



**Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електропостачання
та енергетичного менеджменту**

ФАЗУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

**Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
з дисципліни «Технічна експертиза та експлуатація
енергетичного обладнання і засобів автоматизації»**

**для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**Харків
2024**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій
Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

ФАЗУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
з дисципліни «Технічна експертиза та експлуатація
енергетичного обладнання і засобів автоматизації»
для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
факультету енергетики,
робототехніки та
комп'ютерних технологій
Протокол № 4
від 29.01.2024 р.

Харків
2024

УДК 621.3:658.58
Т77

Схвалено
на засіданні кафедри
електропостачання та енергетичного менеджменту
протокол № 7 від 26 січня 2024 р.

Рецензенти:

Н. Г. Косуліна, д-р техн. наук, проф. Державного біотехнологічного університету;

М. Л. Лисиченко, д-р техн. наук, проф. Державного біотехнологічного університету

Т77 Фазування силових трансформаторів: метод. вказівки до виконання лаб. роботи з дисц. «Технічна експертиза та експлуатація енергетичного обладнання і засобів автоматизації» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочн. форм навч., спец.: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»; Держ. біотехнол. ун.-т; уклад.: І. М. Трунова., В. Г. Пазій. - Харків: [б. в.], 2024.- 15 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Технічна експертиза та експлуатація енергетичного обладнання і засобів автоматизації». Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Методичні вказівки призначені здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

УДК 372.862

Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник, д-р техн. наук, проф.

© Трунова І. М., Пазій В. Г., 2024

© ДБТУ, 2024

ФАЗУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Мета роботи: вивчити методику фазування силових трансформаторів.

ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

Фазування трансформаторів – це перевірка збігу фаз вторинних напруг у трансформаторів, які включаються на паралельну роботу. Фазування трансформаторів проводиться після капітального ремонту, при вводі в експлуатацію і в тому випадку, якщо здійснювались зміни в колах первинної комутації.

Паралельною роботою двох і більше трансформаторів називається така їх робота, при якій однойменні виводи як на первинній, так і на вторинній стороні сполучені між собою. З'єднання може здійснюватись на одних і тих же шинах, на підстанції або через мережу. Робота трансформаторів при з'єднанні однойменних виводів тільки однієї з обмоток не є паралельною.

Для паралельної роботи трансформаторів з'єднуються ті виводи, між якими немає напруги.

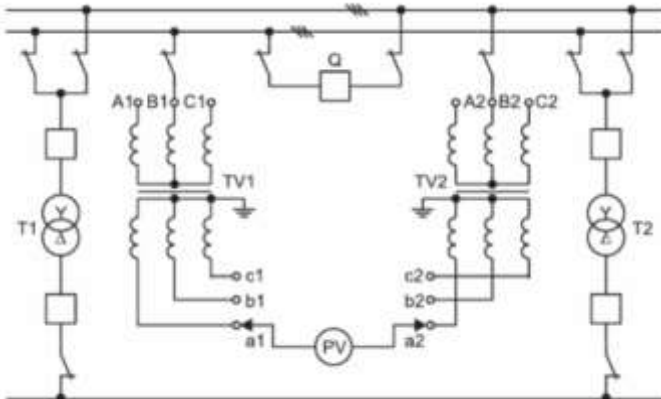


Рисунок 1

Нормальною паралельною роботою трансформаторів називається така робота, при якій між ними відсутні зрівняльні струми, навантаження між паралельно працюючими трансформаторами розподіляється пропорційно їхнім номінальним потужностям і струми навантаження трансформаторів збігаються по фазі.

Для нормальної паралельної роботи необхідно дотримання наступних умов:

- а) тотожності груп з'єднання обмоток,
- б) рівність в межах допусків коефіцієнтів трансформації лінійних напруг при холостому ході (припустима різниця між коефіцієнтами трансформації не більше $\pm 0,5\%$);
- в) рівність у межах допусків напруг короткого замикання (допустима різниця між напругами короткого замикання 10%);
- г) співвідношення потужностей паралельно працюючих трансформаторів не більше $3 : 1$.

При неоднакових коефіцієнтах трансформацій вторинні напруги трансформаторів не рівні між собою. В обмотках вже на холостому ходу будуть протікати зрівняльні струми, обумовлені різницею вторинних напруг трансформаторів:

$$I_3 = \frac{U_1 - U_2}{Z_{K1} + Z_{K2}}, \text{ А}, \quad (1)$$

де $U_1 - U_2$ - різниця вторинних напруг, В;

Z_{K1} - опір першого трансформатора, Ом;

Z_{K2} - опір другого трансформатора, Ом.

$$Z_K = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U_H}{I_H}, \text{ Ом}, \quad (2)$$

де U_K - напруга короткого замикання трансформатора, %;

U_H - номінальна напруга високої сторони, В;

I_H - номінальний струм високої сторони, А,

Так як опір трансформатора, що визначається за виразом (2), відносно малий, то невелика різниця напруг викликає великий зрівняльний струм.

При паралельній роботі трансформаторів з **різними значеннями напруг короткого замикання** навантаження між ними розподіляється прямо пропорційно їхнім номінальним потужностям і обернено пропорційно напругам короткого замикання. Трансформатори з меншими U_K приймають на себе відносно велике навантаження. Так як трансформатори меншої потужності, як правило, мають менше U_K , то вони будуть перевантажуватися, а трансформатори більшої потужності - недовантажуватися. В результаті чого трансформаторна потужність буде використовуватися нерационально.

При паралельному вмиканні трансформаторів з однаковими коефіцієнтами трансформації і U_K , але з **неоднаковими групами з'єднання обмоток** між ними буде циркулювати зрівняльний струм I_3

$$I_3 = \frac{\Delta U}{Z_{K1} + Z_{K2}}, \text{ А}, \quad (3)$$

де ΔU - напруга між однойменними затискачами трансформаторів, В.

Не рекомендується вмикати на паралельну роботу трансформатори з **відношенням потужностей більш ніж 3:1**. Це викликано тим, що навіть при однакових напругах короткого замикання активна і реактивна складові напруги короткого замикання в трансформаторах різних потужностей дуже сильно відрізняються між собою. У потужних трансформаторів реактивна складова в процентному відношенні більша, ніж у невеликих трансформаторах. У результаті чого при паралельній роботі трансформаторів виникають зрівняльні струми.

ПРОГРАМА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. **Оглянути випробувальний стенд**, схема якого приведена на рисунку 2. Пересвідчитись за накресленою на стенді схемою у відповідності груп з'єднання обмоток.

2. **Виміряти лінійні напруги** на стороні високої та низької напруги трансформаторів. Для цього ввімкнути лабораторний стіл і по вольтметру на 300 В ЛАТРОм виставити напругу 220 В. Паке́тним вимикачем на стенді ввімкнути напругу (засвічується сигнальна лампа), засвідчитися в неушкодженості запобіжників. Вольтметром на 300 В заміряти та записати лінійні напруги двох трансформаторів $U_{A1B1} = U_{A2B2}$ на стороні високої напруги. Вольтметром на 75 В заміряти та записати лінійну напругу U_{a1b1} на стороні низької напруги першого трансформатора. Вимкнути лабораторний стіл. Зробити зміни в схемі випробування, включити лабораторний стіл та виміряти лінійну напругу U_{a2b2} . Вимкнути лабораторний стіл.

Аналогічно виміряти лінійні напруги $U_{A1C1} = U_{A2C2}$, U_{a1c1} , U_{a2c2} ; $U_{C1B1} = U_{C2B2}$, U_{c1b1} , U_{c2b2} .

Занести дані вимірів в таблицю 1 протоколу випробувань.

Визначити коефіцієнти трансформації трансформаторів за виразом

$$K_{mp} = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} \quad (4)$$

Перевірити дотримання умови б) з переліку умов нормальної паралельної роботи (див. пояснення до роботи). Зробити висновок в протоколі випробувань.

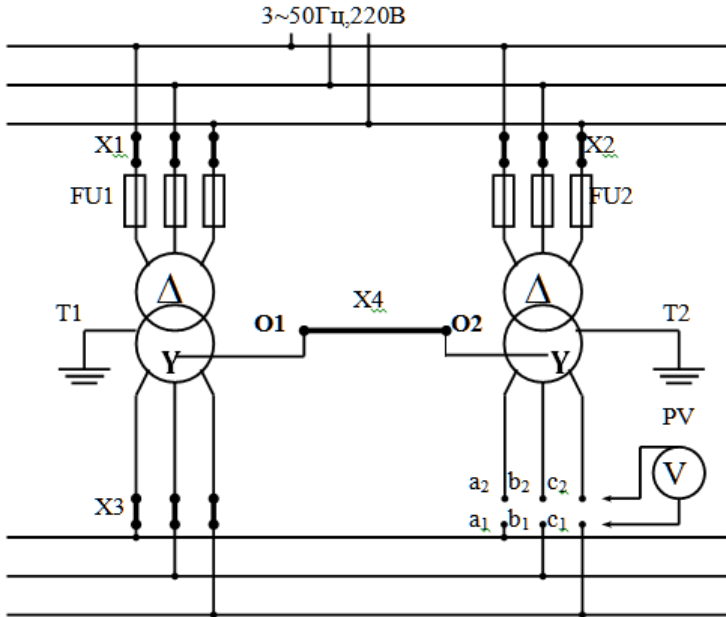


Рисунок 2

3. **Визначити напругу короткого замикання** кожного з трансформаторів.

Для цього ввімкнути лабораторний стіл і по вольтметру на 75 В **знижити напругу до нуля**. Вимкнути стіл.

Для першого та другого трансформатора по паспортним таблицям визначити номінальну потужність, перевіривши дотримання умови г) з переліку умов нормальної паралельної роботи (див. пояснення до роботи). Розрахувати номінальний струм на високій стороні за формулою

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H}, \text{ A} \quad (5)$$

де S_H - номінальна потужність трансформатора, В·А;

U_H - номінальна напруга високої сторони, В, $U_H = 220\text{В}$.

Потім низьку сторону першого трансформатора Т1 - клеми a_1 , b_1 , c_1 з'єднати провідниками в одну точку, на високій стороні в розрив одної з фаз ввімкнути амперметр для заміру номінального струму. До клем АВ підключити вольтметр. Ввімкнути лабораторний стіл і повільно збільшити напругу, **поки струм, виміряний амперметром, не стане рівним номінальному струмові трансформатора**. Записати значення напруги короткого замикання в таблицю 2. Вимкнути лабораторний стіл.

Для трансформатора Т2 провести аналогічні досліді.

Перевірити дотримання умови в) з переліку умов нормальної паралельної роботи (див. пояснення до роботи). Зробити висновок в протоколі випробувань.

4. Виконати фазування трансформаторів, працюючих із заземленою нейтраллю.

Для цього схему попереднього досліді розібрати, високу сторону трансформаторів приєднати до шин живлення, нейтралі 0_1 і 0_2 перемкнути провідником (X4).

Ввімкнути лабораторний стіл і ЛАТРоМ виставити напругу 220 В. Ввімкнути пакетний перемикач.

Виміряти напругу на низькій стороні між клемми наведеними в таблиці 3 протоколу випробувань.

Перевірити дотримання умови збігу фаз вторинних напруг у трансформаторів, які включаються на паралельну роботу.

5. Виконати фазування трансформаторів з ізольованою нейтраллю. Для цього зняти **перемичку між клеймами 0_1 і 0_2** . Встановлювати перемички і проводити виміри згідно таблиці 4 протоколу випробувань.

За результатами вимірів зробити висновки в таблиці 4 протоколу випробувань і вказати, які саме клеми потрібно перемикати для включення трансформаторів на паралельну роботу.

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ

Устрою _____
/зазначити тип і заводський номер/

Бригада в складі _____
за схемою рис. 1 провела такі випробування:

1. Вимір лінійних напруг на ВН та НН _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

При цьому використовувалась вимірювальна апаратура:

Назва	Система	Заводський номер	Номінальні величини	Клас точності	Примітки

Результати випробувань та дослідні характеристики

Таблиця 1 – Результати вимірів лінійних напруг на ВН та НН та розрахунку коефіцієнтів трансформації

Напряга	В	К _{тр}	Напряга	В	К _{тр}	Напряга	В	К _{тр}
$U_{A1B1} = U_{A2B2}$		-	$U_{A1C1} = U_{A2C2}$		-	$U_{C1B1} = U_{C2B2}$		-
U_{a1b1}			U_{a1c1}			U_{c1b1}		
U_{a2b2}			U_{a2c2}			U_{c2b2}		
ΔK_{mp}			ΔK_{mp}			ΔK_{mp}		

Таблиця 2 – Результати вимірів напруг короткого замикання

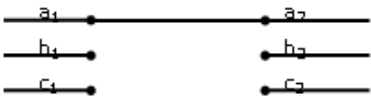

$U_{K1}, \text{В}$	$U_{K2}, \text{В}$	$\Delta U_K, \%$

Таблиця 3 – Результати фазування трансформаторів, працюючих із заземленою нейтраллю

U_{a1a2}		$U_{a1\epsilon2}$		$U_{\epsilon1a2}$	
$U_{\epsilon1\epsilon2}$		$U_{\epsilon1c2}$		U_{a1c2}	
U_{c1c2}		U_{c1a2}		$U_{c1\epsilon2}$	

Таблиця 4. – Результати фазування трансформаторів, працюючих з ізолюваною нейтраллю

Перемичка встановлена між виводами	Результати вимірів, В	Оцінка результатів
	$U_{a1b2} =$ $U_{a1c2} =$ $U_{b1b2} =$ $U_{b1c2} =$	
	$U_{a1b2} =$ $U_{a1c2} =$ $U_{c1b2} =$ $U_{c1c2} =$	

	$U_{b1b2} =$ $U_{b1c2} =$ $U_{c1b2} =$ $U_{c1c2} =$	
	$U_{a1a2} =$ $U_{a1c2} =$ $U_{b1a2} =$ $U_{c1c2} =$	

Висновки _____
 (чи відповідають трансформатори умовами вмикання на паралельну
 роботу чи ні)

Дата

Підписи:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається фазуванням силових трансформаторів?
2. Які умови нормальної паралельної роботи двох трансформаторів?
3. Як виміряти напругу короткого замикання силового трансформатора?
4. Як визначити коефіцієнт трансформації силового трансформатора?
5. Що відбуватиметься, якщо різниця між двома коефіцієнтами силових трансформаторів, що включені на паралельну роботу, буде більша за $\pm 0,5\%$?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Харків: Форт, 2017. – 376 с.
2. Правила улаштування електроустановок. – Харків: Форт, 2017. – 760 с.
3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00-1.21-98.–К.: Основа, 1998. – 380 с.
4. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила: ГКД 34.20.507-2003 (редакція 2019 року) – К.: ГРІФРЕ, 2003. - 688 с.
5. Норми випробування електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2020.– К.: ПАТ НЕК «Укренерго», 2020. – 243 с.
6. Наказ Міністерства енергетики України №77 від 30.01.2018 року «Про затвердження Правил виконання оперативних перемикачів в електроустановках». [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0211-18#Text> (дата звернення 29.10.2023 р.)

Навчальне видання

ФАЗУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи

Автори-укладачі:
ТРУНОВА Ірина Михайлівна,
ПАЗІЙ Володимир Григорович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.
Ум. друк. арк. 0,87.

Наклад ___пр.
Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44