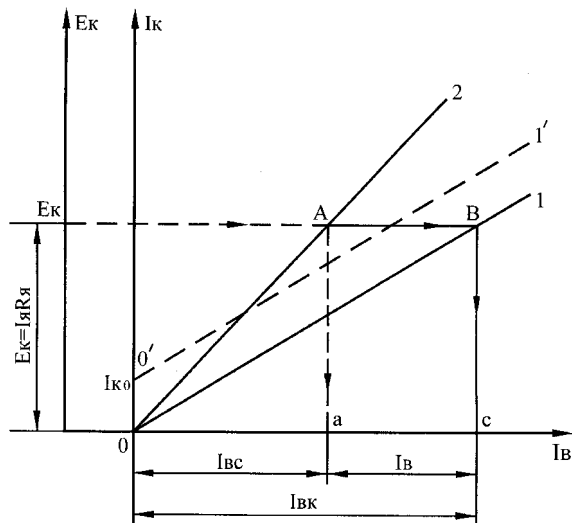
6 Провівши на рис.5 посередині між кривими 1 і 2 пунктирну криву 3, одержимо розрахункову регулювальну характеристику ГПС.

Зняти характеристику короткого замикання (ХКЗ.):

$I_k = f(I_3)$ при $U=0$ і $n=const$, приблизний вигляд якої наведено на рис. 16

(пунктир 1' відповідає ХКЗ. з урахуванням залишкового магнетизму полюсів ГПС, коли $I_{KO} \neq 0$; пряма 1 відповідає ХКЗ. розмагніченого ГПС, коли $I_K = 0$).

При знятті ХКЗ. необхідно сувор виконуються: що



Масштаби, що рекомендуються: $M_{E_k} = 10 \text{ В/1 см}$;
 $M_{I_k} = 1 \text{ А/1 см}$; $M_{I_3} = 10 \text{ мА/1 см}$
 Рис. 16

1 Перевірити, щоб $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ були у положенні "1" (вгору). R_{HP} установити максимальним (повзунок реостата - у крайньому правому положенні); ручка ЛАТРа - у крайньому лівому положенні.

2 Здійснити пуск АД ключем S_7 .

3 Увімкнути S_4 і установити опір навантаження $R_{HP} = 0$ (повзунок реостата – у крайньому лівому положенні). Струм якоря через залишковий магнетизм ГПС $I_{KO} \neq 0$ (точка O' - на ХКЗ. 1).

4 Для досягнення $I_{KO} = 0$ при $I_3 = 0$ необхідно ліквідувати залишковий магнетизм, змінивши напрямок струму збудження в ОЗ ГПС.

Для цього, вимкнувши S_6 і поставивши S_5 в положення "2" (вниз), ручкою ЛАТРа за mA_5 установити $I_3 \approx 60 \text{ мА}$ і вимкнути S_6 . Струм за A_6 повинен бути $I_A = 0$ (для цього 2-3 рази Увімкнути і вимкнути S_6). Після цього, як при ввімкненому S_6 струм за A_6 $I_A = 0$, вивести ручку ЛАТРа в крайнє ліве положення і перемкнути S_5 у положення "1" (вгору). Записати показання приладів до табл.5 (точка 0 прямої 1).

Таблиця 5

№ п/п	mA_5	A_6	V_2	n	Примітки
	$I_3, \text{ мА}$	$I_A, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	об/хв	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

5 Увімкнути S_6 і записати показання приладів.

6 Обережно, збільшуючи струм збудження, досягти за A_6 $I_A = 5 \text{ А} \approx 1,1 I_{AN}$ (6 вимірів), записуючи щоразу показання приладів.

ХКЗ. знято (пряма 1).

7 Зменшити до нуля струм збудження; вимкнути S_6 S_4 ; повзунок R_{HP} вивести в крайнє праве положення; ключем S_7 зупинити АД.

8 Зняти напругу зі стенда натисканням кнопки "Стоп1".

Роботу закінчено.

Обробка результатів. Звіт

1 Паспортні дані приводного АД і досліджуваного ГПС за формою, зазначеною в їх заводських табличках

2 Схема установки згідно із рис.17.

3 Табл.1-5 з експериментальними даними основних характеристик ГПС незалежного збудження.

4 За даними табл.1-5 побудувати в масштабі основні характеристики ГПС незалежного збудження.

5 Побудувати схему згідно із рис.18.

Побудувати розрахункову схему ГПС.

6 Побудувати згідно із рис.19 в одній системі координат навантажувальну 1, внутрішню навантажувальну 2 і розрахункову схему 3. Внутрішня навантажувальна характеристика 2 будується еквідистантно характеристиці 1 та вище її на величину $I_{\Delta}R_{\Delta}$ ($R_{\Delta}=10\Omega$). за характеристиками 1, 2, 3 побудувати характеристичні трикутники:

ΔABC і $\Delta A_1B_1C_1$ (при ненасиченій магнітній системі ГПС, що відповідає струмам збудження $I_3=175\text{mA}$ і $I_{31}=45\text{mA}$); $\Delta A_2B_2C_2$ (при насиченій магнітній системі ГПС, що відповідає струму збудження $I_3=275\text{mA}$). За допомогою цих характеристичних трикутників оцінити вплив спаду напруги у ланцюгу якоря і реакції якоря ГПС. Побудову одного з трикутників (наприклад ΔABC при $I_3=175\text{mA}$) легко побачити на рис.19. Його вершина В лежить на внутрішній навантажувальній характеристиці 2 і відповідає струму $I_3=175\text{mA}$, вершина А розташована на схемі 3, вершина С - на навантажувальній характеристиці 1 (причому катет $AB \parallel \text{осі } I_3$, катет $BC \perp \text{осі } I_3$). Катет ВС відповідає спаду напруги в ланцюзі якоря $I_{\Delta}R_{\Delta}$, а катет ВА у масштабі струму збудження відповідає магніторушійній силі (МРС) поперечної реакції якоря. При ненасиченій магнітній системі поперечна реакція якоря мало впливає на роботу ГПС ($AB \approx A_1B_1$). При насиченій магнітній системі поперечна реакція якоря збільшується (катет $A_2B_2 > AB = A_1B_1$ на величину B_2B_2' , що в масштабі струму збудження дорівнює МРС, що розмагнічує поперечну реакцію якоря).

7 Побудувати згідно із рис. 20 зовнішню 1, внутрішню 3 і характеристику 2, що являє собою лінійну залежність спаду напруги в якірному ланцюзі ГПС від струму навантаження, тобто $I_{\Delta}R_{\Delta}=f(I_{\Delta})$. Внутрішня характеристика 3 розташовується еквідистантно зовнішній і вище її на величину $I_{\Delta}R_{\Delta}$.

Визначити зміну напруги ΔU ГПС при зміні навантаження від номінального до 0 (рис. 20)

$$\Delta U = \frac{U_0 - U}{U} 100\%; \Delta U = \Delta U' + I_{\Delta} R_{\Delta},$$

де $\Delta U'$ - спад напруги, зумовлений поперечною реакцією якоря;

$I_{\Delta} R_{\Delta}$ - спад напруги в якірному ланцюзі ГПС.

Побудувати регулювальну характеристику згідно із рис. 21 (1 і 2) і розрахункову регулювальну характеристику 3. З характеристики 3 видно, на скільки необхідно збільшити I_3 при зміні струму навантаження від нуля до номінального для підтримки $U=\text{const}$. У масштабі струму збудження його

збільшення являє собою МРС, необхідну для компенсації спаду напруги в якірному ланцюзі ($I_{я}R_{я}$) і дії поперечної реакції якоря ГПС, що розмагнічує. Визначити зміну струму збудження при зміні струму навантаження ГПС від х.х. до номінальної (рис.21)

$$\Delta I_3 = \frac{I_3 - I_{30}}{I_{30}} 100\% .$$

9 В одній системі координат згідно із рис.6 побудувати ХКЗ. 1 і $E_K=f(I_3)$ 2, що являє собою початкову прямолінійну частину розрахункової схеми за 1 і 2 для $I_K=I_H$ побудувати характеристичний трикутник ABC, побудову якого видно з рис. 22, і визначити за його допомогою вплив подовжньої реакції якоря ГПС. $I_{3r}=0$ необхідний для створення $E_K=I_{яH}R_{я}$ ($R_{я}=10\Omega$); струм $I_{3k}=OC$ відповідає $I_K=I_H$. Тому що при КЗ магнітна система ГПС не насичена, то поперечна реакція якоря практично не викликає ефекту розмагнічування і катет $AB=I_3=I_{3k}-I_{3r}$ у масштабі струму збудження являє собою МРС, що компенсує тільки подовжню реакцію якоря, що виникає у випадку зрушення щіток з геометричної нейтралі за напрямком обертання якоря ГПС. У випадку, якщо щітки на геометричній нейтралі, ΔABC вироджується у катет BC.

10 На підставі аналізу основних характеристик ГПС незалежного збудження зробити висновки про його експлуатаційні властивості.

Контрольні запитання

1. Пояснити схему, конструкцію і принцип дії ГПС незалежного збудження.
2. Порядок і методика експериментального зняття основних характеристик ГПС незалежного збудження.
3. Основні ділянки схеми. Про яку властивість ГПС судять за нею? Як будується розрахункова схема? Яка ділянка ХХ відповідає номінальному режиму ГПС і чому?
4. Яким чином за ХХ і навантажувальною характеристикою визначається дія реакції якоря, що розмагнічує? Що виражають катети характеристичного трикутника, побудованого за цими двома характеристиками ГПС і про який вид реакції якоря можна судити за характеристичним трикутником? Чому навантажувальна характеристика проходить нижче ХХ, побудованої в одній системі координат з навантажувальною? Що таке внутрішня навантажувальна характеристика ГПС?
5. Чому зовнішня характеристика ГПС має вид кривої, що падає? Як за нею можна судити про дію реакції якоря, що розмагнічує? Що таке внутрішня характеристика ГПС, побудована в одній системі координат? Що таке номінальна зміна напруги ГПС?
- 6 Чому зі збільшенням струму навантаження для підтримки сталості напруги ГПС необхідно збільшувати струм збудження? Як побудувати розрахункову регульовальну характеристику ГПС? Що таке номінальна зміна струму збудження ГПС? Що компенсує зі збільшенням навантаження збільшення МРС збудження?
7. Як розмагнітити ГПС на холостому ході перед експериментальним зняттям ХКЗ.?
8. Як за ХХ і КЗ. побудувати характеристичний трикутник? Що виражають його катети? Про який вид реакції якоря можна судити з цього трикутника?
9. Чим відрізняються рівняння електричної рівноваги ГПС і ДПС?
10. Підведення і відведення енергії, види струму в ГПС незалежного збудження. Співвідношення потужностей у ланцюзі збудження і якірному ланцюзі ГПС.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13
ТЕМА: РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГЕНЕРАТОРІВ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ПАСПОРТНИМИ ДАНИМИ

Мета: розглянути роботу і властивості електричних машин постійного струму та виконати розрахунки енергетичних показників ГПС.

Робота і властивості електричних машин постійного струму (як генераторів, так і двигунів) в значній мірі залежать від способу збудження з них магнітного потоку. Дійсно, магнітний потік входить множником як у виразі (3.25) ЕРС, так і у виразі (3.19) електромагнітного моменту, тому необхідно знати, як створюється магнітний потік, від яких величин він залежить, як і з якою метою потрібно змінювати його значення.

Згідно СТ РЕВ 169-75, за способом збудження машини постійного струму класифікують таким чином:

а) *машини незалежного збудження*, обмотка збудження яких живиться від стороннього джерела електричного струму;

б) *машини паралельного збудження*, обмотка збудження яких з'єднана паралельно з колом якоря;

в) *машини послідовного збудження*, обмотка збудження котрих з'єднана послідовно з колом якоря;

г) *машини змішаного збудження*, у яких є дві обмотки збудження, одна з яких з'єднана послідовно з колом якоря (інша - може бути або незалежною, або, частіше, паралельною). МРС обмоток збудження мають один напрям, то таке їх ввімкнення називається *узгодженим*. Якщо ж МРС обмоток напрямлені в різні сторони, то ввімкнення називають *зустрічним*.

Схеми всіх чотирьох типів машин зображені відповідно на рис. 10.

Всі ці електричні машини мають однакову будову і відрізняються лише виконанням обмотки збудження (03). Обмотки незалежного і паралельного збудження виготовляють з великою кількістю витків, з дроту малого перерізу, а обмотку послідовного збудження з малим числом витків з дроту великого перерізу.

Існують також машини невеликої потужності, магнітне поле у яких створюється або тільки постійними магнітами, або ще і обмотками збудження, що живляться електричним струмом. Властивості перших подібні до властивостей машин незалежного, а других змішаного чи незалежного збудження (в залежності від способу під'єднання обмотки збудження).

В усіх машинах на збудження витрачається від 0,5% до 5% номінальної потужності машини. Тут перше значення відноситься до дуже малих машин, а друге - до машин потужністю близько 1 кВт.

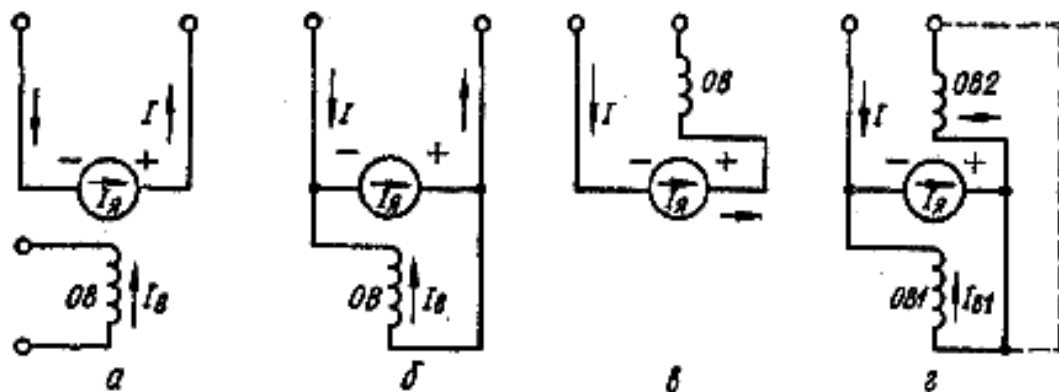


Рис. 10. Схеми електричних: машин постійного струму незалежного (а), паралельного (б) і змішаного (в) збуджень

Як видно з рис. 10, значення струму збудження, машини незалежного збудження не залежить від струму якоря і визначається напругою джерела струму. Для регулювання струму послідовно в коло обмотки збудження машини вмикають резистор. У машини паралельного збудження, згідно закону Ома, I_z

$$I_z = U_{\Gamma} (R_z + R_p) \quad (6.1)$$

де R_z - опір обмотки збудження, а R_p - послідовно з нею ввімкненого регулювального резистора.

В машинах, послідовного збудження $I_z = I_a$

Згідно ГОСТ 2582-81, виводи всіх обмоток маркують таким чином:

Я 1 і Я 2 - початок і кінець обмотки якоря;

С 1 і С 2 - початок, і кінець послідовної (серієсної) обмотки збудження;

Ш 1 і Ш. 2 - початок і кінець паралельної (шунтової) обмотки збудження;

К 1 і К 2 - початок і кінець компенсаційної обмотки; I_z

Контрольні запитання і задача

1. Як класифікують електричні машини постійного струму за способом збудження?
2. Як маркують виводи різних обмоток машин постійного струму?
3. Які характеристики визначають властивості генераторів постійного струму?
4. Що таке номінальна зміна напруги, чим вона викликана і чому у генератора паралельного збудження вона більша, ніж у генератора незалежного збудження?
5. Які умови необхідні для самозбудження генераторів постійного струму?
6. Як змінюється напруга генератора послідовного збудження при зростанні струму навантаження?
7. Як можуть вмикатися обмотки збудження генератора змішаного збудження і який вигляд в залежності від цього матимуть його зовнішні характеристики?
8. Які умови мають бути дотримані при ввімкненні генератора на паралельну роботу? Як перевести навантаження з одного генератора на інший?
9. Що таке тахогенератор, для чого він застосовується?
10. Генератор паралельного збудження має напругу $U_{\Gamma}=230\text{В}$ при струмі навантаження $I=220\text{А}$. 11. Визначити струм якоря I_a і корисну потужність, якщо опір обмотки збудження R_z Ом.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

ТЕМА : Дослідження нагріву та охолодження електродвигуна

Мета роботи :

Вивчити перехідні режими нагріву та охолодження , ознайомитись з методами визначення постійної часу нагріву і охолодження електродвигуна.

Завдання:

1. Ознайомитися з експериментальною установкою і методом вимірювання температури обмоток двигуна . Записати паспортні данні двигуна.
2. Зібрати схему для проведення дослідів.
3. Заміряти початкову температуру обмоток.
4. Ввімкнути асинхронний електродвигун , установити номінальне навантаження і підтримувати її в подальшому постійною .
5. Протягом 45 хвил. Від початку роботи електродвигуна , через визначені проміжки часу заміряти і занотувувати температуру.
6. Вимкнути електродвигун і протягом 30...40 хв. Періодично вимірювати температуру.
7. Побудувати криві нагріву та охолодження .
8. Вирахувати температуру електродвигуна , яка установилась , а також питому тепловіддачу і теплоємність .
9. Визначити постійну часу нагріву теоретично і по кривій нагріву. Зрівняти одержані результати .
10. Визначити коефіцієнт згіршення тепловіддачі нерухомого двигуна порівняно з працюючим.

Загальні відомості.

Правильний вибір номінальної потужності електродвигуна визначає економічну ефективність приводу. Застосування двигуна недостатньої потужності приводе до передчасного виходу його із ладу. Застосування двигунів завищеної потужності веде до збільшення первинної коштовності електроприводу і до збільшення затрат електроенергії.

Потужність електродвигуна викликається затратами енергії . При тривалій роботі двигуна з постійним навантаженням , а тож з постійними втратами температура двигуна перевищить температуру охолоджуючого середовища на визначену величину і настає теплова рівновага . Якщо вважати тепловіддачу двигуна пропорційною різниці температур двигуна і середовища (температура перегріву) , то :

$$V_y = \Delta P / A$$

де ΔP - втрата потужності, Вт ;

A - питома тепловіддача двигуна , $^{\circ}\text{C}/\text{W}$

Питома тепловіддача двигуна - це кількість теплоти , що віддається двигуном в оточуюче середовище за секунду при різниці температур в один градус .

Установлена температура перегріву прямо пропорційна тепловіддачі двигуна.

Питома тепловіддача

$$A = \Delta P_n / V_{yn}$$

де ΔP_n - номінальні втрати потужності, Вт ;

$V_{ун}$ - номінальна температура що встановилась перегріву , °C.

Величина визначається в секундах або хвилинах і зветься постійною часу нагріву двигуна . Вона уявляє собою той час , температура двигуна підвищиться від нуля до значення при якому температура що встановилась при постійних втратах і відсутності втрати теплоти в оточуюче середовище . Для двигунів невеликої потужності ТМ0...20 хвилин.

Постійна часу нагріву більше у двигунів тихохідних закритого виконання . Т підвищується з збільшенням номінальної потужності.

Із графіків (мал. 1 а) збудованих по рівнянню :

$$V = V_y (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + V_{нач} e^{-\frac{t}{T}}$$

видно , що температура двигуна досягає практично установившогося значення за час , рівний 4 Т. Охолоджується двигун повільніше , якщо він не обертається . В цьому випадку тепловіддача зменшується приблизно в два рази і відповідно збільшується постійна часу перехідного процесу T_0 і сам час (рис . 1 б).

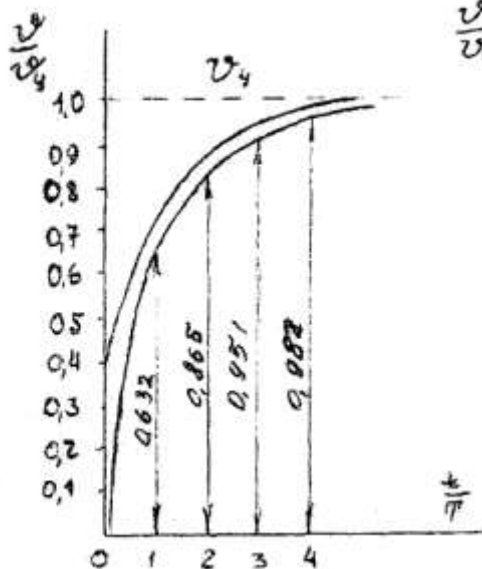


Рис. 1а .Зміна температури двигуна при нагріві

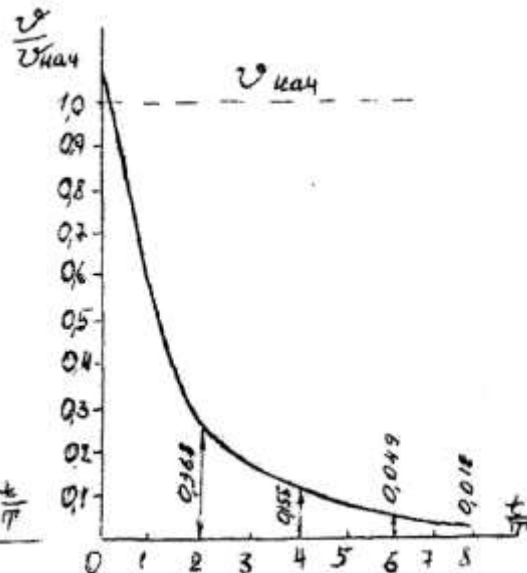


Рис. 26. Зміна температури двигуна при охолодженні

В електричних машинах як правило використовують матеріали , котрі відносять до класів А,ЕЗ>Р5Н-

Клас А включає в себе матеріали із бавовни , папири , поліамідних волокон , пропитаних або занурених в масло , а також емалі та лаки . Гранично допустима температура для цих матеріалів 105°C.

В електродвигунах серії 4А використовують більш термостійку ізоляцію із синтетичних і неорганічних матеріалів класів Е ; В , Р. Максимальна допустима температура їх нагріву відповідно 120; 130; 155 ; °C . Ще більш термостійкі матеріали класу Н використовують у вибухонебезпечних двигунах великої потужності .

Строк служби ізоляції залежить від температури , при якій вона працює. Встановлено , що підвищення робочої температури на 10 °C порівнянно з гранично допустимою зменшує строк служби ізоляції вдвоє . При температурі більш ніж 200°C двигун вийде із ладу на протязі декількох хвилин . В наслідок чого

нагрів електродвигунів , як і іншого електрообладнання , являється основним критерієм допустимого навантаження .

Методичні вказівки та опис лабораторної роботи.

Установка складається з з'єднаних асинхронного двигуна невеликої потужності і навантажувального генератора постійного струму. Навантаження устаноується при допомозі резистора , ввімкненого в ланцюг обмотки збудження ; в якості гальмівних опорів можна використовувать лампи накаливання . Температуру двигуна вимірюють за допомогою термопари с гальванометром , термистора або термоопіру з вимірювальним мостом .

Питома тепловіддача двигуна , теплоємність і постійну часу теоритично визначають за слідующими залежностями :

$$A = \Delta P_n / v_{yn} ; C = C_o G ; \Delta P_n = P_n (1 - \eta_n) / \eta_n ; T = C / A$$

де C_o - середня питома теплоємність матеріалів із котрих зроблений двигун.

Дж

C - маса двигуна ;

v_{yn} - визначається з довідників або із досліду .

Маючи криві нагріву і охолодження , постійну часу нагріву можна визначити , як час , за котрий двигун нагрівається до значення 0.632 , а постійну охолодження , як час , за котрий температура знизиться до 0,368 від початкової. Коефіцієнт погіршення тепловіддачі $os_a = 1/\eta$ •

Контрольні питання

1. Що визначає номінальну потужність електродвигуна.
2. Питома тепловіддача двигуна.
3. Постійною часу нагріву двигуна машинах як правило використовують матеріали
4. Строк служби ізоляції залежить від температури

Зміст звіту.

В звіті привести електричну схему , паспортні данні, результати вимірювань , дослідів , графіки нагріву і охолодження , аналіз одержаних результатів .

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №15

ТЕМА: Наладка схеми управління електроприводом подрібнювача з перемиканням обмоток двигуна з "зірки" на трикутник" під час пуску

Мета роботи: Вивчити та настроїти схему управління електроприводом подрібнювача.

Завдання роботи:

1. Вивчити роботу схеми управління.
2. Розрахувати програму реле часу.
3. Зібрати і налагодити схему управління.
4. Випробувати схему в роботі.

Загальні відомості.

Для привода пилорам, млинів та інших важких машин використовують асинхронні двигуни з короткозамкнутим чи з фазним ротором. Оскільки двигуни

мають порівняно великі одиничні потужності, то для обмеження пускових струменів при використанні двигунів з короткозамкненим ротором часто застосовують пуск переключенням з "зірки" на "трикутник". Це дозволяє:⁴ зменшити пусковий струм у 3 рази, але пусковий момент теж зменшиться у 3 рази, тому пуск агрегата треба проводити вхолосту.

Для здійснення такого запуску двигун повинен мати такі дані: Л I А 380/660В, тобто, з напругою 380В він повинен працювати на "трикутнику", в той час як серійні двигуни при напрузі 380В працюють зі з'єднанням "зірки" (А/Х 220/380 В). Крім того, двигун повинен мати шість вивідних кінців статора. Пуск двигуна (мал.1) здійснюється натисканням кнопки КнП. Катушка К1 лінійного контактора одержує живлення, і контакти в силовій мережі замикаються. Одночасно одержують живлення катушка реле часу РЧ і катушка допоміжного контактора К2, який замикає виводи двигуна С4-С5-С6 накоротко, завдяки чому виходить з'єднання "зіркою". Двигун починає розвертатися. По закінченню заданої витримки часу, встановленої на реле часу РЧ, останнє спрацьовує і своїми розмикаючими контактами знеструмлює котушку К2, а замикаючими подає живлення на К3, який з'єднує вивідні кінці двигуна на "трикутник". Для попередження одночасного включення К2 і К3 в колі котушок цих контакторів включені послідовно "чужі" контакти. (У колі котушки К2 - контакти К3 і навпаки).

Опис лабораторної установки і методичні вказівки.

Управління пуском електропривода подрібнювача здійснюється за схемою (рис.1).

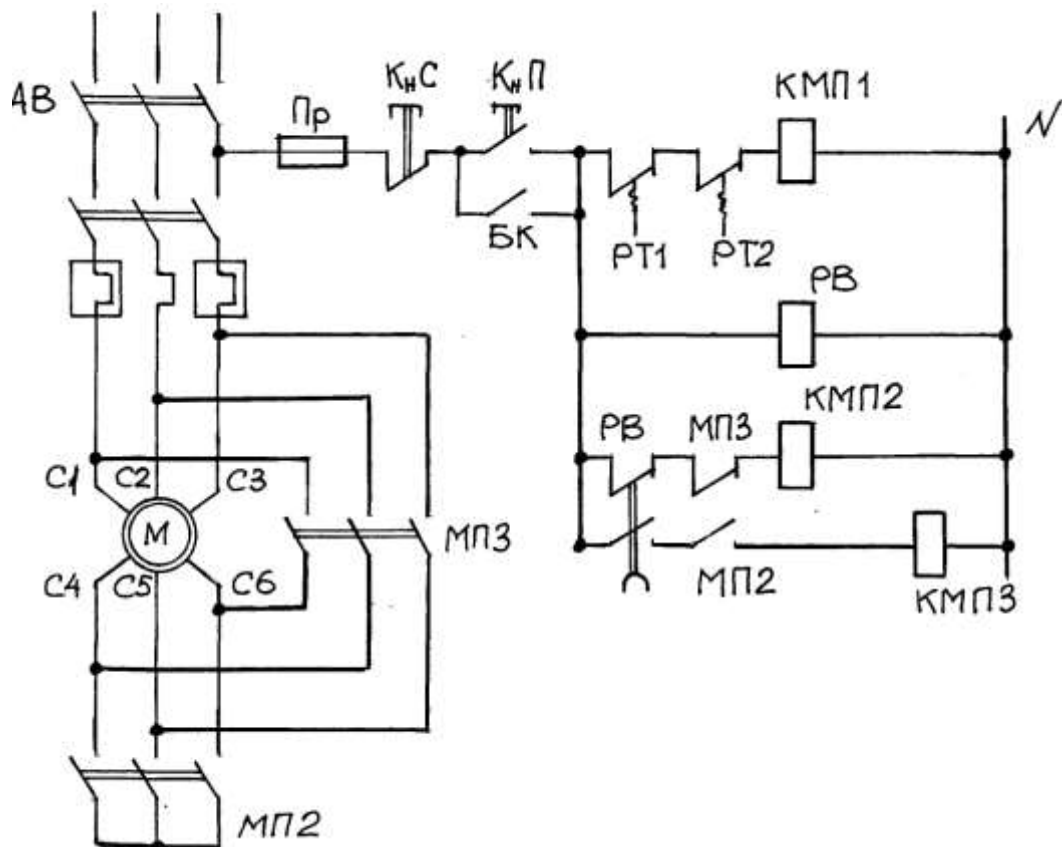


Рис.1 Схема вмикання електродвигуна подрібнювача.

В лабораторній установці електропривід подрібнювача може бути з модельований електродвигуном меншої потужності. Номінальна напруга його повинна бути 660/380 В, якщо напруга електричної мережі 380В. Момент протидії подрібнювача можна змоделювати машиною постійного струму в режимі

динамічного гальмування. Для імітації мас подрібнювана, що обертається, треба встановити маховик.

Розрахунки виконати у наступному порядку. За паспортними і каталожними даними електродвигуна розрахувати і побудувати його механічну характеристику. Потім необхідно перерахувати і побудувати механічну характеристику електродвигуна при з'єднанні обмоток в "зірку", вважаючи, що момент у 3 рази менший при будь-якому ковзанні.

За побудованою характеристикою для з'єднання обмоток в "зірку" згідно з заданою механічною характеристикою навантажувального пристрою і сумарним моментом інерції привода лабораторної установки визначити час запуску на "зірці", використовуючи аналітичний графоаналітичний метод.

Зібрати електричну схему установки і за розрахованим часом запуску настроїти реле часу. Здійснити пробні пуски. Виміряти пусковий струм і струм в момент переключення. Включити нерухомий двигун, поєднаний "трикутником", виміряти пусковий струм і порівняти його з попереднім. Для вимірювань зручніше користуватися самопишучим амперметром.

Контрольні питання

1. Де використовують асинхронні двигуни з КЗ ротором.
2. З якою напругою він повинен працювати на "трикутнику".
3. Намалювати схему вмикання електродвигуна.
4. Побудувати механічну характеристику двигуна.
5. Зібрати електричну схему установки.

Зміст звіту:

Звіт повинен мати електричну схему установки, розрахунок установки реле часу і опис наладки. У висновках розкрити переваги запуску електродвигуна з переключенням з "зірки" на "трикутник".

(ОФОРМЛЕННЯ І ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ)

1. Звіт про лабораторну роботу кожен здобувач оформляє самостійно.
2. Звіт повинен відповідати встановленій в університеті формі.
3. Звіт виконується на окремих листах і містить:
 - титульний лист;
 - електричну схему експерименту;
 - технічні (паспортні) дані досліджуваних об'єктів;
 - таблиці даних експерименту і розрахунку;
 - необхідні розрахункові формули;
 - графічний матеріал;
 - висновки по роботі.
4. Обробка результатів вимірювань проводиться на підставі розрахункових співвідношень, вибраних при підготовці до виконання роботи, з використанням мікрокалькуляторів або комп'ютерів з точністю до трьох значущих цифр.
5. Звіт повинен бути виконаний акуратно, схеми виконуються за допомогою циркуля, лінійки або на комп'ютері з дотриманням стандартів.
6. Графіки отриманих залежностей доцільно виконувати на міліметрівці, або на комп'ютері з указівкою на осях стандартних буквенних позначень величин і одиниць вимірювань. Якщо в одних координатних осях будується декілька графіків функцій від однієї незалежної змінної, то слід нанести додаткові шкали, кожен зі своїм масштабом. Виключення початкових ділянок шкал або розриви шкал на осях координат не допускаються.
7. Векторні діаграми будуються з дотриманням вибраного масштабу. Усі вектори повинні бути чітко позначені.
8. Отримані в результаті оформлення звіту числові дані, графіки, характеристики, діаграми слід проаналізувати і порівняти з теоретичними.
9. У кінці звіту необхідно привести результати аналізу експериментальних даних і стислі висновки з роботи.
10. Здобувач подає викладачеві звіт у день виконання наступної роботи.
11. Здача звіту проводиться індивідуально або побригадно.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яцун М.А. Електричні машини: підручник. Львів, 2011. - 464 с.
2. Загірняк М.В. Електричні машини: підручник/М.В. Загірняк, Б.І. Невзлін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К.: Знання, 2009. – 399 с.
3. Белікова Л.Я., Шевченко В.П. Електричні машини: Навчальний посібник. – Одеса: Наука і техніка, 2012. – 480 с.
4. Яцун Я.А. Електричні машини: Підручник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 464 с.
5. Проектування електричних машин: Навч. посібник/ Д.В. Ципленков, Ю.В. Куваєв, О.Б. Іванов, І.А. Кириллов. За ред. Ф.П. Шкрабця. – Д: Національний гірничий університет, 2008. – 325 с.
6. Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори: навч. посіб. / за ред. В. І. Мілих. Київ: Каравела, 2018. - 452 с.
7. Електричні машини /Конспект лекцій (частина 1) для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання, напрям підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» /Суми, 2021. - 121 с.
8. Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни "Електричні машини" для студентів 3 курсу бакалавр, спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», денна та заочна ФН / Суми, 2023. - 43 с.
9. Електричні машини / Методичні вказівки щодо виконання лабораторно-практичних робіт (частина 1) для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання, напрям підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» /Суми, 2019. - 98 с.
10. Електричні машини / Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи (частина 1) для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання, напрям підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» /Суми, 2018. - 121 с.
11. Півняк Г.Г., Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 327 с.
12. Ivanov, O.B., Shkrabets, F.P., Zawilak, Jan. (2011)."Electrical generators driven by renewable energy systems", Wroclaw University of Technology, Wroclaw – 169 p.
13. Проектування електричних машин: навч. посіб. / Д. В. Ципленков, О. Б. Іванов, О. В. Бобров, В. В. Кузнецов, В. В. Артемчук, М. О. Баб'як; нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2020. - 408 с. Калиниченко С.П., Карпенко Н.П. Машини постійного струму: Конспект лекцій. – Х.: УкрДАЗТ, 2012. – Ч.1. – 69 с.
14. Карпенко Н.П., Нерубацький В.П. Методичні вказівки «Розрахунок трифазного силового масляного трансформатора» до виконання курсової роботи з дисципліни «Електричні машини». – Х.: УкрДУЗТ, 2014. – 50 с.
15. Карпенко Н.П., Нерубацький В.П. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Електричні машини». – Х.: УкрДУЗТ, 2015. – 16 с.
16. Електронний репозитарій СНАУ– Режим доступу: <https://repo.snau.edu.ua/>.
17. Бібліотека ДНУЗТ та її репозитарій. – Режим доступу: <https://library.diit.edu.ua/uk/catalog>,
<https://library.diit.edu.ua/uk/catalog?category=books-and-other>.
18. <http://elibrary.nubip.edu.ua> - електронна наукова бібліотека НУБіП України.
19. <http://energ.nauu.kiev.ua/> - навчально-інформаційний портал ННІ енергетики і автоматики
20. <http://www.nbuv.gov.ua/> - національна бібліотека України імені В.І. Вернадського, Київ.

Чепіжний Андрій Володимирович

Юрченко Олександр Юрійович

Рясна Ольга Василівна

Тесленко Олена Володимирівна

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

**Частина 2 –Машины змінного струму. Механіка, енергетика
електроприводу.**

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,
вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: січень, 2025 р. Формат А5: ГарнітураTimesNewRoman

Тираж: 100примірників Замовлення_____ Ум. друк. арк. 3,2