

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОПЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

С. О. КВІТКА, С. В. ГАЛЬКО, О. В. КОВАЛЬОВ

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ: машини постійного струму і трансформатори

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мелітополь , 2019

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

С. О. КВІТКА, С. В. ГАЛЬКО, О. В. КОВАЛЬОВ

**ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ:
машини постійного струму і трансформатори**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

*Рекомендовано методичної комісією енергетичного факультету
Таврійського державного агротехнологічного університету
як навчальний посібник для підготовки фахівців зі спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
у вищих навчальних закладах II-IV рівнів акредитації*

УДК 631.371:621.313 (076.5)

К 32

*Гриф надано методичною комісією енергетичного факультету
Таврійського державного агротехнологічного університету
(протокол №8 від «24» квітня 2019 р.)*

Укладачі: **Квітка С.О.**, доцент Таврійського ДАТУ,
Галько С.В., доцент Таврійського ДАТУ,
Ковальов О.В., старший викладач Таврійського ДАТУ

Рецензенти:

Тиховод С.М., д.т.н., доцент, завідувач кафедри теоретичної і загальної електротехніки Запорізького національного технічного університету

Назаренко І.П., д.т.н., професор, завідувач кафедри електротехнологій і теплових процесів Таврійського державного агротехнологічного університету

Квітка С.О.

К 32 Електричні машини: машини постійного струму і трансформатори. Начальний посібник для виконання лабораторних робіт/ С.О. Квітка, С.В. Галько, О.В. Ковальов. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. – 167 с.

ISBN 978-617-7218-72-1

Наведено теоретичний матеріал і лабораторні роботи з дослідження статичних та обертових електричних машин: силових та спеціальних трансформаторів, генераторів та двигунів постійного струму незалежного та паралельного збудження. У додатках наведено технічні дані сухих силових трансформаторів з литою ізоляцією та електродвигунів постійного струму.

Навчальний посібник призначений для студентів зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» вищих навчальних закладів II-IV рівнів акредитації. Може бути корисним фахівцям, які працюють у галузі проектування, ремонту та експлуатації електричних машин.

ISBN 978-617-7218-72-1

© С.О. Квітка,
© С.В. Галько,
© О.В. Ковальов,
© Таврійський державний
агротехнологічний університет, 2019

ЗМІСТ

Передмова	4
1 Вивчення будови машин постійного струму з вимірюванням опорів обмоток якоря та збудження	6
2 Дослідження ГПС незалежного збудження в режимі холостого ходу	17
3 Дослідження генератора постійного струму незалежного збудження в режимі навантаження	21
4 Дослідження генератора постійного струму паралельного збудження	26
5 Дослідження ГПС змішаного збудження	31
6 Дослідження ДПС паралельного збудження	37
7 Дослідження двигуна постійного струму змішаного збудження	45
8 Вивчення будови силових трансформаторів з вимірюванням опорів первинної та вторинної обмоток	53
9 Дослідне визначення коефіцієнту трансформації трифазного силового трансформатора	71
10 Дослідне визначення групи з'єднання обмоток трифазного силового трансформатора	77
11 Дослід холостого ходу трифазного силового трансформатора	86
12 Дослід короткого замикання трифазного силового трансформатора	93
13 Дослід навантаження трифазного силового трансформатора	101
14 Дослідження трифазних трансформаторів при паралельній роботі	108
15 Дослідження трифазного групового трансформатора	121
ДОДАТОК А	131
ДОДАТОК Б	132
ДОДАТОК В	133
ДОДАТОК Г	134
ДОДАТОК Д	135
ДОДАТОК Є	136
ДОДАТОК Е	137
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	167

ПЕРЕДМОВА

Електричні машини – це основний елемент електроенергетичного устаткування і обладнання. Вони використовуються для виробництва електричної енергії (генератори), її перетворення з метою передачі і подальшого застосування (трансформатори) та приведення в дію робочих машин і механізмів (двигуни).

Електрична машина – невід'ємний елемент будь-якої енергетичної установки, тому для спеціалістів, що працюють в сфері виробництва або експлуатації електричних машин, необхідні знання не тільки теорії і розуміння фізичної сутності електромагнітних, механічних та теплових процесів, що протікають в електричних машинах. Не менш важливим є вміння розбиратися в різноманітних конструктивних формах та виконаннях електричних машин, навички розрахунку необхідної потужності і вибору типорозміру електричної машини з урахуванням її технічних даних і конструктивного виконання за ступенем захисту та способом охолодження, виду монтажу, а також кліматичних умов експлуатації.

Навчальна дисципліна «Електричні машини» відіграє важливу роль у загальній програмі підготовки фахівців зі спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» і передбачає вивчення призначення та будови машин постійного струму загальнопромислового виконання; основ теорії машин постійного струму, поняття і оцінювання комутації; призначення, будову і принцип дії силових трансформаторів, основи теорії трансформаторів, енергетику силових трансформаторів; методики проведення досліджень і випробувань силових трансформаторів, експлуатаційні якості трансформаторів; особливості будови, принцип дії і галузі використання спеціальних видів трансформаторів.

У даному посібнику наведено теоретичний і методичний матеріал з виконання лабораторних робіт з дослідження силових та спеціальних тран-

сформаторів, генераторів та двигунів постійного струму незалежного та паралельного збудження.

Основними навчальними цілями і задачами лабораторних робіт є:

- Безпосереднє практичне вивчення конструкції, принципу дії та експлуатаційних властивостей електричних машин загального і спеціального призначення, а також знайомство з обладнанням, вимірювальними приладами і апаратурою, що використовується в лабораторії.

- Поглиблення і закріплення придбаних при вивченні курсу знань шляхом аналітичної і експериментальної перевірки основних положень теорії і практики дисципліни Електричні машини.

- Практичне знайомство із сучасними методами та засобами випробування трансформаторів і обертових електричних машин.

- Освоєння на практиці існуючих методів розрахункового та дослідного визначення параметрів електричних машин, а також одержання дослідним шляхом статичних характеристик електричних машин, що визначають їх властивості в сталому режимі роботи.

- Придбання практичних навичок самостійної дослідницької роботи і освоєння методів обробки і аналізу експериментальних даних.

Мета та завдання окремих лабораторних робіт курсу визначені в кожній конкретній роботі. Найважливішою умовою ефективності лабораторних робіт за курсом є обов'язкова самопідготовка студентів до кожної роботи і ясне розуміння її цілі, змісту і методики виконання.

Автори мають надію, що наведений матеріал допоможе студентам краще засвоїти курс навчальної дисципліни «Електричні машини», набути практичних навичок з дослідження електричних машин.

1 ВИВЧЕННЯ БУДОВИ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ВИМІРЮВАННЯМ ОМІЧНОГО ОПОРУ ОБМОТОК ЯКОРЯ І ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: засвоєння будови та призначення індуктора, якоря, колектора та щіткового апарата, типів та будови обмоток якоря, ознайомлення з матеріалами, які використовуються для виготовлення машин постійного струму, засвоєння методики виміру омичного опору обмоток.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Детально вивчити будову машини постійного струму загального призначення, у тому числі:

- Будову та призначення нерухомої частини статора або індуктора [2 с. 178 – 192, 6 с. 402 – 404, 11 с. 17 – 18];
- Будову обертової частини або якоря та колектора [2 с. 178 – 192, 3 с. 90 – 96];
- Будову та призначення щіткового апарата [2 с. 178 – 192, 3 с. 90 – 96];
- Типи та будову обмоток якоря МПС [2 с. 178 – 192, 3 с. 90 – 96, 5 с. 402 – 407];
- Марки та характеристики електричних щіток [12 с. 98-99];
- Особливості та будову головних та додаткових полюсів та їх обмоток [2 с. 178 – 192, 3 с. 90 – 96, 5 с. 402 – 407];

1.2 Виконати ескізи конструктивних схем:

- МПС в цілому та у двох проекціях [2 с. 178 – 192, 3 с. 90 – 96, 5 с. 402 – 407];
- Колектора МПС [2 с. 178 – 192, 3 с. 90 – 96, 11 с. 19];
- Головного та додаткового полюсів МПС з обмотками [2 с. 178 – 192, 3 с. 90 – 96, 5 с. 402 – 407].

2 Програма роботи

2.1 Виміряти омичний опір обмоток МПС.

2.2 Оформити звіт по лабораторній роботі згідно вимог.

3 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

На статорі машини постійного струму розташовані головні полюси з котушками обмотки збудження та додаткові полюси з відповідними котушками. Полюси закріплюються болтами до сталюого корпусу, який є частиною магнітного кола машини. Головні полюси машини виконують шихтованими (із сталевих штампованих листів), а додаткові – масивними або також шихтованими.

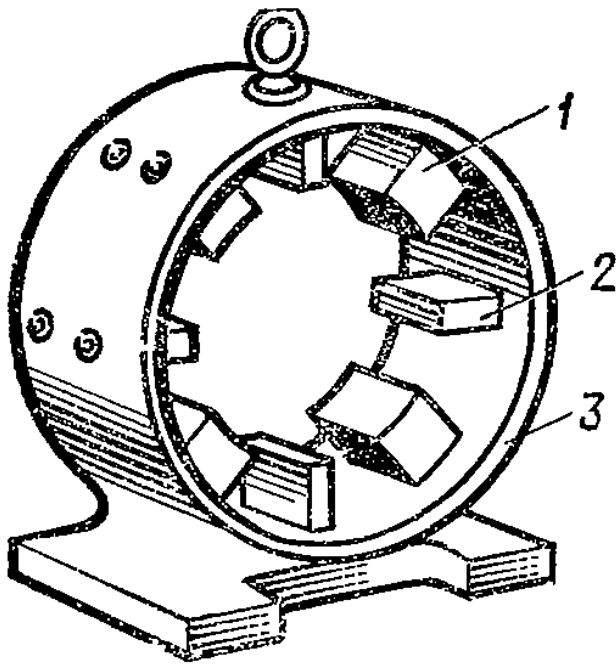
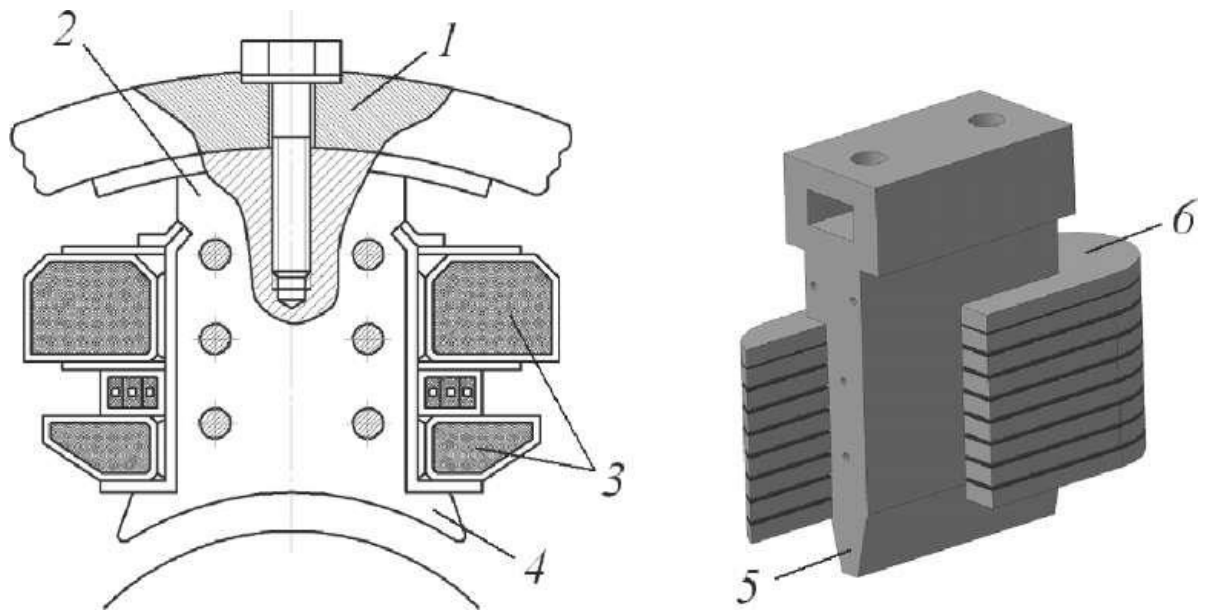


Рисунок 1 – Нерухома частина машини постійного струму (індуктор)

По станині та полюсам замикається постійний магнітний потік, тому виконання полюсів масивними або з листів визначається в основному зручністю технології. Стальні листи пресують під тиском та скріплюють заклепками і притискними щітками, що встановлені по краям кожного полюсу. Шихтованими повинні бути тільки наконечники головних полюсів тому, що при обертанні зубчастого якоря через пульсації магнітного потоку у повітряному зазорі в них виникають вихрові струми та втрати потужності. Однак за умовами спрощення технології виготовлення, зазвичай виконують шихтованим весь полюс.

Осердя якоря (рисунок 3) набирають із штампованих пластин холоднокатаної електротехнічної сталі марок 2013, 2211 та 2312 товщиною 0,5 мм. Ці пластини попередньо покривають ізоляційним лаком, а потім набирають на валу, пресують двома шайбами, одна з яких упирається в уступ валу.



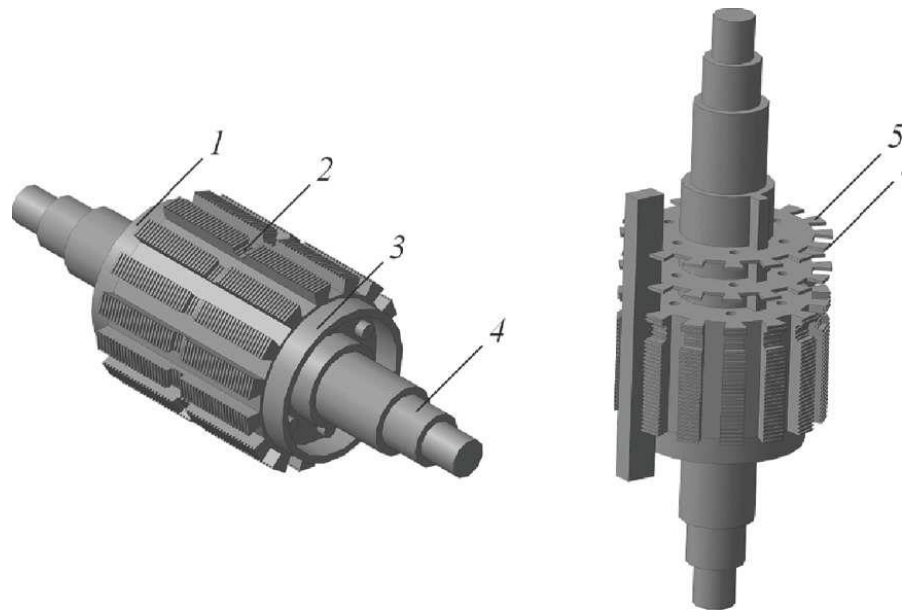
a)

б)

1 – станина; 2 – осердя основного (головного) полюса; 3 – обмотка збудження; 4 – полюсний наконечник; 5 – осердя додаткового полюса; 6 – обмотка додаткового полюса

Рисунок 2 – Будова основного (*a*) та додаткового (*б*) полюсів

Колектор (рисунок 4, 5) виконується у вигляді циліндра, який зібраний з клиноподібних пластин твердотягнутої міді. Між пластинами розташовують ізоляційні прокладки із слюди або міканіту. Вузькі краї колекторних пластин мають форму хвоста ластівки. Після збирання колектора їх затискають між корпусом та натискним фланцем та ізолюють манжетами з міканіту. Секції обмотки якоря впаюють в прорізи, що розташовані у виступаючій частині колекторних пластин.

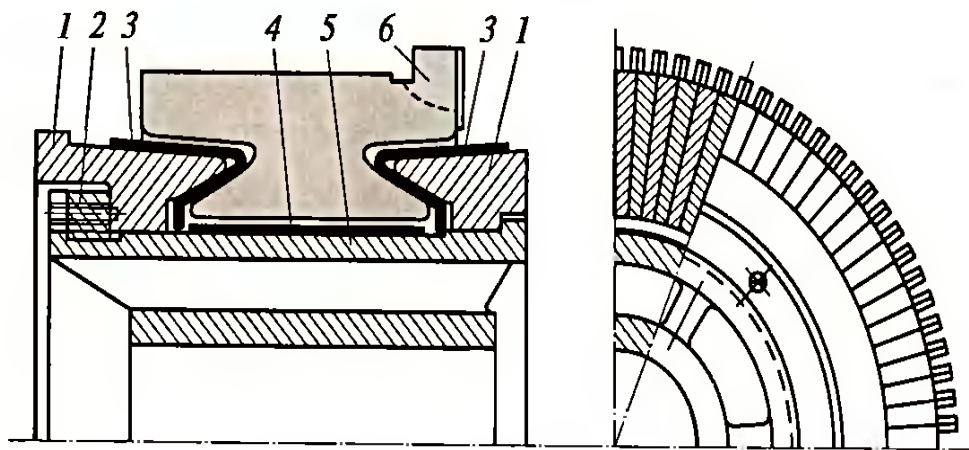


1, 3 – натискні шайби (для утримання обмотки); 2 – витки для накладання бандажа; 4 – місце для пресування колектора; 5 – ізоляційна плівка; 6 – сталевий лист.

Рисунок 3 – Будова осердя якоря (а)
та його збирання (б)

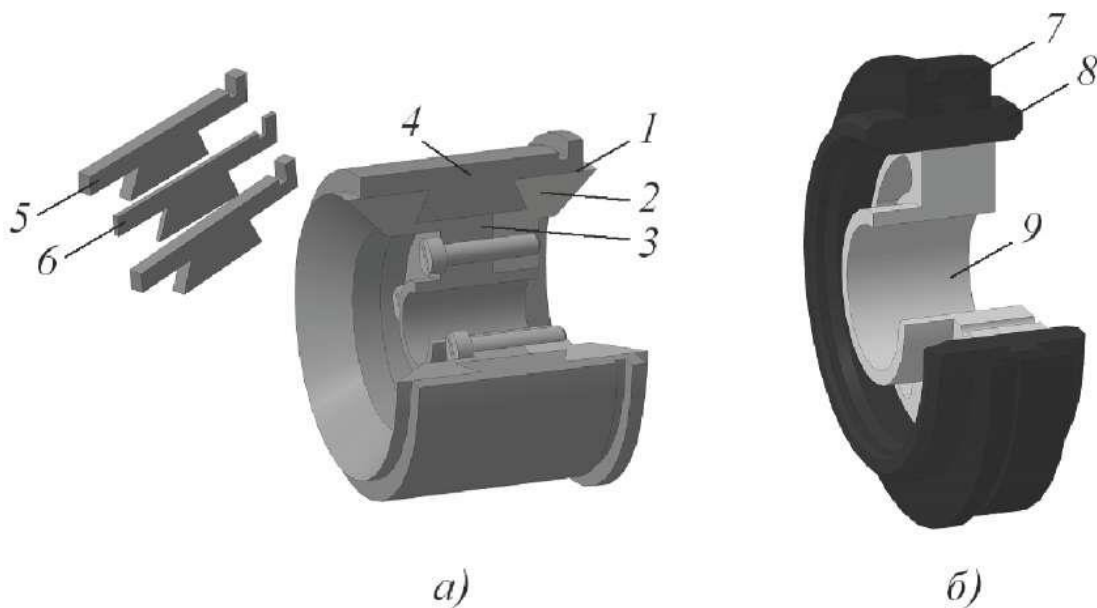
В машинах малої та середньої потужності широко застосовуються колектори, у яких мідні пластини та міканітові прокладки запресовуються в пластмасу. Поверхню колектора після збирання обточують на токарному верстаті та ретельно шліфують. Щоб міканітові прокладки при спрацьовуванні колектора не виступали над пластинами та не викликали вібрацію щіток, їх фрезерують на 0,8...1,5 мм нижче поверхні колектора.

По циліндричній частині колектора ковзають щітки, що установлені в щіткотримачі (рисунок 6). Щітки є прямокутними брусками (рисунок 7), що виготовлені шляхом пресування та термічної обробки з матеріалів на основі графіту. Вони призначені для з'єднання колектора з зовнішньою мережею і притискаються до поверхні колектора пружинами.



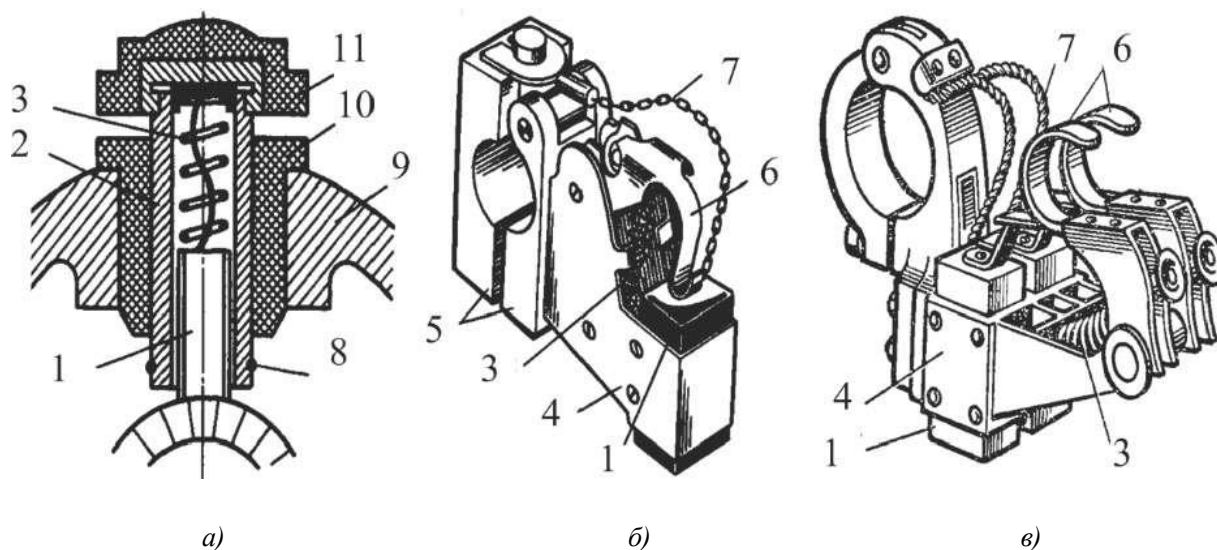
1 – конусні кільця; 2 – кільцева гайка; 3 – міканітові манжети; 4 – ізоляційний циліндр з міканіту; 5 – втулка; 6 – колекторні пластини.

Рисунок 4 – Колектор з конусними кільцями (шайбами)



1 – ізоляційні манжети; 2 – натискний фланець; 3 – корпус; 4 – колекторна пластина; 5 – виступаюча частина колекторної пластини; 6 – ізоляційна прокладка; 7 – колекторна пластина з ізоляційними прокладками; 8 – пластмаса; 9 – втулка

Рисунок 5 - Будова колектора машини постійного струму з металевим (а) і пластмасовим (б) корпусом

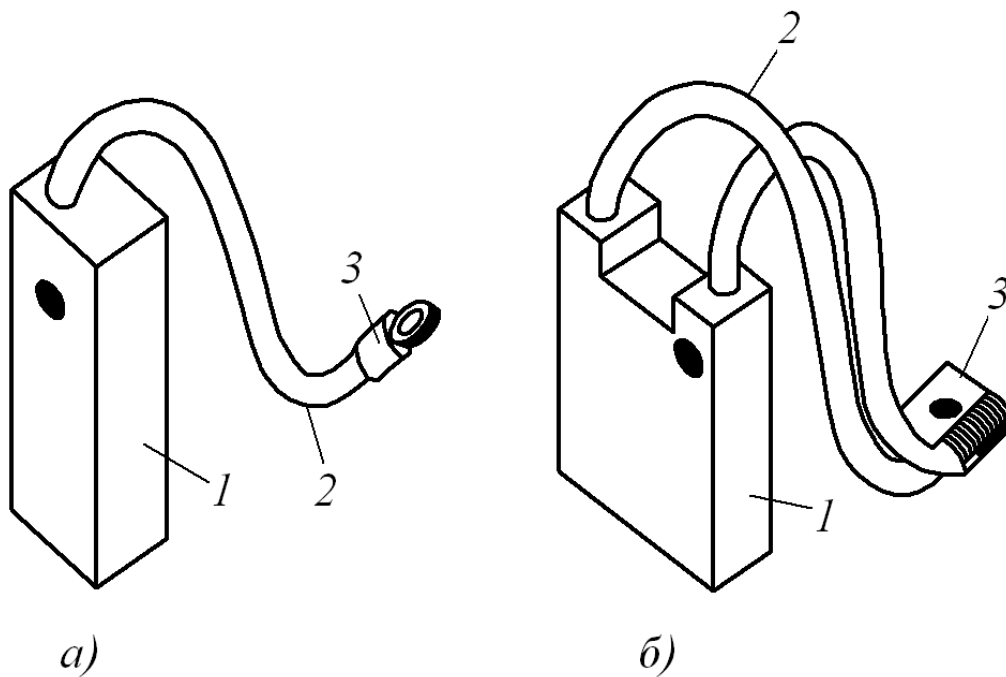


1 - щітка; 2, 4 - обойма; 3 - пружина; 5 - затискачі для кріплення до щіткового пальця; 6 - натискні пластини; 7 - щітковий канатик; 8 - затискач для вивідного провідника; 9 - підшипниковий щит; 10 - ізоляційна втулка; 11 - ковпак

Рисунок 6 - Будова щіткоутримувачів малої (а), середньої (б) і великої (в) потужності

При обертанні якоря щітки зберігають незмінне положення відносно полюсів машини. Щіткоутримувачі закріплюють на щіткових пальцях та ізолюють від них. Щіткові пальці, у свою чергу, кріплять або до підшипникового щита, або до траверси, яка дозволяє при необхідності повертати всю систему щіток відносно полюсів машини. В машинах малої потужності частіше застосовують трубчасті щіткоутримувачі, що встановлюють безпосередньо у підшипниковий щит.

В залежності від складу, способу виготовлення та фізичних властивостей всі щітки поділяються на шість основних груп: вугільно-графітні, графітні, електрографітовані, мідно-графітні, бронзо-графітні та срібно-графітні. Технічні дані щіток електричних машин та рекомендації по їх застосуванню наведені в Додатку А.



1 – щітка; 2 – щітковий канатик; 3 – кабельний наконечник

Рисунок 7 – Будова щіток малої (а)
і великої (б) потужності

Обмотка якоря є одним із найважливіших елементів машини постійного струму. Для забезпечення надійної роботи машини обмотка якоря повинна відповідати наступним вимогам:

- обмотка повинна бути розрахована на задані величини напруги і струму навантаження, що відповідає номінальній потужності, і мати необхідну електричну, механічну і термічну стійкість, які забезпечують достатньо тривалий термін роботи машини;

- конструкція обмотки повинна забезпечувати задовільні умови проходження комутаційних процесів на колекторі;

- витрати матеріалів при виготовленні обмотки повинні бути мінімальними;

- технологія виготовлення обмотки повинна бути простою.

В сучасних машинах використовують обмотку барабанного типу, в якій провідники обмотки укладають в двох шарах в пазах, розташованих на зовнішній поверхні якоря (рисунок 8).

Для того, щоб ЕРС індуковані в сторонах витка додавались, сторони його слід розташовувати під полюсами протилежної полярності. Тільки в цьому випадку в кожному витку індукується ЕРС в два рази більша, ніж в одному провіднику.

Обмотки барабанного типу розділяють на такі основні групи: петльові (паралельні), хвильові (послідовні) і комбіновані (паралельно-послідовні). Основний елемент обмотки якоря – секція. Секцією називається частина обмотки якоря, що складається з декількох витків і знаходиться між двома колекторними пластинами, розташованими поряд за схемою обмотки. Кожна секція має дві активні сторони, укладені в пази якоря, з'єднані між собою лобовими з'єднаннями. Сторони секцій розташовують на відстані полюсної поділки – відстані між серединами полюсів по окружності якоря.

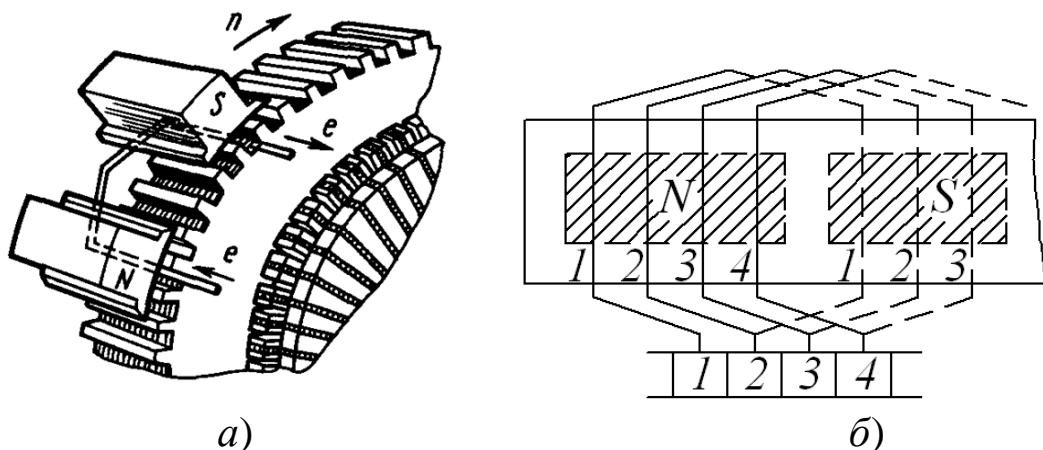
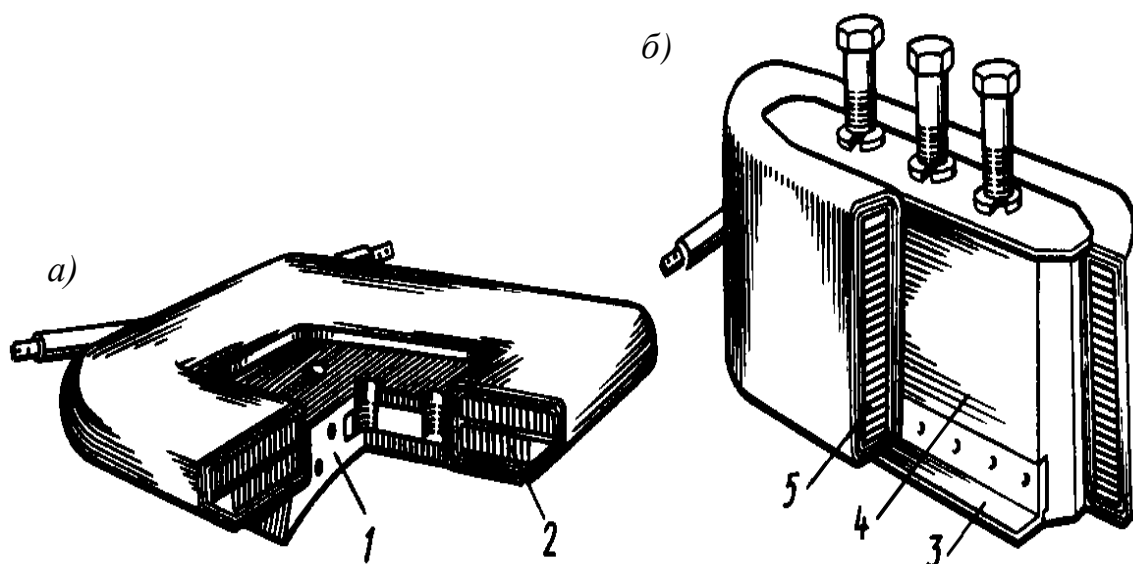


Рисунок 8 – Схема розташування провідників обмотки (а) і розгорнута схема двошарової обмотки (б)

Котушки головних та додаткових полюсів (рисунок 9) виготовляються з ізолюваного мідного проводу круглого або прямокутного перетину. Котушки машин малої потужності виконують з тонкого проводу; послідовні котушки обмоток збудження та додаткових полюсів – з смужкової міді.

Число головних полюсів завжди парне, причому північні та південні полюси чергуються, що досягається відповідним

з'єднанням котушок збудження окремих полюсів. Котушки всіх полюсів з'єднуються зазвичай послідовно. Потужність, яка витрачається на збудження, складає приблизно 0,5-3 % від номінальної потужності машини. Перша цифра відноситься до машин потужністю в тисячі кіловат, а друга – до машин потужністю близько 5 кВт.



1 – головний полюс; 2 – котушка обмотки збудження; 3 – опорний косинець; 4 – додатковий полюс; 5 – котушка обмотки додаткових полюсів

Рисунок 9 – Будова котушок головних (а) та додаткових (б) полюсів

Вимірювання омичного опору обмоток МПС здійснюється за допомогою вимірювального мосту, омметра, мультиметра або тестера. При вимірюванні опору обмоток слід виміряти температуру обмотки, прийнявши її рівною температурі навколишнього середовища, якщо до досліду машина постійного струму була відключена від мережі. За допомогою вимірювального приладу проводиться по 2-3 заміри опору кожної з обмоток і визначається середнє значення опору обмоток. Визначаються також середні значення опорів обмоток машини постійного струму при температурі навколишнього середовища (20°C) і розрахунковій темпе-

ратурі (75°C). Результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення омичного опору обмоток машини постійного струму

$$\Theta_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } ^\circ\text{C}$$

<i>Я1-Я2</i>	<i>Ш1-Ш2</i>	<i>С1-С2</i>	$R_{Я1-Я2} (75^\circ\text{C}),$ <i>Ом</i>	$R_{Ш1-Ш2} (75^\circ\text{C}),$ <i>Ом</i>	$R_{С1-С2} (75^\circ\text{C}),$ <i>Ом</i>
$R_{Я1-Я2} =$	$R_{Ш1-Ш2} =$	$R_{С1-С2} =$	$R_{Я1-Я2} (75^\circ\text{C}) =$	$R_{Ш1-Ш2} (75^\circ\text{C}) =$	$R_{С1-С2} (75^\circ\text{C}) =$
$R_{Я1-Я2} =$	$R_{Ш1-Ш2} =$	$R_{С1-С2} =$			
$R_{Я1-Я2} =$	$R_{Ш1-Ш2} =$	$R_{С1-С2} =$			

В таблиці 1 позначено: *Я1-Я2* - обмотка якоря МПС; *Ш1-Ш2* - обмотка збудження МПС; *С1-С1* - серійна обмотка МПС; $R_{(75^\circ\text{C})}$ – опір обмотки при розрахунковій температурі $\Theta_p = 75^\circ\text{C}$ для класу нагрівостійкості ізоляції «В»

$$R_{(75^\circ)} = R_{(\Theta_0)} \frac{235 + 75}{235 + \Theta_0}. \quad (1)$$

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Відомості про будову та призначення:

- нерухомої частини: статора (індуктора);
- обертової частини (якоря);
- колектора;
- щіткового апарата;
- обмоток якоря МПС.

4.2 Відомості про марки та характеристики електричних щіток.

4.3 Відомості про особливості та будову головних та додаткових полюсів та їх обмоток.

4.4 Ескізи конструктивних схем:

- МПС в цілому та в двох проєкціях;
- колектора МПС;
- головного та додаткового полюсів МПС з обмотками.

4.5 Заповнену таблицю 1 із значенням експериментальних та розрахункових величин.

4.6 Аналіз отриманих результатів.

Контрольні питання

1 Наведіть конструктивну схему МПС в двох проекціях. Назвіть елементи конструкції і матеріал їх виготовлення.

2 Наведіть конструктивну схему індуктора МПС в двох проекціях з урахуванням геометричної форми полюсів. Назвіть елементи конструкцій і матеріал їх виготовлення.

3 Наведіть конструктивну схему якоря МПС в зборі. Назвіть елементи конструкції якоря МПС і матеріал їх виготовлення.

4 Назвіть, з яких конструктивних елементів складається щітковий апарат МПС. Призначення щіткового апарату МПС.

5 Назвіть типи обмоток якоря МПС і вимоги до них. Наведіть рисунки двох секцій петльової і хвильової обмоток якоря з позначенням кроків обмотки.

6 Як визначається перший крок обмотки якоря?

7 Будова обмотки якоря МПС. Основний елемент обмотки. Що є обмотка якоря в цілому? Поняття паралельної гілки обмотки якоря. Матеріал виготовлення обмоток.

8 Поясніть принцип роботи спрощеної МПС в режимі генератора.

9 Поясніть принцип роботи спрощеної МПС в режимі двигуна.

10 У чому полягає принцип або властивість оберненості МПС?

11 Що називається омичним опором обмотки машини постійного струму?

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ В РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

Мета роботи: придбання практичних навичок збирання електричної схеми включення ГПС незалежного збудження з приводним двигуном, а також проведення випробувань ГПС незалежного збудження для отримання характеристик і параметрів, що визначають його основні властивості при роботі в режимі холостого ходу.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій літературі [1. с. 63 – 84, 3. с. 90 – 96, 5. с. 402 – 405, 9. с. 17 - 21] питання, що стосуються будови і принципу роботи ГПС незалежного збудження, а також схем їх включення, статичних характеристик що визначають властивості ГПС незалежного збудження в сталому режимі роботи.

1.2 Ознайомитися з методикою отримання статичних характеристик ГПС незалежного збудження.

1.3 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі для запису, обробки дослідних даних і побудови характеристик генераторів.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем, обладнанням та приладами стенда для випробувань. Записати паспортні дані генератора та приводного двигуна. Визначити номінальний струм ГПС.

2.2 Зібрати електричну схему для випробування ГПС незалежного збудження з приводним двигуном.

2.3 Зняти експериментальні дані для побудови характеристики холостого ходу (х.х.х.) ГПС.

2.4 Побудувати характеристики ГПС за дослідним даними. Провести їх аналіз, пояснити їх вигляд та оцінити властивості ГПС незалежного збудження.

2.5 Оформити звіт по лабораторній роботі згідно вимог.

3 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

Електрична схема випробування ГПС незалежного збудження наведена на рисунку 1. Необхідно зібрати схему для випробування ГПС.

3.1 Методика отримання характеристики холостого ходу ГПС

Характеристикою холостого ходу ГПС називається залежність

$$U_a = f(I_{зб}) \text{ при } I = I_a = 0 \text{ і } n = n_n = const,$$

де U_a – напруга на затискачах обмотки якоря генератора, В;

I_a – струм якоря, А;

$I_{зб}$ – струм збудження, А.

Дослід проводиться за схемою рисунку 1. ГПС М1 за допомогою первинного двигуна М2 приводиться в обертання з номінальною швидкістю, яка протягом досліду підтримується незмінною.

Потенціометром (повзунковим реостатом) $R_{зб}$ встановлюється значення струму збудження $I_{зб}=0$ і вимірюється напруга від потоку залишкового магнетизму $U_{зал}$. Потім за допомогою потенціометра $R_{зб}$ слід поступово збільшувати струм збудження від $I_{зб}=0$ до значення струму $I_{зб.макс}$, при якому напруга на затискачах генератора буде (1,2...1,3) $U_{ном}$, При цьому отримуємо висхідну гілку характеристики холостого ходу. Спадна гілка характеристики знімається шляхом зменшення струму збудження від значення $I_{зб.макс}$ до $I_{зб}=0$. Для побудови характеристики холостого ходу достатньо зняти 8-10 точок на кожну гілку характеристики. Показання приладів записуються до таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні дані досліду холостого ходу

Висхідна гілка	$I_{зб}, \text{ А}$							
	$U_a, \text{ В}$							
Спадна гілка	$I_{зб}, \text{ А}$							
	$U_a, \text{ В}$							

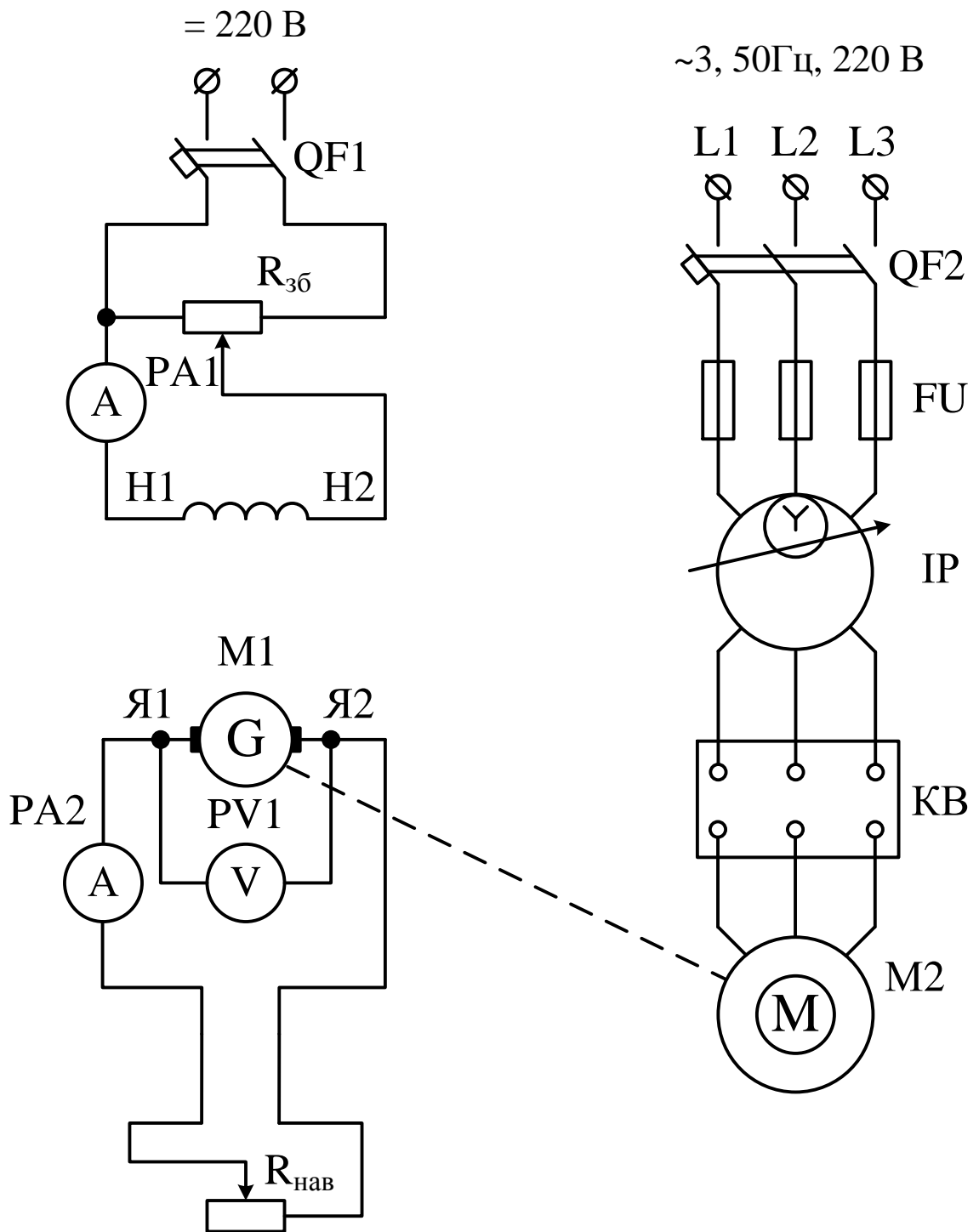


Рисунок 1 – Схема дослідження генератора постійного струму незалежного збудження.

3.2 Обробка дослідних даних

За даними таблиці 1 необхідно побудувати х.х.х. ГПС незалежного збудження, за якими визначається $U_{зал.}$ при $I_{зб}=0$.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему випробування ГПС незалежного збудження.

4.2 Данні дослідів зведені до таблиці 1.

4.3 Побудовані в масштабі характеристика холостого ходу генератора постійного струму

4.4 Привести значення $U_{зал.}$

4.5 Технічні характеристики ГПС та приладів, що використовувалися в досліді.

4.6 Аналіз отриманих результатів з зазначенням основних властивостей ГПС незалежного збудження в режимі холостого ходу.

Контрольні питання

1 Назвіть основні елементи конструкції ГПС.

2 Що називається індуктором ГПС? Призначення індуктора.

3 Що називається якорем ГПС? Призначення якоря.

4 Поясніть принцип дії ГПС.

5 Поясніть, як розрізняють ГПС за способом збудження?

6 Наведіть принципову електричну схему ГПС незалежного збудження.

7 Наведіть і поясніть характеристику холостого ходу ГПС.

8 Поясніть причину виникнення залишкової ЕРС.

9 Назвіть приблизну величину залишкової ЕРС в ГПС незалежного збудження у відсотках від номінальної ЕРС.

10 Як позначаються на електричних схемах виводи обмотки якоря ГПС незалежного збудження?

11 Як позначаються на електричних схемах виводи обмотки збудження ГПС незалежного збудження?

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ В РЕЖИМІ НАВАНТАЖЕННЯ

Мета роботи: придбання практичних навичок збирання електричної схеми включення ГПС незалежного збудження з приводним двигуном, а також проведення випробувань ГПС незалежного збудження для отримання характеристик і параметрів, що визначають його основні властивості в режимі навантаження.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій літературі [1. с. 63 – 84, 3. с. 90 – 96, 5. с. 402 – 405, 9. с. 17 - 21] питання, що стосуються будови і принципу роботи ГПС незалежного збудження, а також схем їх включення, статичних характеристик що визначають властивості ГПС незалежного збудження в сталому режимі роботи.

1.2 Ознайомитися з методикою отримання статичних характеристик ГПС незалежного збудження.

1.3 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі для запису, обробки дослідних даних і побудови характеристик генераторів.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем, обладнанням та приладами стенда для випробувань. Записати паспортні дані генератора та приводного двигуна. Визначити номінальний струм ГПС.

2.2 Зібрати електричну схему для випробування ГПС незалежного збудження з приводним двигуном.

2.3 Зняти експериментальні дані для побудови зовнішньої характеристики ГПС.

2.4 Зняти експериментальні дані для побудови регульованої характеристики ГПС.

2.5 Побудувати характеристики ГПС за дослідним даними. Провести їх аналіз, пояснити їх вигляд та оцінити властивості ГПС незалежного збудження в режимі навантаження.

2.6 Оформити звіт по лабораторній роботі згідно вимог.

3 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

Електрична схема випробування ГПС незалежного збудження наведена на рисунку 1. Необхідно зібрати схему для випробування ГПС.

3.1 Методика отримання зовнішньої характеристики ГПС

Зовнішньою характеристикою ГПС незалежного збудження називається графічна залежність

$$U = f(I) \text{ при } I_{зб} = const \text{ та } n = n_{ном} = const, \quad (1)$$

де I – струм навантаження, А.

Зовнішня характеристика отримується за схемою рисунку 1 у наступній послідовності. Автоматичним вимикачем QF2 подається живлення на обмотку статора первинного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором М2. Потім вмикається автоматичний вимикач QF1 і отримує живлення обмотка збудження Н1-Н2 від незалежного джерела постійного струму. Після цього движок потенціометра встановлюється в середнє положення і по обмотці збудження генератора потече деякий струм збудження.

Далі змінюючи струм навантаження за допомогою реостата $R_{нав}$ і струм збудження, визначається номінальне значення струму збудження $I_{зб} = I_{зб.ном.}$, що забезпечується при номінальному струмі навантаження $I = I_{ном}$ і напрузі на затискачах генератора, що є рівною номінальній $U = U_{ном.}$ Далі підтримуючи $I_{зб} = const$ збільшують струм навантаження до $I = 1,2 I_{ном}$ і вимірюють величину напруги U . Після цього генератор поступово розвантажують до холостого ходу ($I = 0$). При цьому обов'язково контролюється напруга U на виході генератора. Всього знімається 8-10 точок. Дані вимірів заносяться до таблиці 1.

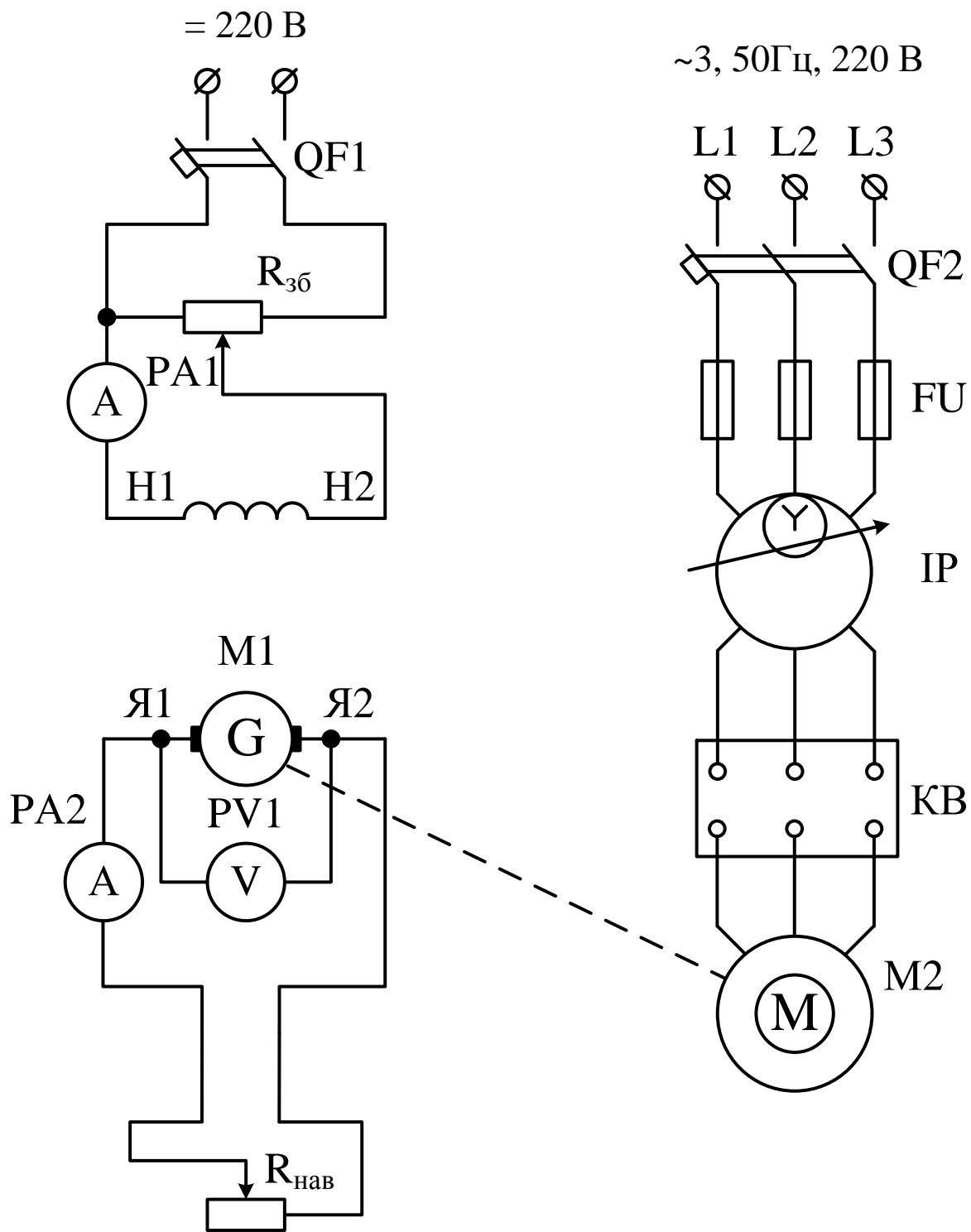


Рисунок 1 – Схема дослідження генератора постійного струму незалежного збудження

Таблиця 1 – Експериментальні дані для отримання зовнішньої характеристики ГПС

$$I_{зб.} = I_{зб.ном.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ А}$$

<i>U</i>	В									
<i>I</i>	А									

3.2 Методика отримання регульовальної характеристики ГПС
 Регульовальною характеристикою ГПС називається залежність

$$I_{зб.} = f(I) \text{ при } U = U_{ном.} = const \text{ і } n = n_{ном.} = const. \quad (2)$$

Дослід проводиться за схемою рисунку 1 в наступній послідовності. В режимі холостого ходу ($I=0$) на затискачах збудженого генератора встановлюється номінальна напруга $U_0 = U_{ном.}$ шляхом зміни струму збудження $I_{зб.}$ і записуються показання приладів.

Підтримуючи напругу на затискачах незмінною і рівною номінальному значенню $U = U_{ном.} = const$, слід поступово збільшувати навантаження генератора від холостого ходу до значення струму $I = 1,2 I_{ном.}$. Рекомендується знімати 8...10 точок характеристики. Дані вимірювальних приладів записуються до таблиці 2.

Таблиця 2 – Експериментальні дані для отримання регульовальної характеристики ГПС

$$U_{ном.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В } = const$$

<i>I_{зб.}</i>	А									
<i>I</i>	А									

3.3 Обробка дослідних даних

За даними таблиць 1 і 2 необхідно побудувати зовнішню та регульовальну характеристики ГПС. Також необхідно визначити і порівняти величину зміни напруги при номінальному навантаженні генератора незалежного збудження

$$\Delta U_{\%} = \frac{U_0 - U_{ном.}}{U_0} \cdot 100\% . \quad (3)$$

Визначити зміну струму збудження

$$\Delta I_{зб.н\%} = \frac{I_{зб.н} - I_{зб.0}}{I_{зб.0}} \cdot 100\% , \quad (4)$$

де $I_{зб0\%}$ - струм збудження в режимі холостого ходу при $U_0 = U_{ном}$;

$I_{зб.н\%}$ - струм збудження при номінальному навантаженні генератора $U = U_{ном}$ і $I = I_{ном}$.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему дослідження ГПС незалежного збудження.

4.2 Данні дослідів зведені до таблиць 1,2.

4.3 Побудовані в масштабі зовнішня та регульовальна характеристики ГПС.

4.4 Привести розрахунки значень $\Delta U\%$ і $\Delta I_{зб.\%}$.

4.5 Технічні характеристики ГПС та приладів, що використовувалися в досліді.

4.6 Аналіз отриманих результатів з зазначенням основних властивостей ГПС незалежного збудження в режимі навантаження.

Контрольні питання

1 Назвіть основні елементи конструкції ГПС. Що називається індуктором та якорем ГПС?

2 Поясніть принцип дії ГПС.

3 Поясніть, як розрізняють ГПС за способом збудження?

4 Наведіть принципову електричну схему ГПС незалежного збудження. Наведіть і поясніть характеристику холостого ходу ГПС та характеристику короткого замикання ГПС.

5 Наведіть і поясніть зовнішню характеристику ГПС та регульовальну характеристику ГПС незалежного збудження.

6 Поясніть, що називається зміною напруги ГПС? Приблизна величина $\Delta U\%$ в ГПС незалежного збудження.

7 Поясніть, що називається зміною струму збудження ГПС? Приблизна величина $\Delta I_{зб.\%}$ в ГПС незалежного збудження.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: придбання практичних навиків збирання електричної схеми включення генератора постійного струму паралельного збудження. Отримання дослідним шляхом зовнішніх та регулювальних характеристик ГПС, що визначають їх властивості.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій [1. с. 108 – 121, 3. с. 84 – 2011, 5. с. 399 – 453, 9. с. 17 - 91] матеріали, що стосуються будови і принципу самозбудження та роботи ГПС паралельного збудження, а також схем їх включення, статичних характеристик і властивостей ГПС паралельного збудження в сталих режимах роботи.

1.2 Ознайомитися з методикою отримання зовнішніх і регулювальних характеристик ГПС паралельного збудження.

1.3 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі для занесення, обробки дослідних даних і побудови характеристик генераторів.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем, обладнанням та приладами стенда для випробувань. Записати паспортні дані генератора та приводного двигуна. Визначити номінальний струм ГПС.

2.2 Зібрати електричну схему для випробування ГПС паралельного збудження і зняти зовнішню та регулювальну характеристики генератора.

2.3 Побудувати зовнішню і регулювальну характеристики генератора за дослідними даними.

2.4 Провести аналіз характеристик, пояснити їх вид та оцінити властивості ГПС паралельного збудження.

2.5 Оформити звіт по лабораторній роботі згідно вимог.

3 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

Електрична схема випробування ГПС паралельного збудження наведена на рисунку 1. Після збирання схеми генератора, увімкнуті первинний двигун і переконалися по приладам, що генератор збудився. Якщо при зібраній схемі генератор не збуджується, прийняти міри, що забезпечують самозбудження генератора.

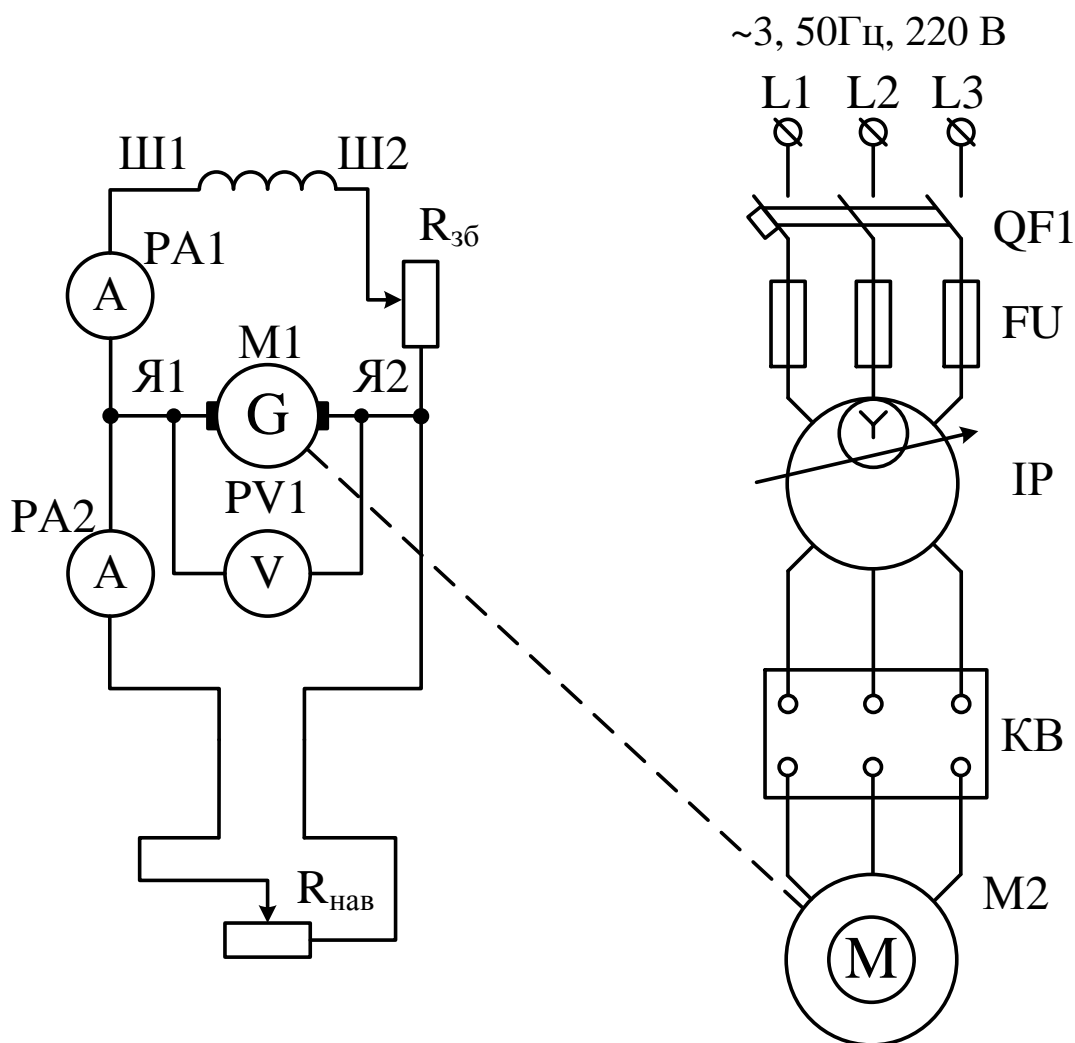


Рисунок 1 – Схема дослідження ГПС паралельного збудження

3.1 Методика отримання зовнішньої характеристики ГПС паралельного збудження

Зовнішньою характеристикою ГПС паралельного збудження називається залежність

$$U = f(I) \text{ при } R_{зб} = const \text{ та } n = n_{ном} = const. \quad (1)$$

Данні для отримання зовнішня характеристики знімають за схемою рисунку 1 в наступній послідовності. Спочатку дослідним шляхом визначається опір у колі збудження, при якому струм збудження генератора дорівнює номінальному $I_{зб} = I_{зб.ном}$. З цією метою збуджений генератор навантажується за допомогою навантажувального реостата $R_{нав}$ до номінального струму $I = I_{ном}$ при номінальній напрузі і номінальній частоті обертання первинного двигуна. Опір $R_{зб}$, що одержано при цьому, на протязі усього досліді по отриманню зовнішньої характеристики залишається незмінним.

Після цього генератор варто завантажити до струму $I = 1,5I_{ном}$, а потім, розвантажуючи генератор до холостого ходу, виконувати виміри напруги і струму через рівні інтервали струму навантаження. Усього знімається 8...10 точок зовнішньої характеристики. Дані вимірів заносяться в таблицю 1.

Таблиця 1 – Експериментальні дані для побудови зовнішніх характеристик ГПС паралельного збудження

$$R_{зб} = const.$$

$U, В$										
$I, А$										

3.2 Методика отримання регульовальної характеристики ГПС паралельного збудження

Регульовальна характеристика ГПС являє собою залежність

$$I_{зб} = f(I) \text{ при } U = U_{ном} = const \text{ і } n = n_{ном} = const. \quad (2)$$

Дослід проводиться за схемою рисунку 1. В режимі холостого ходу на затискачах збудженого генератора встановлюється номінальна напруга $U_0 = U_{ном}$ шляхом зміни струму збудження $I_{зб}$ і записуються показання приладів, потім підтримуючи напругу

на затискачах незмінною і рівною номінальному значенню, слід поступово збільшувати навантаження генератора від холостого ходу до значення струму $I=1,2I_{ном}$. Рекомендується знімати 8...10 точок характеристики. Дані показань вимірювальних приладів записуються в таблицю 2.

Таблиця 2 – Експериментальні дані для побудови регулювальної характеристики ГПС паралельного збудження

$I_{зб.}, A$									
I, A									

3.3 Обробка дослідних даних

За даними таблиць 1 і 2 необхідно побудувати зовнішню та регулювальну характеристики ГПС паралельного збудження. Також необхідно визначити величину зміни напруги при номінальному навантаженні та на холостому ході генератора паралельного збудження

$$\Delta U_{\%} = \frac{U_0 - U_{ном}}{U_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

а також визначити значення зміни струму збудження при номінальному навантаженні та на холостому ході генератора паралельного збудження

$$\Delta I_{зб\%} = \frac{I_{збн} - I_{зб0}}{I_{зб0}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де $I_{зб0}$ - струм збудження в режимі холостого ходу при $U_0 = U_{ном}$;

$I_{збн}$ - струм збудження при номінальному навантаженні генератора $U = U_n$ і $I = I_n$.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему випробування ГПС паралельного збудження.

4.2 Данні дослідів зведені до таблиць 1, 2.

4.3 Побудовані в масштабі зовнішні та регулювальні характеристики ГПС паралельного збудження.

4.4 Розрахунок значень зміни напруги та струму збудження $\Delta U_{\%}$ і $\Delta I_{\%}$.

4.5 Технічні характеристики ГПС та приладів, що використовувалися в досліді.

4.6 Аналіз отриманих результатів з зазначенням основних властивостей ГПС паралельного збудження.

Контрольні питання

1 Наведіть класифікацію ГПС за способом збудження.

2 Назвіть умови, що забезпечують самозбудження ГПС паралельного збудження.

3 Назвіть і представте вид характеристик ГПС паралельного збудження.

4 Наведіть зовнішні характеристики ГПС паралельного збудження. Назвіть причину зниження напруги на затискачах ГПС із ростом навантаження.

5 Поясніть методику перевірки правильності включення обмоток збудження ГПС змішаного збудження. Що відбудеться, якщо обмотки Ш1-Ш2 і С1-С2 опиняться при роботі включеними зустрічно?

6 Наведіть призначення послідовної обмотки збудження в ГПС змішаного збудження.

7 Наведіть принципові електричні схеми ГПС паралельного збудження.

8 Пояснити, що називається реакцією якоря машини постійного струму?

9 Наведіть рівняння напруги ГПС.

10 Поясніть методику визначення дослідним шляхом величини номінального струму збудження ГПС.

11 Поясніть методику отримання зовнішніх і регулювальних характеристик ГПС паралельного збудження.

12 Назвіть галузі застосування ГПС.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗМІШАНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: придбання практичних навиків збирання електричної схеми включення генератора постійного струму змішаного збудження. Отримання дослідним шляхом зовнішніх та регулювальних характеристик ГПС, що визначають їх властивості.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій літературі [1. с. 108 – 121, 3. с. 84 – 201, 5. с. 399 – 453, 9. с. 17 - 91] матеріали, що стосуються будови і принципу самозбудження та роботи ГПС змішаного збудження, а також схем їх включення, статичних характеристик і властивостей ГПС змішаного збудження в сталих режимах роботи.

1.2 Ознайомитися з методикою отримання зовнішніх і регулювальних характеристик ГПС змішаного збудження.

1.3 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі для занесення, обробки дослідних даних і побудови характеристик генераторів.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем, обладнанням та приладами стенда для випробувань. Записати паспортні дані генератора та приводного двигуна. Визначити номінальний струм ГПС.

2.2 Зібрати електричну схему для випробування ГПС змішаного збудження, перевірити згідність включення обмоток збудження генератора.

2.3 Отримати зовнішню та регулювальну характеристики ГПС змішаного збудження.

2.4 Побудувати зовнішню і регулювальну характеристики генератора за дослідними даними.

2.5 Провести аналіз характеристик, пояснити їх вид та оцінити властивості ГПС змішаного збудження.

2.6 Оформити звіт по лабораторній роботі згідно вимог.

3 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

Електрична схема випробування ГПС паралельного збудження наведена на рисунку 1. Після збирання схеми генератора, увімкнути первинний двигун і переконатися по приладам, що генератор збудився. Якщо при зібраній схемі генератор не збуджується, прийняти міри, що забезпечують самозбудження генератора.

3.1 Методика отримання зовнішньої характеристики ГПС змішаного збудження

Зовнішньою характеристикою ГПС змішаного збудження називається залежність

$$U = f(I) \text{ при } R_{зб} = const \text{ та } n = n_{ном} = const. \quad (1)$$

Данні для отримання зовнішня характеристики знімають за схемою рисунку 1 в наступній послідовності.

Перед початком дослідження ГПС змішаного збудження необхідно перевірити згідність включення паралельної та послідовної обмоток збудження генератора. З цією метою генератор приводиться в обертання з номінальною частотою обертання і забезпечується самозбудження генератора. За допомогою навантажувального реостата генератор навантажується деяким навантаженням. При цьому виміряється величина напруги на затискачах генератора. Потім необхідно генератор зупинити і зробити переключення виводів послідовної обмотки збудження. Далі генератор знову приводиться в обертання. При незмінному $R_{зб}$ встановлюється той самий струм навантаження. Знову виміряється напруга на затискачах генератора. Згодне включення обмоток збудження буде відповідати випадку включення обмоток, при якому напруга на затискачах генератора найбільша.

Далі дослідним шляхом визначається опір у колі збудження, при якому струм збудження генератора дорівнює номінальному $I_{зб} = I_{зб.ном}$. З цією метою збуджений генератор навантажується за допомогою навантажувального реостата $R_{нав}$ до номінального струму $I = I_{ном}$ при номінальній напрузі і номінальній час-

тоті обертання первинного двигуна. Опір $R_{зб}$, що одержано при цьому, на протязі усього досліду по отриманню зовнішньої характеристики залишається незмінним. Після цього генератор варто завантажити до струму $I=1,5I_{ном.}$, а потім, розвантажуючи генератор до холостого ходу, виконувати виміри напруги і струму через рівні інтервали струму навантаження. Усього знімається 8...10 точок зовнішньої характеристики. Дані вимірів заносяться до таблиці 1.

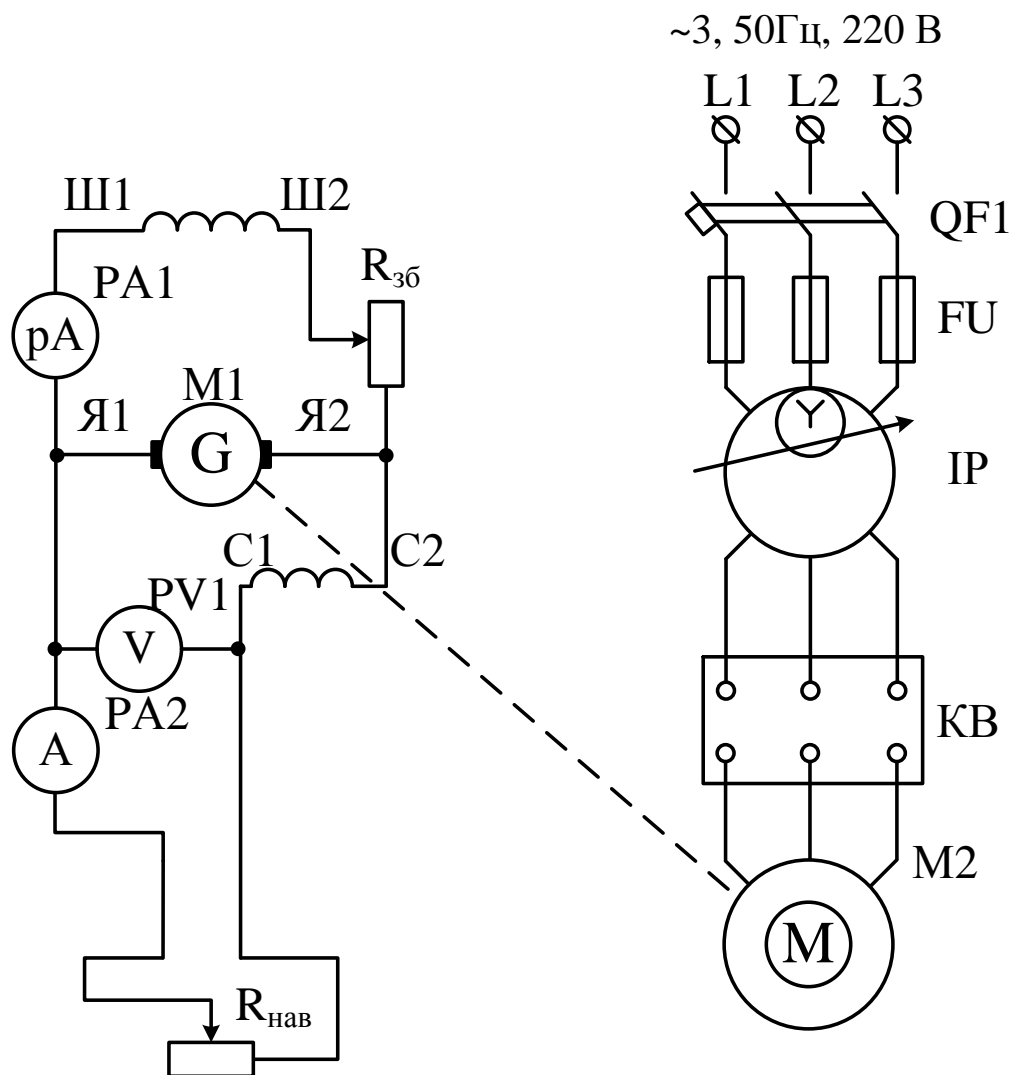


Рисунок 1 – Схема дослідження ГПС змішаного збудження

Таблиця 1 – Експериментальні дані для побудови зовнішньої характеристики ГПС змішаного збудження

$$R_{зб.} = const.$$

$U, В$									
$I, А$									

3.2 Методика отримання регульовальної характеристики ГПС змішаного збудження

Регульовальна характеристика ГПС являє собою залежність

$$I_{зб.} = f(I) \text{ при } U = U_{ном} = const \text{ і } n = n_{ном} = const. \quad (2)$$

Дослід проводиться за схемою рисунку 1. В режимі холостого ходу на затискачах збудженого генератора встановлюється номінальна напруга $U_0 = U_{ном}$ шляхом зміни струму збудження $I_{зб.}$ і записуються показання приладів, потім підтримуючи напругу на затискачах незмінною і рівною номінальному значенню, слід поступово збільшувати навантаження генератора від холостого ходу до значення струму $I = 1, 2 I_{ном}$. Рекомендується знімати 8...10 точок характеристики. Дані показань вимірювальних приладів записуються до таблиці 2.

Таблиця 2 – Експериментальні дані для побудови регульовальної характеристики ГПС змішаного збудження

$I_{зб.}, А$									
$I, А$									

3.3 Обробка дослідних даних

За даними таблиць 1 і 2 необхідно побудувати зовнішню та регульовальну характеристики ГПС змішаного збудження. Також необхідно визначити величину зміни напруги при номінальному

навантаженні та на холостому ході генератора змішаного збудження

$$\Delta U_{\%} = \frac{U_0 - U_{ном}}{U_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

а також визначити значення зміни струму збудження при номінальному навантаженні та на холостому ході генераторів змішаного збудження

$$\Delta I_{зб\%} = \frac{I_{збн} - I_{зб0}}{I_{зб0}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де $I_{зб0}$ - струм збудження в режимі холостого ходу при $U_0 = U_{ном}$;

$I_{зб.н}$ - струм збудження при номінальному навантаженні генератора

$U = U_n$ і $I = I_n$.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему дослідження ГПС змішаного збудження.

4.2 Данні дослідів зведені до таблиць 1-2.

4.3 Побудовані в масштабі зовнішню та регулювальну характеристики ГПС змішаного збудження.

4.4 Розрахунок значень зміни напруги та струму збудження $\Delta U_{\%}$ і $\Delta I_{\%}$.

4.5 Технічні характеристики ГПС та приладів, що використовувалися в досліді.

4.6 Аналіз отриманих результатів з зазначенням основних властивостей ГПС змішаного збудження.

Контрольні питання

- 1 Наведіть класифікацію ГПС за способом збудження.
- 2 Назвіть умови, що забезпечують самозбудження ГПС змішаного збудження.
- 3 Назвіть і представте вид статичних характеристик ГПС змішаного збудження.
- 4 Наведіть зовнішні характеристики ГПС змішаного збудження. Назвіть причину зниження напруги на затискачах ГПС із ростом навантаження.
- 5 Поясніть методику перевірки правильності включення обмоток збудження ГПС змішаного збудження. Що відбудеться, якщо обмотки Ш1-Ш2 і С1-С2 опиняться при роботі включеними зустрічно?
- 6 Наведіть призначення послідовної обмотки збудження в ГПС змішаного збудження.
- 7 Наведіть принципову електричну схему ГПС змішаного збудження.
- 8 Поясніть, що називається реакцією якоря машини постійного струму?
- 9 Наведіть рівняння напруги ГПС.
- 10 Поясніть методику визначення дослідним шляхом величини номінального струму збудження ГПС.
- 11 Поясніть методику отримання зовнішніх і регулювальних характеристик ГПС змішаного збудження.
- 12 Назвіть галузі застосування ГПС.

6 ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: придбання практичних навичок збирання схем включення і пуску ДПС паралельного збудження, а також отримання дослідним шляхом робочих та регулювальних характеристик двигунів, що визначають їх властивості.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій літературі [1. с. 121 – 142, 3. с. 216 – 241, 5. с. 456 – 470, 9. с. 92 - 116] матеріали, що стосуються будови і принципу роботи ДПС, а також схем їх включення, статичних характеристик і властивостей.

1.2 Ознайомитися з методикою отримання робочих і регулювальних характеристик ДПС.

1.3 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі для занесення, обробки дослідних даних і побудови характеристик.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем, обладнанням та приладами стенда для випробувань. Записати паспортні дані ДПС. Визначити номінальний струм двигуна та навантажувального генератора.

2.2 Зібрати електричну схему для випробування ДПС паралельного збудження. Зняти робочі та регулювальні характеристики двигуна.

2.3 Зняти робочі характеристики ДПС паралельного збудження.

2.4 Побудувати робочі і регулювальні характеристики ДПС паралельного збудження. Оцінити властивості такого двигуна.

2.5 Оформити звіт по лабораторній роботі згідно вимог.

3 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

3.1 Пуск і реверс двигуна паралельного збудження

Пуск двигуна постійного струму паралельного збудження здійснюється за схемою рисунку 1 з використанням пускового реостата або опору $R_{п.р.}$. При пуску цей опір повинний бути повністю введеним в коло якоря для обмеження величини пускового струму. Опір в колі обмотки збудження $R_{п.зб.}$ повинен бути повністю виведеним, що забезпечить пуск двигуна при найбільшому потоці збудження. По мірі розгону двигуна ЕРС якоря збільшується, а струм якоря зменшується, пусковий реостат $R_{п.р.}$ повністю виводиться.

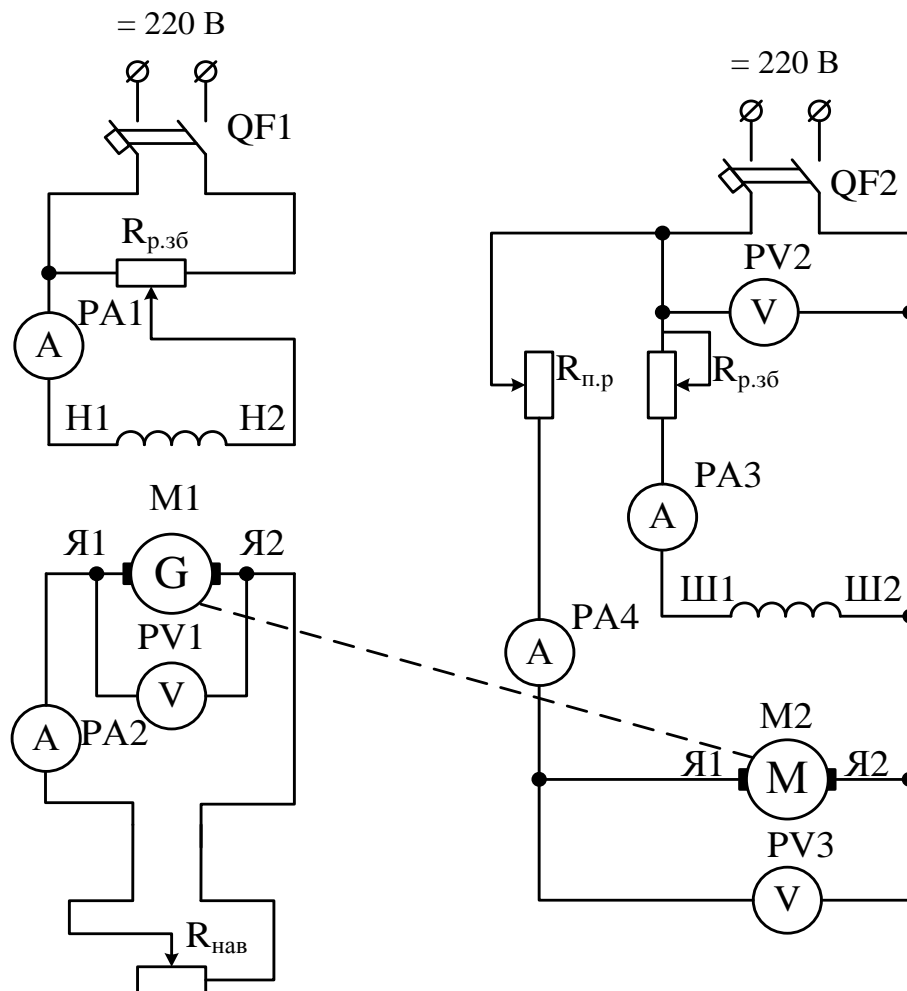


Рисунок 1 – Принципова електрична схема дослідження ДПС паралельного збудження

Зміна напрямку обертання двигуна здійснюється зміною напрямку струму в якорі або в обмотці збудження.

3.2 Методика отримання робочих характеристик ДПС паралельного збудження дослідним шляхом

Робочими характеристиками ДПС називають залежності

$$I, P_1, n, M, M_2, \eta, = f(P_2) \text{ при } U = U_{ном} = const. \text{ і } I_{зб.н.} = const. \quad (1)$$

Для отримання робочих характеристик ДПС паралельного збудження використовується схема рисунку 1. При цьому в якості навантаження на валу служить генератор постійного струму незалежного збудження. Дослід проводиться в наступній послідовності. Виконується пуск двигуна. Потім він навантажується за допомогою навантажувального генератора до номінального навантаження.

Струм якоря при цьому повинний бути номінальним при номінальній напрузі живлення на затискачах двигуна і номінальній швидкості обертання. Значення струму збудження $I_{зб}$ ДПС, при якому забезпечується номінальний режим навантаження, визначається за допомогою опору R_p і підтримується незмінним протягом всього досліду. Потім підтримуючи напругу на затискачах двигуна незмінною і рівною номінальній, змінюється навантаження на валу двигуна за допомогою навантажувального генератора таким чином, щоб струм якоря двигуна знаходився в межах від $I_a = I_{a0}$ до $I_a = 1,2 I_{ном}$. В процесі досліду знімається 6...8 точок. Дані досліду заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні і розрахункові дані для отримання робочих характеристик ДПС паралельного збудження

Дані досліду						Дані розрахунку						
U_a	I_a	$I_{зб}$	n	U_2	I_2	η_2	P_2	$P_{1\partial}$	$P_{2\partial}$	η_{∂}	M	ω
В	А	А	об/хв.	В	А	%	Вт	Вт	Вт	%	Н·м	рад/с.

Данні розрахунку в таблиці 1 визначаються за наступними рівняннями.

Потужність навантажувального ГПС

$$P_2 = U_2 \cdot I_2, \quad (2)$$

де U_2 - напруга на затискачах генератора, В;

I_2 - струм генератора, А.

Потужність, що споживається ДПС з мережі постійного струму

$$P_{10} = U_a \cdot I_a = U_a (I_a + I_{30}), \quad (3)$$

де U_a - напруга на затискачах обмотки якоря ДПС, В;

I_a - струм якоря ДПС, А.

Потужність на виході ДПС, що віддається навантажувальному ГПС

$$P_2 = \frac{P_{10}}{\eta_2}, \quad (4)$$

де η_2 - ККД навантажувального ГПС, в.о. Визначається за графіком, представленим на рисунку 2.

Корисний момент на валу ДПС

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega}, \quad (5)$$

де ω - кутова швидкість обертання якоря ДПС, рад/с.

Кутова швидкість обертання якоря ДПС

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (6)$$

де n - частота обертання якоря ДПС, об/хв.

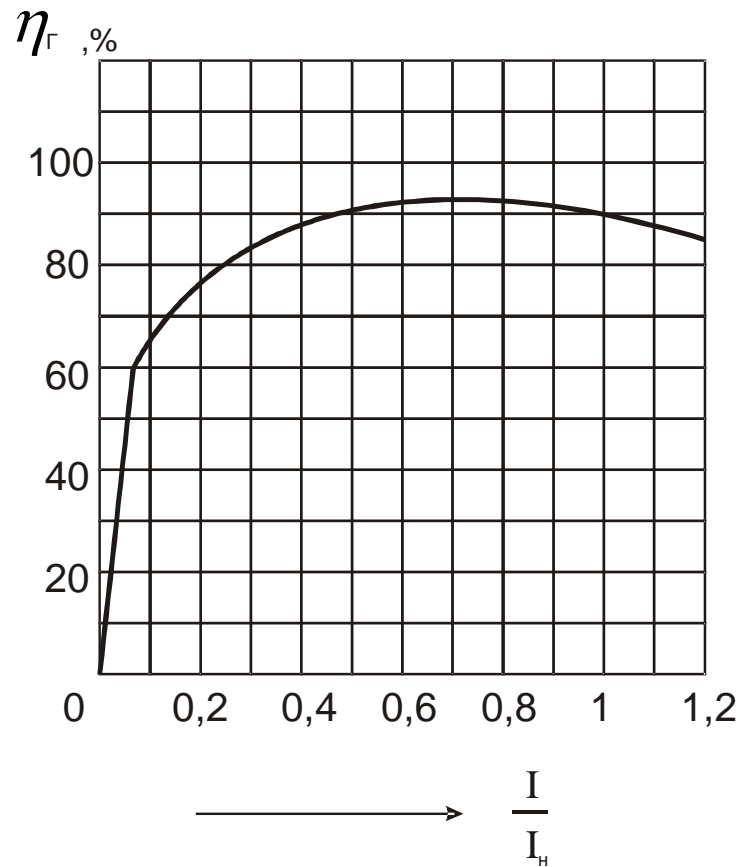


Рисунок 2 – Графік ККД навантажувального генератора постійного струму

Момент холостого ходу ДПС

$$M_0 = \frac{U \cdot I_{a0}}{\omega_0}, \quad (7)$$

де I_{a0} - струм холостого ходу ДПС, А.

Сумарний момент ДПС

$$M = M_0 + M_2. \quad (8)$$

3.2 Методика отримання регульовальних характеристик ДПС паралельного збудження дослідним шляхом

Регульовальна характеристика при зміні струму збудження або потоку збудження визначається залежністю

$$n=f(I_{зб}) \text{ при } U=U_{ном}= const \text{ та } M_2= const. \quad (9)$$

Цей спосіб регулювання швидкості обертання є найбільш економічним, однак при цьому швидкість обертання двигуна може регулюватися тільки вбік вищої від номінальної.

Дослід виконується наступним чином. Після пуску двигуна за допомогою навантажувального генератора встановлюється в колі якоря двигуна струм $I_a = 0,5I_{a ном}$. При номінальній напрузі на затискачах якоря двигуна М2 струм навантаження генератора М1 варто підтримувати протягом дослідження незмінним. Зберігаючи на затискачах якоря двигуна номінальну напругу, змінюють струм збудження двигуна убік зменшення до тих пір, поки швидкість обертання двигуна не досягне значення $(1,2...1,3)n_{ном}$. У процесі дослідження знімається 5...6 точок. Дані дослідження заносяться до таблиці 2.

Таблиця 2 – Експериментальні дані

U_a	I_a	$I_{зб}$	n
В	А	А	об/хв.

Регульовальна характеристика двигуна при зміні напруги на затискачах якоря двигуна

$$n = f(U_a) \text{ при } I_{зб}= const \text{ і } M = const. \quad (9)$$

Зміна напруги на затискачах якоря ДПС здійснюється шляхом введення в коло якоря регулювального реостата $R_{n.p.}$

Даний спосіб регулювання швидкості обертання дозволяє змінювати швидкість обертання двигуна убік зменшення від номінальної швидкості, це є неекономічним унаслідок великих втрат у регулювальному реостаті $R_{n.p.}$. Після пуску двигуна встановлюють струм збудження, що відповідає номінальному режиму двигуна (табл. 1) і підтримують його надалі незмінним.

За допомогою навантажувального генератора М1 навантажують двигун М2 при повністю введеному реостаті $R_{n.p.}$ у колі якоря до струму $I_a = 0,5I_{a.ном.}$ Струм навантаження генератора отриманий при цьому підтримують у процесі досліду незмінним. Далі за допомогою реостата $R_{n.p.}$ зменшують напругу на затискачах якоря двигуна до тих пір, поки швидкість обертання двигуна не досягне значення $n = 0,5n_{ном.}$ В процесі досліду знімається 5...6 точок. Показання приладів записуються до таблиці 3.

Таблиця 3 – Експериментальні дані

U_a	I_a	$I_{зб}$	n
В	А	А	об/хв.

4 Оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему випробування ДПС паралельного і змішаного збудження.

4.2 Таблиці 1-3 з даними дослідів і розрахунків.

4.3 Побудовані в масштабі робочі характеристики ДПС паралельного збудження.

4.4 Побудовані в масштабі регулювальні характеристики ДПС паралельного збудження.

4.5 Паспортні дані двигуна, навантажувального генератора та вимірювальних приладів, що приймали участь в дослідах.

3.6 Аналіз отриманих результатів.

Контрольні питання

1 Наведіть класифікацію двигунів постійного струму за способом збудження.

2 Поясніть принцип дії ДПС.

3 Поясніть, з якою метою вводять пусковий реостат в колі якоря і регулювальний в колі збудження двигуна?

4 Поясніть, чому при пуску двигуна потрібно, щоб пусковий реостат був повністю введеним, а регулювальний в колі збудження - виведеним?

5 Наведіть і поясніть вигляд робочих характеристик двигуна постійного струму.

6 Поясніть, якими способами і як регулюється швидкість обертання двигуна постійного струму паралельного збудження?

7 Поясніть, як перевіряється згідність включення обмоток збудження двигуна змішаного збудження?

8 Поясніть, як змінити напрямок обертання якоря двигунів паралельного збудження?

9 Проясніть, з якої причини заборонено приєднувати обмотку збудження Ш1-Ш2 після пускового резистора?

10 Проаналізуйте, що відбудеться, якщо при навантаженні на валу було розірвано коло обмотки паралельного збудження ДПС?

11 Поясніть, що відбудеться якщо у ДПС змішаного збудження обмотки Ш1-Ш2 і С1-С2 виявляться при роботі включеними зустрічно?

12 Приведіть електричні схеми включення ДПС паралельного і змішаного збудження.

7 ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗМІШАНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: придбання практичних навичок збирання схем включення і пуску ДПС змішаного збудження, а також отримання дослідним шляхом робочих та регулювальних характеристик двигунів, що визначають їх властивості.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій літературі [1. с. 121 – 142, 3. с. 216 – 241, 5. с. 456 – 470, 9. с. 92 - 116] матеріали, що стосуються будови і принципу роботи ДПС, а також схем їх включення, статичних характеристик і властивостей.

1.2 Ознайомитися з методикою отримання робочих і регулювальних характеристик ДПС.

1.3 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі для занесення, обробки дослідних даних і побудови характеристик.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем, обладнанням та приладами стенда для випробувань. Записати паспортні дані ДПС. Визначити номінальний струм двигуна та навантажувального генератора.

2.2 Зібрати електричну схему для випробування ДПС змішаного збудження. Зняти робочі та регулювальні характеристики двигуна.

2.3 Зняти робочі характеристики ДПС змішаного збудження.

2.4 Побудувати робочі і регулювальні характеристики ДПС змішаного збудження. Оцінити властивості такого двигуна.

2.5 Оформити звіт по лабораторній роботі згідно вимог.

3 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

3.1 Пуск і реверс двигуна змішаного збудження

Обмотки збудження двигуна при знятті характеристик повинні бути включені згідно, тому попередньо перевіряється схема включення обмоток збудження двигуна. З цією метою виконується пуск двигуна при будь-якій схемі включення обмоток, потім двигун навантажується за допомогою навантажувального генератора до деякого струму якоря, меншого за номінальний і вимірюється швидкість обертання ДПС. Після цього двигун відключається від мережі і зупиняється. Переключивши кінці послідовної обмотки С1-С2, знову запускають двигун і навантажують його за тих самих умов, що й у першому випадку. Знову вимірюють швидкість обертання двигуна. Схема включення обмоток збудження, при якій швидкість обертання ДПС буде *меншою* відповідає згідному включенню обмоток збудження.

Пуск двигуна постійного струму змішаного збудження здійснюється за схемою рисунку 1 з використанням пускового реостата або опору $R_{n.p.}$. При пуску цей опір повинний бути повністю введеним в коло якоря для обмеження величини пускового струму. Опір в колі обмотки збудження $R_{n.p.}$ повинен бути повністю виведеним, що забезпечить пуск двигуна при найбільшому потоці збудження. По мірі розгону двигуна ЕРС якоря збільшується, а струм якоря зменшується, пусковий реостат $R_{n.p.}$ повністю виводиться. Зміна напрямку обертання двигуна здійснюється зміною напрямку струму в обмотці якоря або в обмотці збудження.

3.2 Методика отримання робочих характеристик ДПС змішаного збудження дослідним шляхом

Робочими характеристиками ДПС називають залежності

$$I, P_1, n, M, M_2, \eta, = f(P_2) \text{ при } U = U_{ном} = const. \text{ і } I_{зб.н.} = const. \quad (1)$$

Для отримання робочих характеристик ДПС змішаного збудження використовується схема рисунку 1. При цьому в якості навантаження на валу служить генератор постійного струму незалежного збудження. Дослід проводиться в наступній послідовності. Виконується пуск двигуна. Потім він навантажується за допомогою навантажувального генератора до номінального нава-

нтаження. Струм якоря при цьому повинний бути номінальним при номінальній напрузі живлення на затискачах двигуна і номінальній швидкості обертання. Значення струму збудження $I_{зб}$ ДПС, при якому забезпечується номінальний режим навантаження, визначається за допомогою опору R_p і підтримується незмінним протягом всього досліду. Потім підтримуючи напругу на затискачах двигуна незмінною і рівною номінальній, змінюється навантаження на валу двигуна за допомогою навантажувального генератора таким чином, щоб струм якоря двигуна знаходився в межах від $I_a = I_{a0}$ до $I_a = 1,2 I_{ном}$. В процесі досліду знімається 5...6 точок. Дані досліду заносяться до таблиці 1.

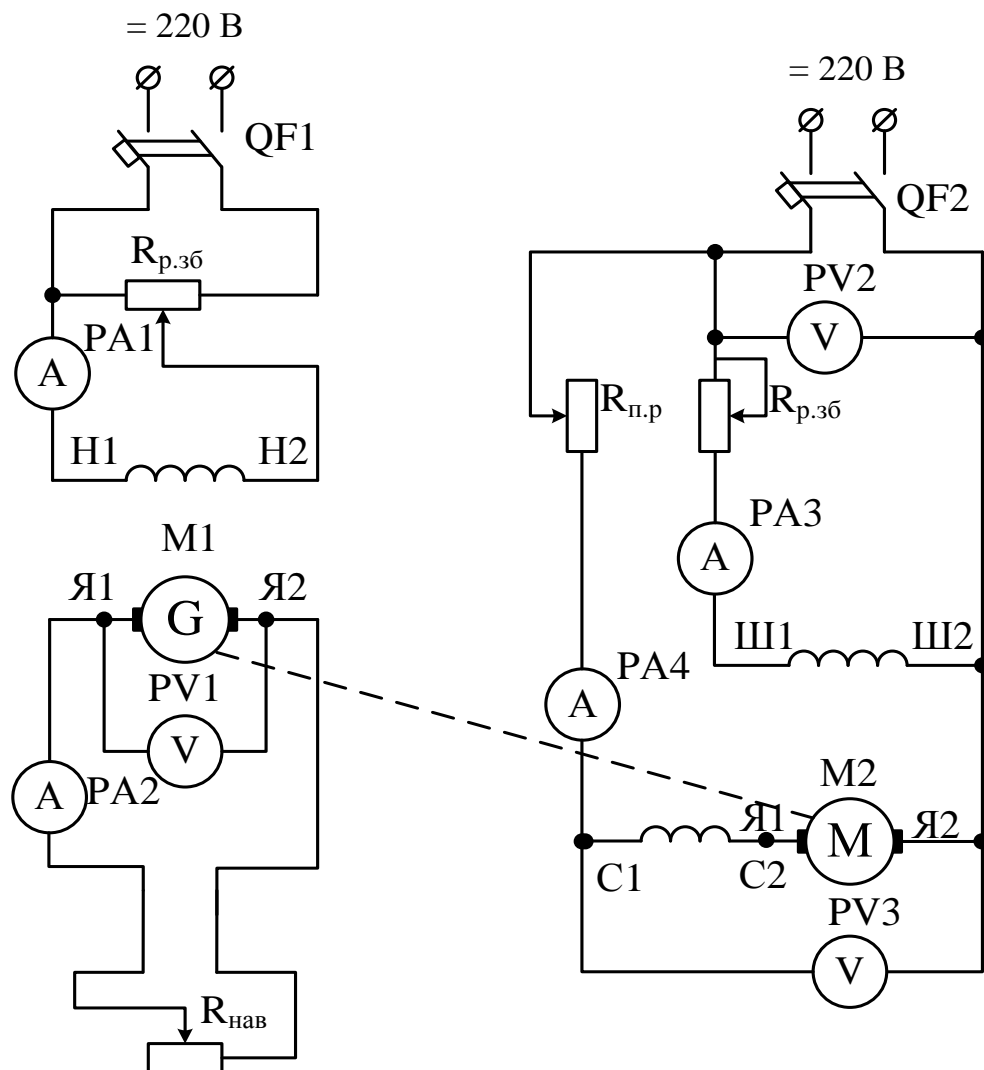


Рисунок 1 – Принципова електрична схема дослідження ДПС змішаного збудження

Таблиця 1 – Експериментальні і розрахункові дані для отримання робочих характеристик ДПС змішаного збудження

Дані дослідів						Дані розрахунку						
U_a	I_a	$I_{зб}$	n	U_2	I_2	η_2	P_2	$P_{1\partial}$	$P_{2\partial}$	η_{∂}	M	ω
В	А	А	об/хв.	В	А	%	Вт	Вт	Вт	%	Н·м	рад/с.

Данні розрахунку в таблиці 1 визначаються за наступними рівняннями.

Потужність навантажувального ГПС

$$P_2 = U_2 \cdot I_2, \quad (2)$$

де U_2 - напруга на затискачах генератора, В;

I_2 - струм генератора, А.

Потужність, що споживає ДПС з мережі постійного струму

$$P_{1\partial} = U_a \cdot I_a = U_a (I_a + I_{зб}), \quad (3)$$

де U_a - напруга на затискачах обмотки якоря ДПС, В;

I_a - струм якоря ДПС, А.

Потужність на валу ДПС, що віддається навантажувальному ГПС

$$P_2 = \frac{P_{1\partial}}{\eta_2}, \quad (4)$$

де η_2 - ККД навантажувального ГПС, в.о. Визначається за графіком, представленим на рисунку 2.

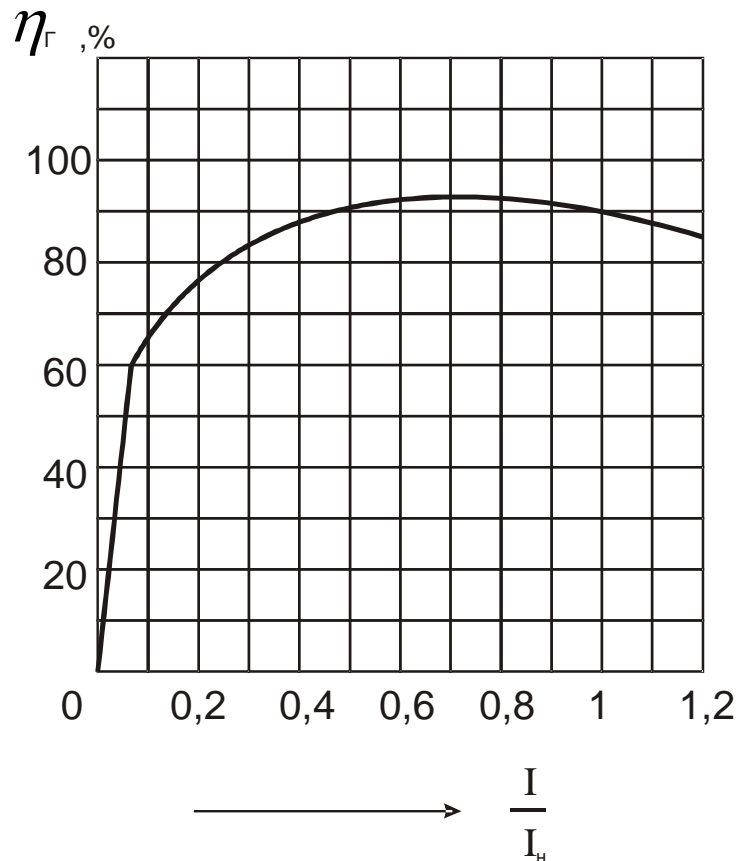


Рисунок 2 – Графік ККД навантажувального генератора постійного струму

Корисний момент на валу ДПС

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega}, \quad (5)$$

де ω - кутова швидкість обертання якоря ДПС, рад/с.
Кутова швидкість обертання якоря ДПС

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (6)$$

де n - частота обертання якоря ДПС, об/хв.
Момент холостого ходу ДПС

$$M_0 = \frac{U \cdot I_{a0}}{\omega_0}, \quad (7)$$

де I_{a0} - струм холостого ходу ДПС, А.

Сумарний момент ДПС

$$M = M_0 + M_2. \quad (8)$$

3.2 Методика отримання регулювальних характеристик ДПС змішаного збудження дослідним шляхом

Регулювальна характеристика при зміні струму збудження або потоку збудження визначається залежністю

$$n=f(I_{зб}) \text{ при } U=U_{ном}=const \text{ та } M_2=const. \quad (9)$$

Цей спосіб регулювання швидкості обертання є найбільш економічним, однак при цьому швидкість обертання двигуна може регулюватися тільки вбік вищої від номінальної.

Дослід виконується наступним чином. Після пуску двигуна за допомогою навантажувального генератора встановлюється в колі якоря двигуна струм $I_a = 0,5I_{aном}$. При номінальній напрузі на затискачах якоря двигуна М2 струм навантаження генератора М1 варто підтримувати протягом дослідження незмінним. Зберігаючи на затискачах якоря двигуна номінальну напругу, змінюють струм збудження двигуна убік зменшення до тих пір, поки швидкість обертання двигуна не досягне значення $(1,2...1,3)n_{ном}$. У процесі дослідження знімається 5...6 точок. Дані дослідження заносяться до таблиці 2.

Таблиця 2 – Експериментальні дані

U_a	I_a	$I_{зб}$	n
В	А	А	об/хв.

Регулювальна характеристика двигуна при зміні напруги на затискачах якоря двигуна

$$n = f(U_a) \text{ при } I_{зб} = \text{const і } M = \text{const.} \quad (9)$$

Зміна напруги на затискачах якоря ДПС здійснюється шляхом введення в коло якоря регулювального реостата $R_{n.p}$.

Даний спосіб регулювання швидкості обертання дозволяє змінювати швидкість обертання двигуна у бік зменшення від номінальної швидкості, це є неекономічним унаслідок великих втрат у регулювальному реостаті $R_{n.p}$. Після пуску двигуна встановлюють струм збудження, що відповідає номінальному режиму двигуна (табл. 1) і підтримують його надалі незмінним.

За допомогою навантажувального генератора М1 навантажують двигун М2 при повністю введеному реостаті $R_{n.p}$ у колі якоря до струму $I_a = 0,5I_{a.ном}$. Струм навантаження генератора отриманий при цьому підтримують у процесі дослідження незмінним. Далі за допомогою реостата $R_{n.p}$ зменшують напругу на затискачах якоря двигуна до тих пір, поки швидкість обертання двигуна не досягне значення $n = 0,5n_{ном}$. В процесі дослідження знімається 5...6 точок. Показання приладів записуються в таблицю 3.

Таблиця 3 – Експериментальні дані

U_a	I_a	$I_{зб}$	n
В	А	А	об/хв.

4 Оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему випробування ДПС змішаного збудження.

4.2 Таблиці 1-3 з даними дослідів і розрахунків.

4.3 Побудовані в масштабі робочі характеристики ДПС змішаного збудження.

4.4 Побудовані в масштабі регулювальні характеристики ДПС змішаного збудження.

4.5 Паспортні дані двигуна, навантажувального генератора та вимірювальних приладів, що приймали участь в дослідах.

4.6 Аналіз отриманих результатів.

Контрольні питання

1 Наведіть класифікацію двигунів постійного струму за способом збудження.

2 Поясніть принцип дії ДПС.

3 Поясніть, з якою метою вводять пусковий реостат в колі якоря і регулювальний в колі збудження двигуна?

4 Поясніть, чому при пуску двигуна потрібно, щоб пусковий реостат був повністю введеним, а регулювальний в колі збудження - виведеним?

5 Наведіть і поясніть вигляд робочих характеристик двигуна постійного струму.

6 Поясніть, якими способами і як регулюється швидкість обертання двигуна постійного струму змішаного збудження.

7 Поясніть, як перевіряється згідність включення обмоток збудження двигуна змішаного збудження?

8 Поясніть, як змінити напрям обертання якоря двигунів змішаного збудження?

9 Проясніть, з якої причини заборонено приєднувати обмотку збудження Ш1-Ш2 після пускового резистора?

10 Проаналізуйте, що відбудеться, якщо при навантаженні на валу будо розірвано коло обмотки паралельного збудження ДПС?

11 Поясніть, що відбудеться якщо у ДПС змішаного збудження обмотки Ш1-Ш2 і С1-С2 виявляться при роботі включеними зустрічно?

12 Приведіть електричну схему включення ДПС змішаного збудження.

8 ВИВЧЕННЯ БУДОВИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З ВИМІРЮВАННЯМ ОМІЧНИХ ОПОРІВ ПЕРВИННОЇ ТА ВТОРИННОЇ ОБМОТОК

Мета роботи: засвоєння принципу дії та призначення силових трансформаторів, вивчення будови магнітопроводів і обмоток однофазних та трифазних трансформаторів, призначення елементів системи охолодження і приладів контролю та очистки трансформаторного масла, приладів захисту та регулювання напруги, детальне вивчення конструктивної схеми трифазного силового трансформатора та структури умовного позначення марок електротехнічної сталі і типів трансформаторів.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Засвоєння принципу дії та призначення силових трансформаторів [1. с. 159 – 213, 3. с. 242 – 256, 5. с. 15 – 38, 9. с. 117 – 137].

1.2 Вивчення будови силових трансформаторів, у тому числі:

- Типи, будова, способи та матеріали виготовлення магнітопроводів однофазних та трифазних трансформаторів, а також властивості та переваги електротехнічних [1. с. 159 – 213, 3. с. 242 – 256, 5. с. 15 – 38, 9. с. 117 – 137];

- Типи, будова та матеріали виготовлення обмоток трансформаторів. Види обмоток за способом розташування та величиною напруги [1. с. 159 – 213, 3. с. 242 – 256, 5. с. 15 – 38, 9. с. 117 – 137];

- Призначення елементів та принцип дії системи охолодження силових трансформаторів [1. с. 159 – 213, 3. с. 242 – 256, 5. с. 15 – 38, 9. с. 117 – 137];

- Прилади контролю та очистки трансформаторного масла, захисту та регулювання напруги трансформаторів [1. с. 159 – 213, 3. с. 242 – 256, 5. с. 15 – 38, 9. с. 117 – 137];

- Конструктивна схема будови трифазного силового трансформатора [9. с. 438 – 441].

1.3 Ознайомлення:

- із структурою умовного позначення марки електротехнічної сталі (у відповідності з ДСТУ) [10. с. 100];
- із структурою умовного позначення типів трансформаторів [10. с. 333-337];
- з технічною характеристикою силових трансформаторів, що використовуються у сільському господарстві [10. с. 337-343].

2 Програма роботи

2.1 Виміряти омичний опір первинної та вторинної обмоток трансформатора.

2.2 Оформити звіт по лабораторній роботі згідно вимог.

3 Основні теоретичні положення та вказівки по виконанню

3.1 Призначення та будова силових трансформаторів

Трансформатор – це електромагнітний статичний перетворювач електричної енергії, який має дві або більше індуктивно зв'язані обмотки і призначений для перетворення однієї системи напруг та струмів в іншу, без зміни частоти. Трансформатори використовуються також для перетворення числа фаз і частоти. В сучасній електроенергетиці трансформатори використовуються на всіх стадіях виробництва, перетворення і використання електроенергії.

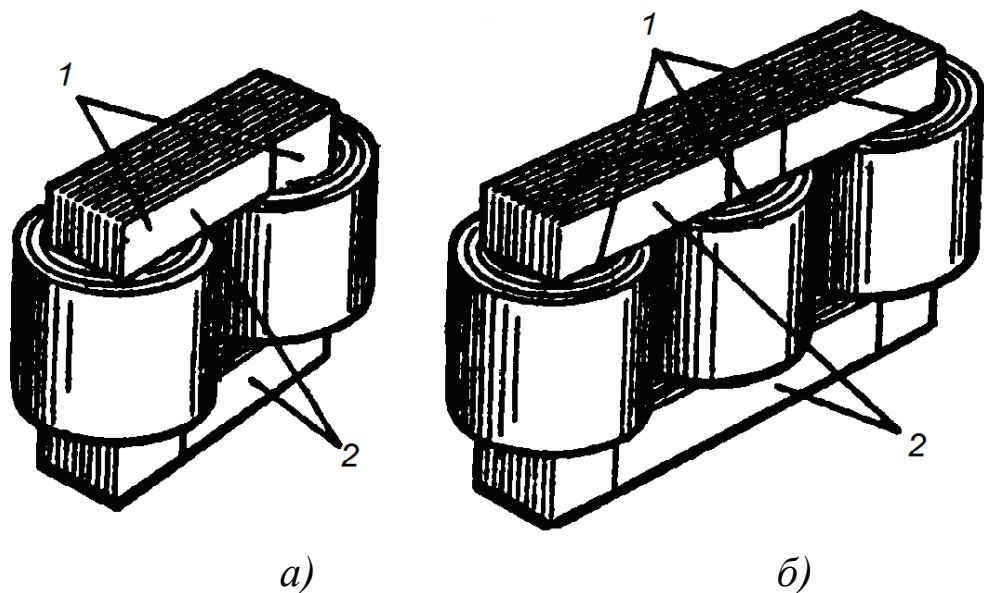
Принцип дії трансформатора базується на явищі електромагнітної індукції, яке було відкрите М. Фарадеєм в 1831 р. При підключення первинної обмотки трансформатора до мережі з синусоїдальною напругою U_1 в обмотці виникає струм I_1 , який створює синусоїдальний магнітний потік Φ , що замикається по магнітопроводу. Потік Φ індукуює ЕРС як в первинній, так і у вторинній обмотці. При підключенні до вторинної обмотки навантаження, в цій обмотці виникає вторинний струм I_2 і на затискачах встановлюється деяке значення напруги U_2 . Результуючий магнітний потік магнітопроводу Φ_c створюється струмами двох обмоток.

Найбільш розповсюдженим і важливим класом трансформаторів є силові трансформатори, призначені для перетворення енергії змінного струму в електричних мережах енергетичних систем (на електростанціях, підстанціях, промислових підприємствах, міських мережах, в сільському господарстві).

За конструкцією магнітопроводу трансформатори підрозділяються на стрижньові і броньові.

Магнітопровід трансформатора служить для підсилення магнітного зв'язку між обмотками і є конструктивною основою для встановлення і кріплення обмоток, відводів і інших деталей трансформатора.

Стрижньовий тип магнітопроводу (рис. 1) характеризується тим, що ярма з'єднують кінці різних стрижнів та кожне ярмо розташовується тільки з боку торців стрижнів і обмоток трансформатора. При цьому по ярму проходить потік, що дорівнює потоку стрижня.



1 - стрижень; 2 - ярмо.

Рисунок 1 – Стрижньові магнітопроводи однофазного (а) та трифазного (б) трансформаторів

Броньовий тип магнітопроводу (рис. 2) характеризується тим, що обидва кінці кожного стрижня з'єднані не менш ніж двома боковими ярмами, тобто ярма охоплюють не тільки торці обмоток, але і їх бокові сторони. При цьому по ярму проходить потік, що дорівнює половині потоку стрижня, отже, перетин ярма менше перетину стрижня в два рази.

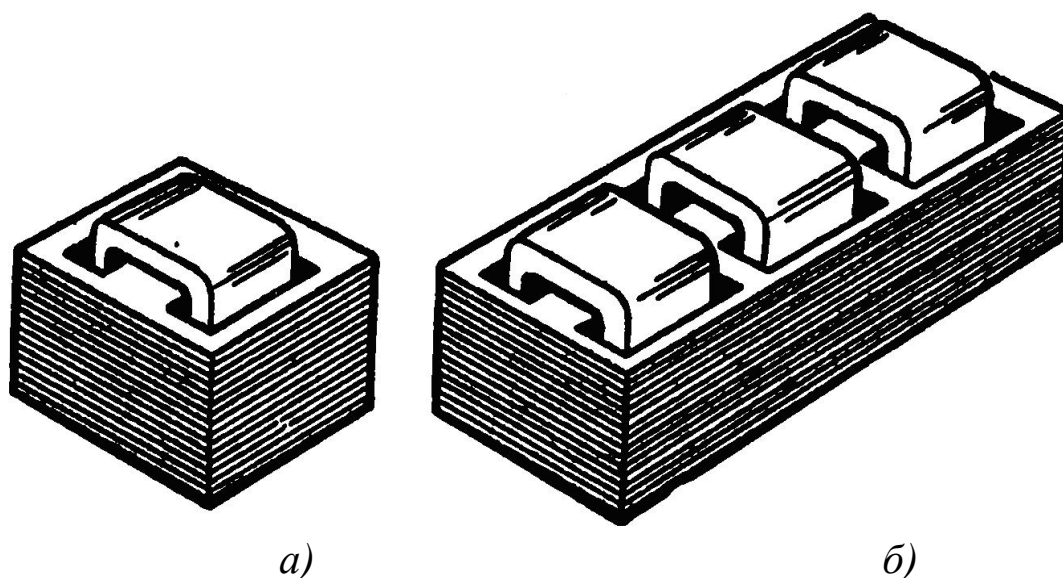
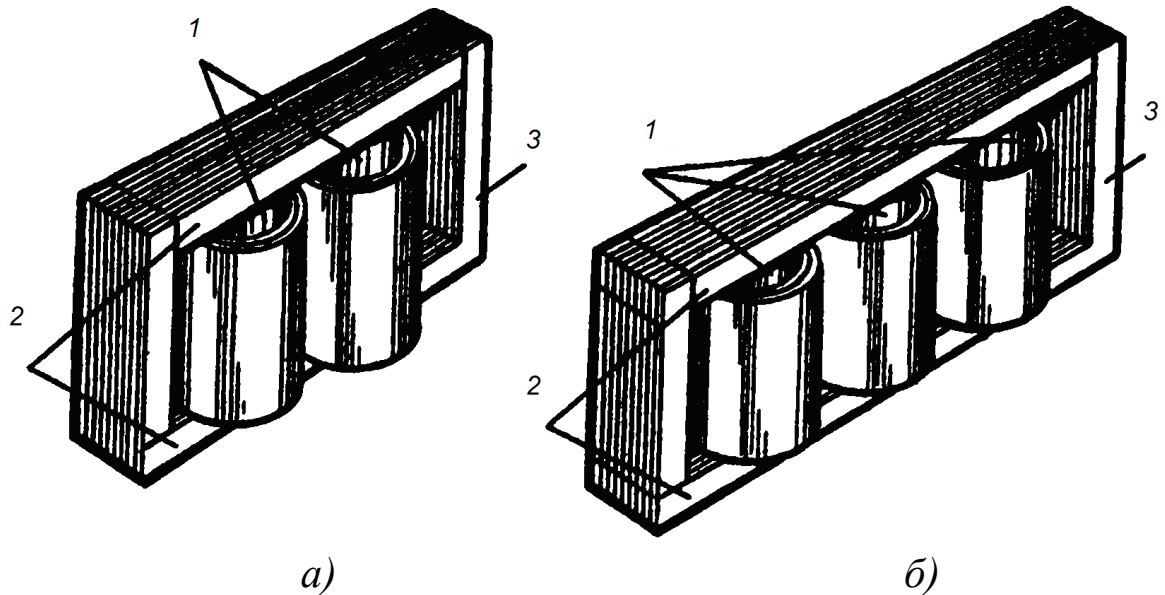


Рисунок 2 – Броньові магнітопроводи однофазного (а) та трифазного (б) трансформаторів

Магнітопроводи силових трансформаторів мають пласку стрижньову структуру. Не зважаючи на наявність магнітної несиметрії фаз, цей тип магнітопроводу отримав найбільше розповсюдження внаслідок високої технологічності.

В силових трансформаторах потужністю 100000 кВА та більше застосовують стрижньовий магнітопровід з розгалуженими ярмами (рис. 3), що має назву бронестрижньового магнітопроводу. Для нього характерно, те що в однофазній конструкції кожний стрижень має одне бокове ярмо і потік ярма дорівнює половині потоку стрижня, у трифазній конструкції тільки два стрижня з трьох мають бокові ярма і потік ярма менше потоку стрижня в $\sqrt{3}$ раз. За рахунок застосування бокових ярем у бронестрижньо-

вому магнітопроводі, в порівнянні із стрижневим, висота торцевих ярем в однофазній конструкції може бути зменшена в 2 рази, у трифазній – в $\sqrt{3}$ раз, внаслідок чого висота магнітопроводу та трансформатора в цілому істотно зменшується.



1 - стрижень, 2 - торцеве ядро, 3 - бокове ядро.

Рисунок 3 – Бронестрижньові магнітопроводи однофазного (а) та трифазного (б) трансформаторів

В трансформаторах потужністю до 6300 кВА достатньо широко використовується просторова структура, в якій вісі стрижнів і ярем розташовані в різних площинах. Просторова конструкція за рахунок більш рівномірного розподілення магнітного потоку дозволяє знизити масу магнітопроводу і зменшити втрати холостого ходу на 12-15%.

За способом з'єднання стрижнів з ярмами магнітопроводи поділяють на стикові, шихтовані і навиті. В стикових магнітопроводах стрижні і ярма збирають з пластин електротехнічної сталі окремо, а потім з'єднують по площині після насадки обмоток на стрижні. Вони відрізняються простотою збирання пластин, але наявність відносно великих немагнітних проміжків в місцях сти-

ків викликає підвищене значення струму холостого ходу. В шихтованих магнітопроводах пластини стрижнів та ярем збирають в переплетіння – шихтують, що призводить до суттєвого зменшення немагнітних проміжків і струму холостого ходу. За формою стикування пластин стрижнів і ярем шихтовані магнітопроводи виконують з косими, прямими та комбінованими стиками. Використання в електромашинобудуванні рулонної холоднокатаної електротехнічної сталі дозволило впровадити навиті магнітопроводи, в яких окремі частини навиваються зі стрічок рулонної сталі, а потім скріплюються в єдину конструкцію.

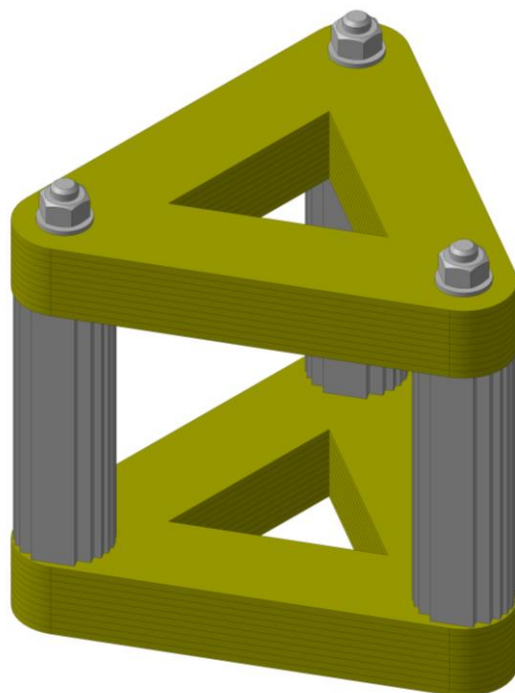


Рисунок 4 – Просторова структура магнітопроводу трифазного силового трансформатора

В силових трансформаторах найбільшого поширення набула пласка стрижньова шихтована конструкція магнітопроводу. Перетин стрижнів такого магнітопроводу має вигляд симетричної ступінчастої фігури, яка вписана в коло. Це пов'язано з тим, що обмотки силових трансформаторів мають циліндричну форму і перетин стрижнів наближають до кола. Діаметр кола, в яке вписують ступінчасту фігуру (рис. 5) перетину стрижня, називають діаметром стрижня трансформатора.

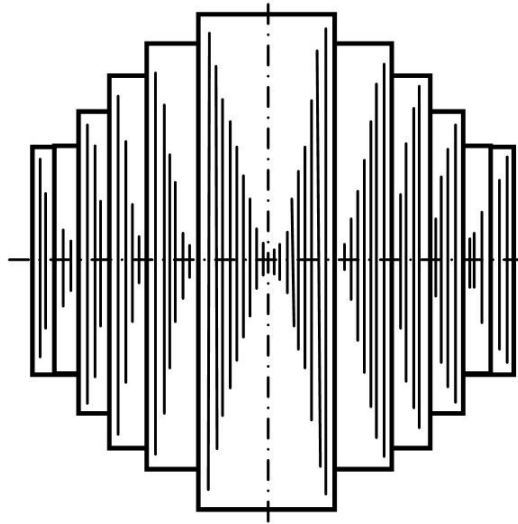
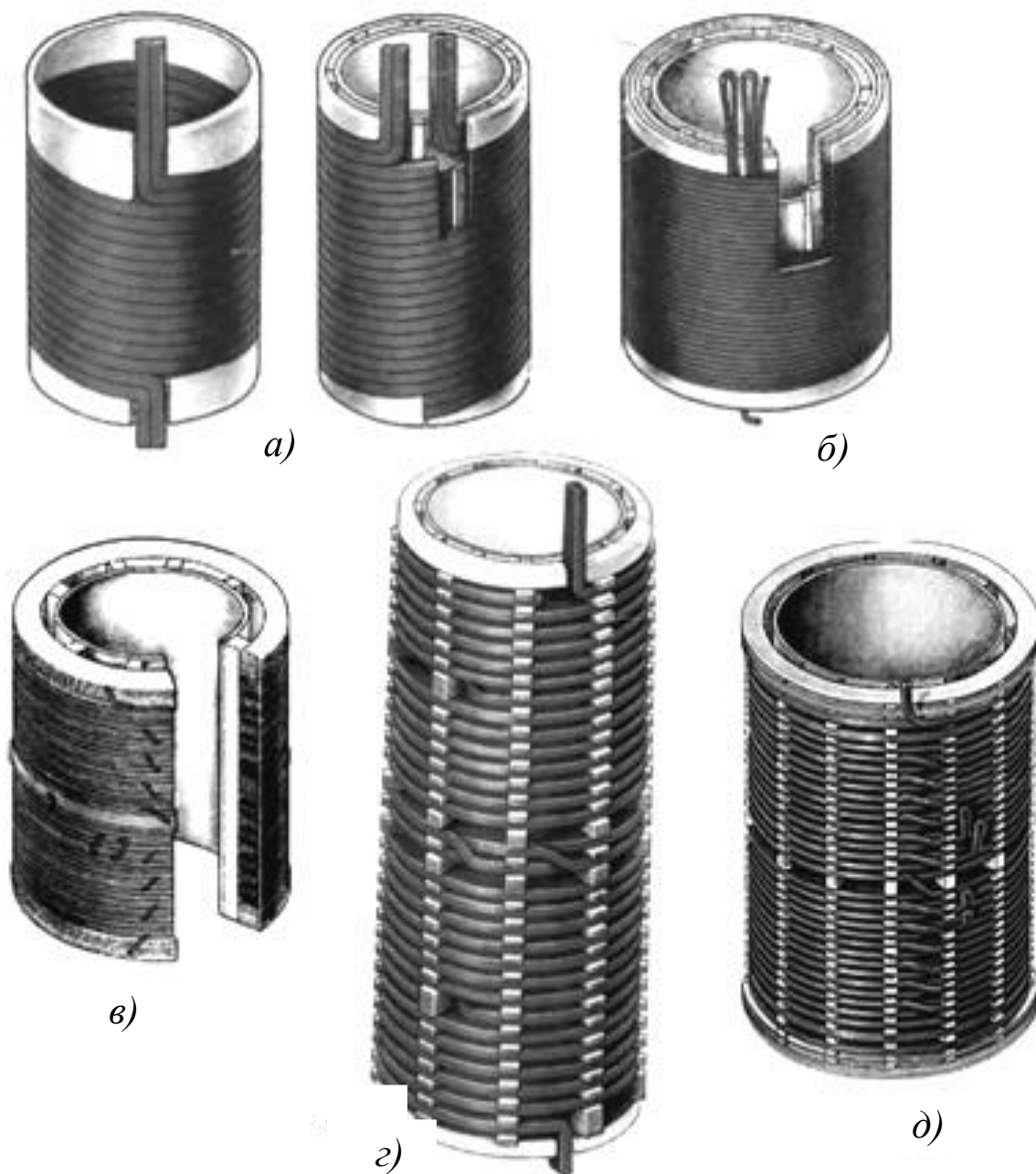


Рисунок 5 – Ступінчастий перетин стрижнів і ярем магнітопроводу

Для виготовлення магнітних систем (магнітопроводів) трансформаторів застосовують спеціальні тонколистові електротехнічні сталі, що мають підвищений (до 5 %) змісту кремнію.

Для виготовлення магнітопроводів силових трансформаторів застосовується холоднокатана анізотропна сталь товщиною 0,27 мм, 0,3 мм та 0,35 мм, питомі втрати якої в 2-2,5 рази нижчі ніж у гарячекатаної. Холоднокатана сталь дозволяє збільшити індукцію в магнітопроводі до 1,6-1,7 Тл при одночасному зменшенні маси сталі магнітопроводу, отже, і маси металу обмоток, що істотно знижує втрати в трансформаторі.

Обмотки є найважливішим елементом трансформатора. Вартість матеріалів та їх виготовлення складає приблизно 50% вартості трансформатора. Конструкції обмоток трансформаторів можуть суттєво розрізнятися в залежності від потужності і напруги. Факторами, що визначають конструктивне виконання обмотки, є число витків, перетин витка і клас напруги. Класом напруги обмотки трансформатора називають тривало допустиму робочу напругу. Клас збігається з номінальною напругою електричної мережі, до якої підключається обмотка. Класом напруги трансформатора вважається клас напруги обмотки ВН.



a - циліндричні обмотки; *б* - багат шарові циліндричні обмотки; *в* - котушкова циліндрична обмотка; *г* - гвинтова обмотка; *д* - безперервна обмотка.

Рисунок 6 – Конструкції обмоток трансформаторів

Циліндричні одно- і двохшарові обмотки (рис. 6, а) використовують в якості обмоток НН при номінальних струмах до 800 А, багат шарові циліндричні обмотки (рис. 6, б) використо-

вують в якості обмоток ВН (до 35 кВ), котушкові багат шарові циліндричні обмотки (рис. 6, в) розділяють по висоті на окремі багат шарові обмотки, виготовлені з круглого проводу. Гвинтові одно- і багат ходові обмотки (рис. 6, г) виконують з декількох паралельних проводів, їх використовують в якості обмоток НН при струмах більше 300 А. Безперервні котушкові обмотки (рис. 6, д) складаються з послідовно з'єднаних дискових котушок, такі обмотки використовуються в якості обмоток ВН і НН внаслідок великої механічної міцності і надійності.

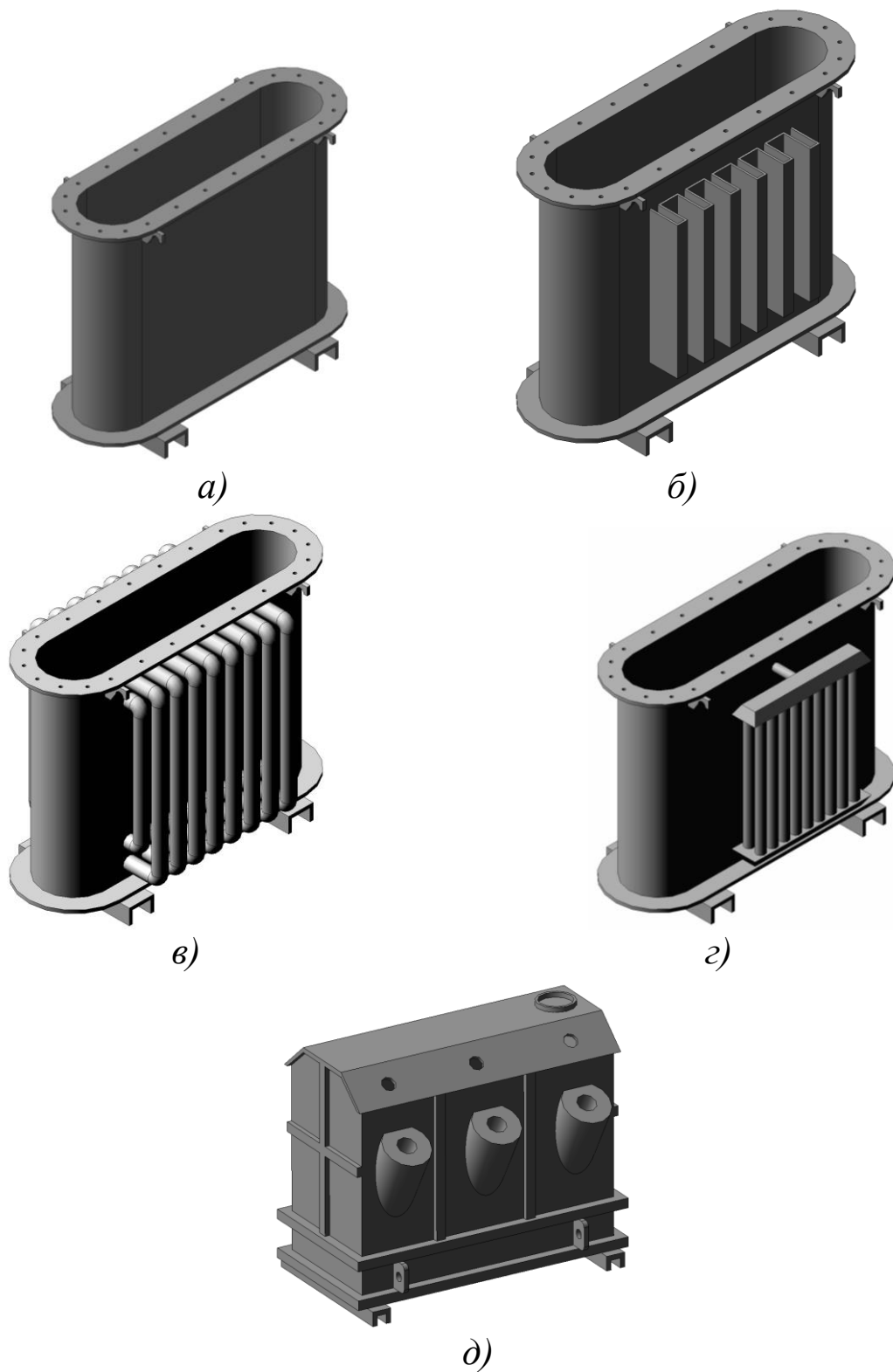
В трансформаторах з охолодженням типу С та СЗ активна частина має безпосередній контакт з навколишнім повітрям та її охолодження відбувається шляхом випромінювання та природної конвекції повітря. В трансформаторах з охолодженням типу СГ активну частину поміщають в бак, що заповнений газом.

В трансформаторах з охолодженням типу СД застосовують штучне форсування руху повітря за допомогою вентиляторів.

В трансформаторах з охолодженням типу М активну частину поміщають в бак, що заповнений трансформаторним маслом.

В трансформаторах з охолодженням типу Д встановлюють вентилятори, за допомогою яких здійснюється примусова циркуляція повітря вздовж зовнішніх поверхонь радіаторів та бака при природній циркуляції масла в них. В трансформаторах з охолодженням типу МЦ та НМЦ на кожному радіаторі встановлюють насос для створення примусової циркуляції масла.

В трансформаторах з охолодженням типу ДЦ та НДЦ використовується примусова циркуляція масла через спеціальні малогабаритні охолоджувачі з примусовим повітряним охолодженням (рис. 8).



a - гладкий; *б* - ребристый; *в* - трубчатый;
г - радиаторный; *д* - колокольный.

Рисунок 7 – Баки силових трансформаторів

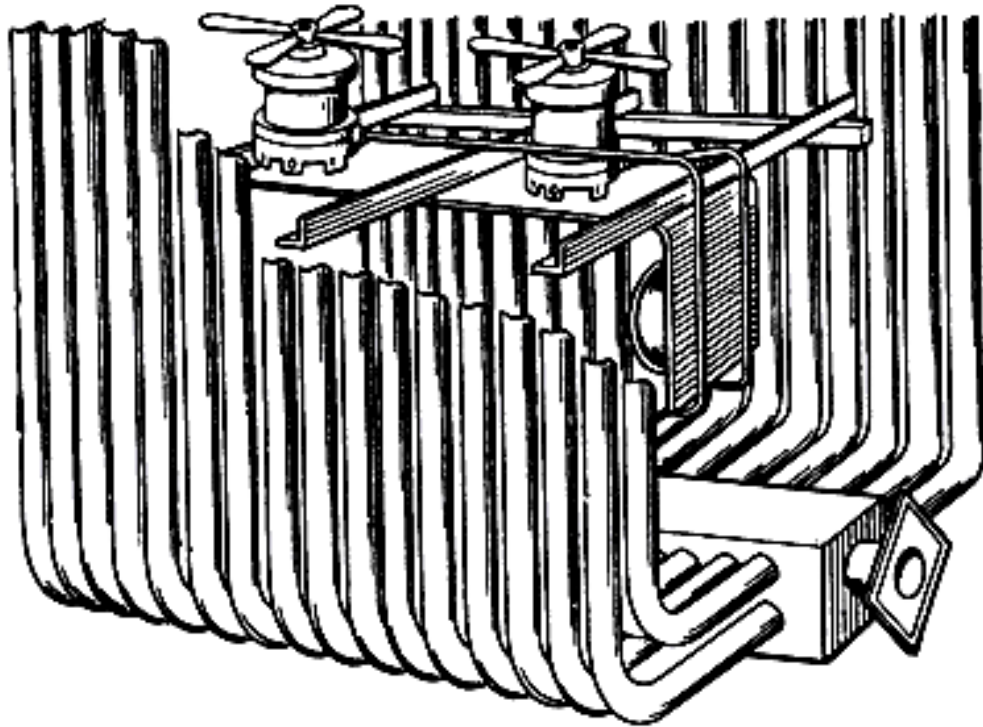


Рисунок 8 – Трубчатий радіатор з вентиляторами

В трансформаторах з охолодженням типу Ц та НЦ використовується примусова циркуляція масла через охолоджувачі з примусовим водяним охолодженням.

В трансформаторах з охолодженням типу Н, НД та ННД активну частину поміщають в бак, що заповнений синтетичної негорючою рідиною, що не окислюється – совтол, клофен, піранол.

Розширювач (рис. 9) призначений для компенсації коливань рівня масла в баку трансформатора при всіх можливих у експлуатації коливаннях температури та запобігає безпосередньому контакту масла з навколишнім повітрям. Він встановлюється на всіх силових масляних трансформаторах класу напруги 5 кВ та потужністю 25 кВА та більше. Конструктивно розширювач представляє собою циліндричний бачок, що встановлюється горизонтально над кришкою бака трансформатора та з'єднаний з ним трубопроводом (рис. 9). Об'єм розширювача складає приблизно 10 % від об'єму масла в баку. Застосування розширювача до-

зволяє захистити масло від передчасного окислення, оскільки, по-перше, поверхня дотику (дзеркала) масла з повітрям в розширювачі значно менше ніж в баку трансформатора, по-друге, температура масла в розширювачі нижче ніж температура масла у верхньої частини трансформатора, і, по-третє, із-за відсутності циркуляції масла в розширювачі вода, що потрапляє в нього з повітря, та продукти окислення масла осаджуються у нижній частини розширювача та не потрапляють до баку трансформатора. Показник рівня масла (масловказівник) служить для контролю рівня масла в трансформаторі та встановлюється на торцевій частини з боку НН, а у трансформаторів без розширювача – на стінці бака в верхній його частини. На розширювачі або безпосередньо на масловказівнику наносяться три контрольні межі, що відповідають рівням масла при непрацюючому трансформатору при температурах масла -45°C , $+15^{\circ}\text{C}$, $+40^{\circ}\text{C}$.

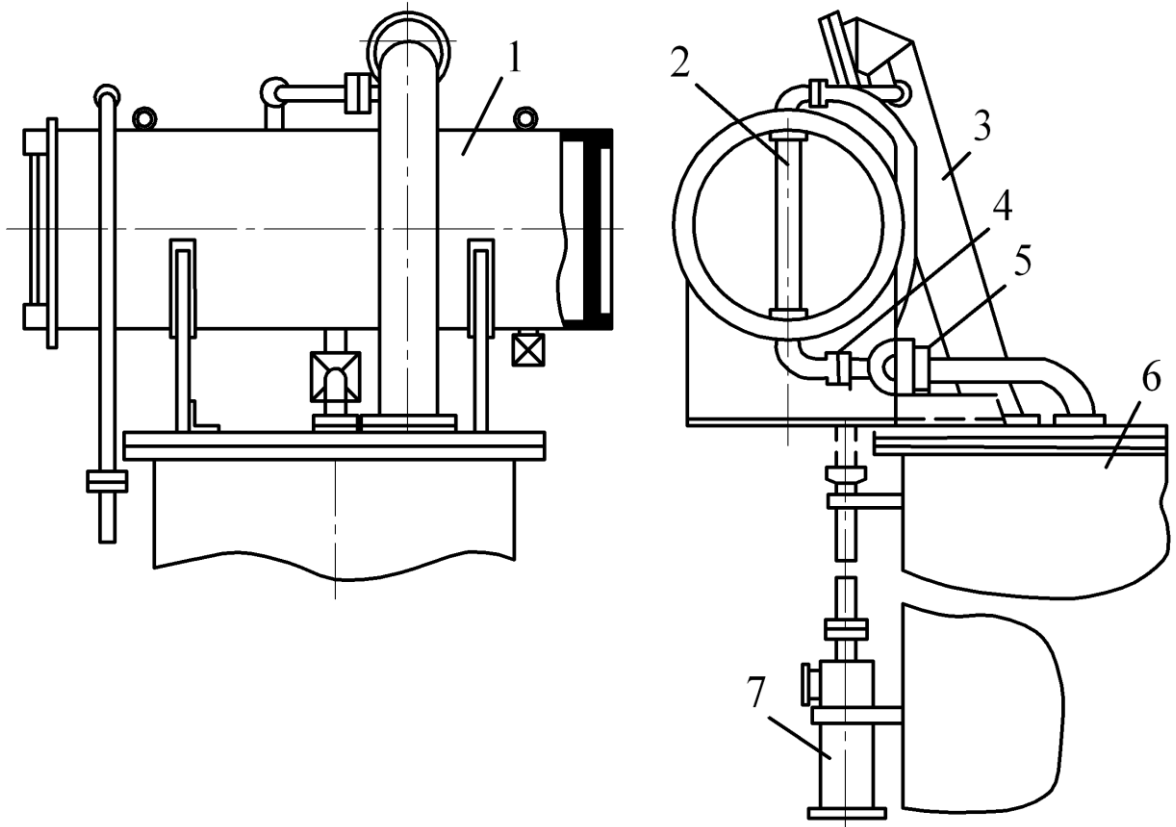
Термометр служить для контролю температури масла в верхніх шарах бака трансформатора та встановлюється на його кришці. В трансформаторах з потужністю до 630 встановлюють ртутні скляні термометри зі шкалою від 0 до 150°C . В трансформаторах з потужністю 1000 кВА та більше, а також в трансформаторах герметичного виконання потужністю 160 кВА та більше, для контролю температури масла на стінці бака встановлюють термометричні сигналізатори.

Очисник повітря служить для очистки від вологи та забруднення повітря, що потрапляє до трансформатора при температурних коливаннях рівня масла. В трансформаторах до 630 кВА включно, очисник повітря вбудовується безпосередньо у розширювач, а в трансформаторах потужністю 1000 кВА та більше встановлюється на розширювачі.

Газове реле (рис. 9) служить для захисту трансформатора від внутрішніх пошкоджень (витковому замикання в обмотках, пробією ізоляції, «пожежі в сталі» магнітопроводу та ін.).

Вихлопна (запобіжна) труба (рис. 9) служить для запобігання руйнування бака трансформатора при внутрішніх пошкодженнях, що супроводжуються виникненням електричної дуги,

великої кількості газу та різким підвищенням тиску усередині бака. Вихлопна труба встановлюється на трансформаторах потужністю 1000 кВА та більше.



1 - розширювач; 2 - масловказівник; 3 - вихлопна труба;
4 - плоский кран; 5 - газове реле; 6 - бак; 7 - очисник повітря.

Рисунок 9 – Допоміжне обладнання системи охолодження масляного трансформатора

Термосифонний фільтр (рис. 10) служить для безперервної автоматичної регенерації масла та встановлюється на силових трансформаторах потужністю 1000 кВА та більше. Термосифонний фільтр заповнюється силікагелем марки КСК.

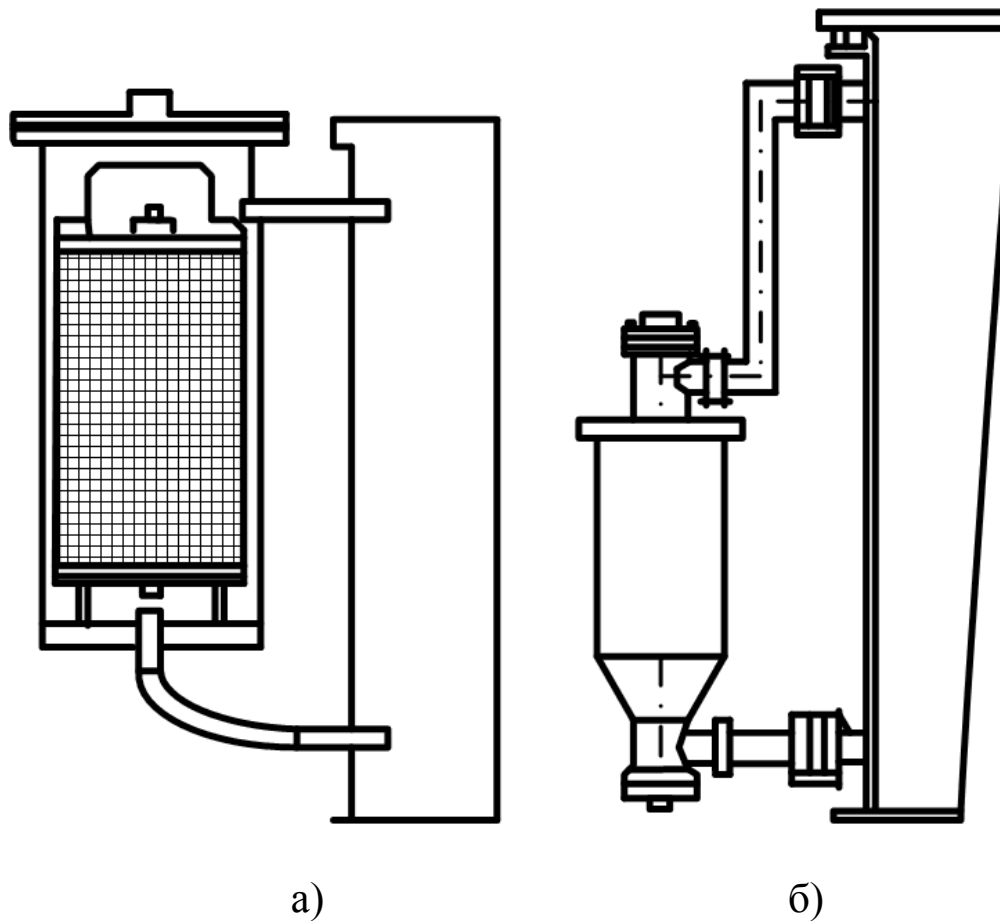


Рисунок 10 – Конструкції термосифонних фільтрів масляних трансформаторів потужністю 160-630 кВА (а) та 1000 кВА (б)

Арматура бака призначена для заливу, відбору проби, спуску та фільтрації масла. До неї відносяться крани, вентилі, засувки та пробки та ін.

Загальний вигляд трифазного масляного трансформатора середньої потужності представлена на рисунку 11.

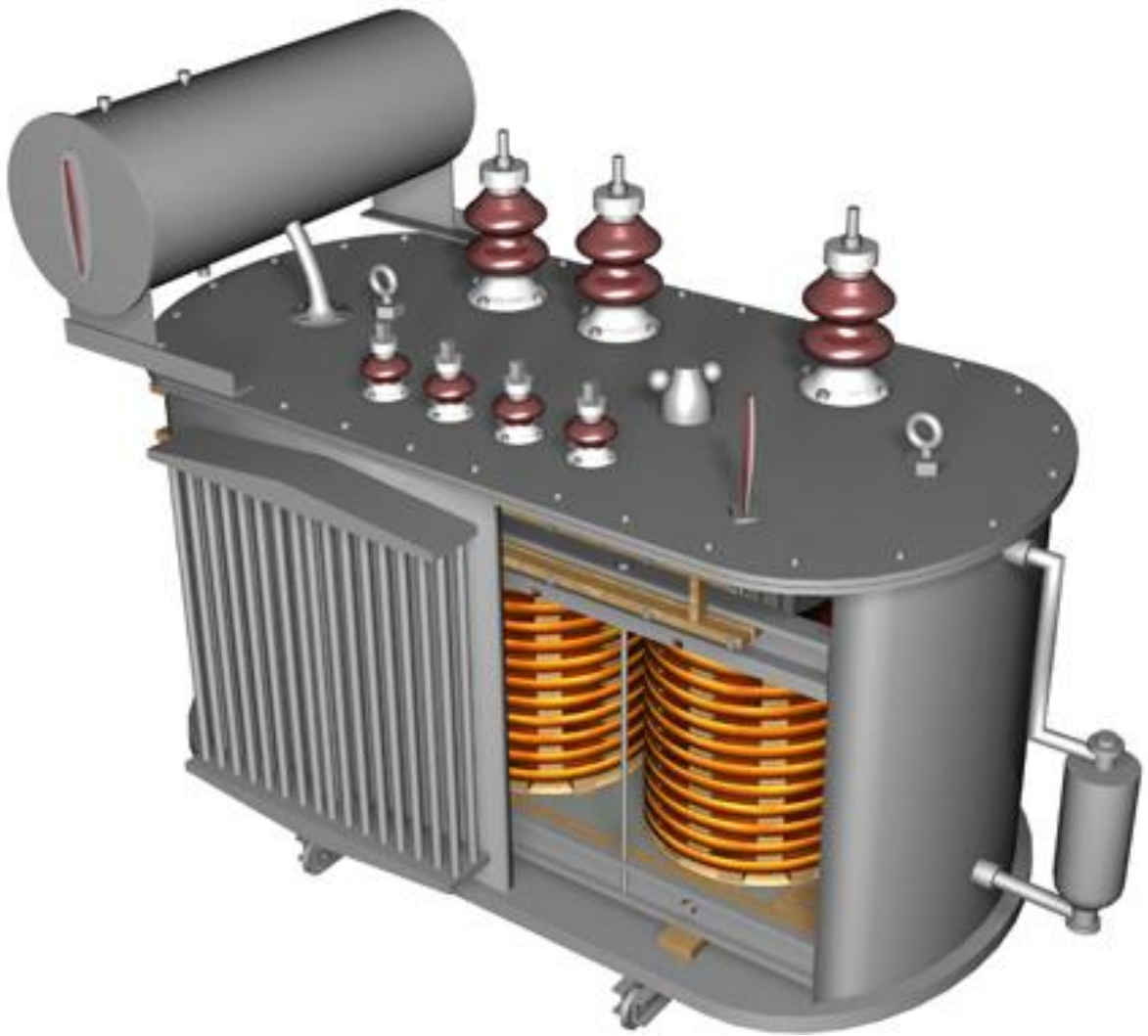


Рисунок 11 – Загальний вигляд трифазного масляного трансформатора середньої потужності

3.2 Вимірювання омичного опору обмоток трансформатора

Вимір омичного опору обмоток ВН і НН трансформатора здійснюється за допомогою вимірювального мосту, омметра, мультиметра або тестера. При вимірюванні опору обмоток слід визначити температуру трансформатора, прийнявши її рівною температурі навколишнього середовища, якщо до досліду трансфор-

матор тривалий час був відключений від мережі. За допомогою вимірювального приладу проводиться по 2-3 заміри опору обмоток кожної фази і визначається середнє значення опору фазних обмоток ВН і НН. Визначається також середні значення опорів первинної та вторинної обмоток трансформатора при температурі навколишнього середовища (20 °С) і розрахунковій температурі (75 °С). Результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювань і розрахунків омичного опору обмоток трансформатора

Обмотки ВН			Обмотки НН		
A-X	B-Y	C-Z	a-x	b-y	c-z
$R_{1A \text{ сер}} =$	$R_{1B \text{ сер}} =$	$R_{1C \text{ сер}} =$	$R_{2a \text{ сер}} =$	$R_{2b \text{ сер}} =$	$R_{2c \text{ сер}} =$
$R_{1(20^\circ\text{C})} =$	$R_{1(75^\circ\text{C})} =$		$R_{2(20^\circ\text{C})} =$	$R_{2(75^\circ\text{C})} =$	

Перерахунок опору обмоток на розрахункову температуру 75°С (348 К) для мідних обмоток проводиться за формулою

$$R_{1(75^\circ\text{C})} = R_{1(15^\circ\text{C})} \frac{235 + 75}{235 + 15}, \quad (1)$$

і в випадку алюмінієвих обмоток

$$R_{1(75^\circ\text{C})} = R_{1(15^\circ\text{C})} \frac{245 + 75}{245 + 15}. \quad (2)$$

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Відомості про типи, будову, способи та матеріали виготовлення магнітопроводів однофазних та трифазних трансформаторів, а також властивості та переваги електротехнічних сталей.

4.2 Відомості про типи, будову та матеріали виготовлення обмоток трансформаторів, про види обмоток за призначенням та величиною напруги.

4.3 Відомості про призначення елементів та принцип дії системи охолодження силових трансформаторів.

4.4 Відомості про прилади контролю та очищення трансформаторного масла, захисту та регулювання напруги трансформаторів.

4.5 Ескіз конструктивної схеми будови трифазного силового трансформатора.

4.6 Заповнену таблицю 1 з даними дослідів та розрахунків.

4.7 Аналіз отриманих результатів.

Контрольні питання

1 Дайте визначення, що називається трансформатором. Назвіть види ТР і пояснити їх призначення.

2 Представте конструктивну схему будови трифазного силового трансформатора з позначенням позицій і елементів конструкцій, а також їх назви, призначення і матеріалу виготовлення.

3 Назвіть типи і приведіть ескізи будови магнітопроводів однофазних і трьохфазних трансформаторів.

4 Назвіть переваги і види електротехнічних сталей, які використовуються для виготовлення магнітопроводів трансформаторів.

5 Назвіть типи обмоток силових трансформаторів. Види обмоток силових трансформаторів за способом розташування.

6 Поясніть властивості металів, які використовуються для виготовлення обмоток силових трансформаторів.

7 Назвіть елементи системи охолодження силового трансформатора і поясніть їх призначення.

8 У чому полягає принцип роботи системи охолодження трансформатора?

9 Поясніть, чим відрізняється холоднокатана і гарячекатана електротехнічні сталі, що застосовуються для виготовлення магнітопроводів трансформаторів. Назвіть переваги електротехнічних сталей.

10 Як позначаються за стандартом виводи обмоток ВН, НН, СН силового трансформатора?

11 Наведіть схему з'єднання обмоток «зірка-зигзаг» і «зірка-трикутник» з позначенням виводів обмоток.

12 Назвіть електричні схеми з'єднання обмоток силових ТР, які використовуються. Приведіть ці схеми з позначенням виводів обмоток, а також їх символічні позначення.

13 З якою метою обмотки силових ТР включають по схемі «зигзаг»?

14 Поясніть, що розуміється під групою з'єднання обмоток силового ТР. Від чого залежить група з'єднання обмоток силових трансформаторів?

15 Приведіть в умовних позначеннях поєднання схем і груп з'єднання обмоток силових трансформаторів, що випускаються сучасною промисловістю.

9 ДОСЛІДНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: засвоєння методики та придбання практичних навичок дослідного визначення коефіцієнту трансформації трифазних силових трансформаторів при різних схемах з'єднання обмоток.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати матеріали по рекомендованій літературі [1. с. 159 – 213, 3. с. 242 – 256, 5. с. 15 – 38, 9. с. 117 – 137], що стосуються конструкції та принципу дії трансформатора, а також призначення, особливостей конструкції та матеріалів виготовлення основних елементів конструкції силових трансформаторів.

1.2 Підготувати теоретичний матеріал, що стосується поняття коефіцієнту трансформації трансформатора, а також розібратись з позначенням виводів і схемами обмоток трифазних силових трансформаторів.

1.3 Вивчити методику дослідного визначення коефіцієнту трансформації обмоток трифазних силових трансформаторів при різних схемах з'єднання обмоток.

1.4 Ознайомитись з методичними вказівками до даної роботи і відповісти на контрольні питання.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням, записати паспортні дані трансформатора та вимірювальних приладів.

2.2 Визначити коефіцієнт трансформації трансформатора при різних схемах з'єднання обмоток.

2.3 Підготувати звіт по лабораторній роботі.

3 Основні теоретичні положення та вказівки по виконанню

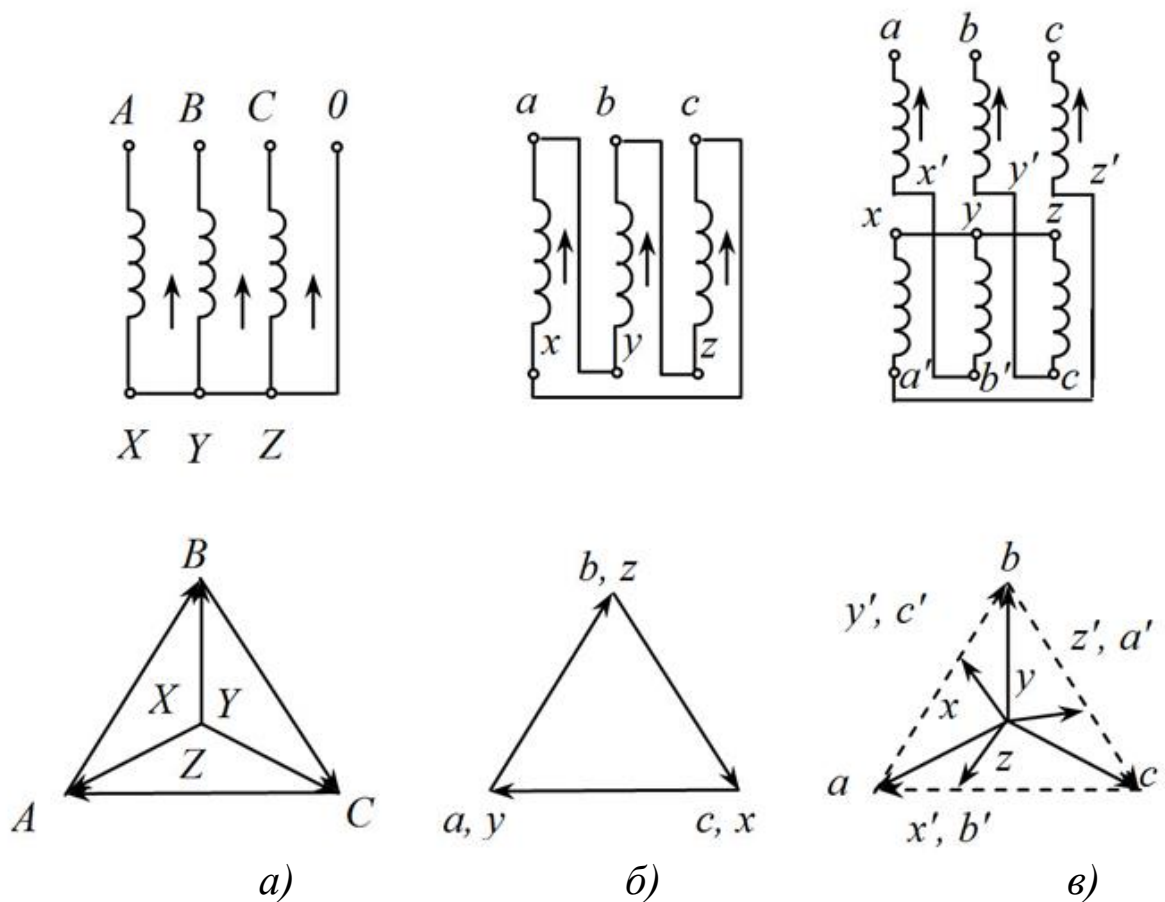
Трансформатор – статичний електромагнітний перетворювач електричної енергії, який має дві або більше індуктивно зв'язані обмотки і призначений для перетворення однієї системи напруг та струмів в іншу, без зміни частоти. Трансформатори використовуються також для перетворення числа фаз і частоти. В

сучасній електроенергетиці трансформатори використовуються на всіх стадіях виробництва, перетворення і використання електроенергії. Схемою з'єднання обмоток називають схему, за якою з'єднують обмотки всіх фаз однієї напруги. Обмотки трифазних трансформаторів прийнято з'єднувати за наступними схемами: зірка; зірка з нульовим виводом; трикутник; зигзаг з нульовим виводом (рис. 1).

Схеми з'єднання обмоток трансформатора позначають дробом, у чисельнику якого зазначена схема з'єднання обмоток ВН, а в знаменнику – обмоток НН. Наприклад, Y/Δ означає, що обмотки ВН з'єднані в зірку, а обмотки НН – у трикутник.

В схемах з'єднання за позитивний напрям ЕРС прийнято вважати напрям дії ЕРС від кінця обмотки до початку, що залежить від напрямку намотування обмотувального проводу. Якщо у однієї з обмоток змінити початок і кінець обмотки, то напрям ЕРС зміниться на протилежний і це буде означати, що змінився напрям намотки обмотки. Звісно таке припущення умовне, однак при роботі трифазного трансформатора, коли кожна фазна обмотка зчіпляється з потоками від інших фаз, буде мати істотне значення.

Вибір схеми з'єднання залежить від багатьох причин. Основними при виборі схеми є: вартість активних матеріалів, вартість ізоляційних матеріалів, трудомісткість виготовлення, вид навантаження та режим роботи трансформатора. Наприклад, схему зірка з нулем вибирають при відносно високій напрузі, що призводить до зниження вартості ізоляції, оскільки фазне значення напруги буде менше лінійного; схему трикутник використовують при аналізі роботи трансформатора, спираючись на величину впливу вищих гармонійних складових напруги і струмів, а також на несиметрію навантаження; схему зигзаг, як правило, використовують в спеціальних трансформаторах або при нерівномірному та несиметричному навантаженні, хоча витрати обмотувального проводу при виконанні за цією схемою збільшуються на 15%.



a - зірка з нульовим проводом; б - трикутник; в - зигзаг

Рисунок 1 – Схеми і векторні діаграми з'єднання обмоток трифазного трансформатора

Коефіцієнтом трансформації трансформатора називають відношення числа витків або фазних значень ЕРС обмоток ВН і НН. В трифазних трансформаторах розрізняють фазні (κ_ϕ) і лінійні (κ_λ) коефіцієнти трансформації. Значення коефіцієнтів трансформації κ_ϕ і κ_λ визначаються за даними вимірювань фазних та лінійних напруг обмоток ВН і НН при різних сполученнях схем з'єднання обмоток трансформатора, що приведені на рисунку 2.

Струм в режимі холостого ходу (х.х.) трансформатора дуже малий, тому напруги обмоток практично дорівнюють значенням відповідних ЕРС: $U_{1\phi} = E_{1\phi}$ і $U_{2\phi} = E_{2\phi}$. В результаті

$$K_{\phi} = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{E_{1\phi}}{E_{2\phi}} = \frac{W_1}{W_2}, \quad (3)$$

де W_1 і W_2 – число витків обмоток ВН і НН.

Значення лінійних коефіцієнтів трансформації визначається як співвідношення

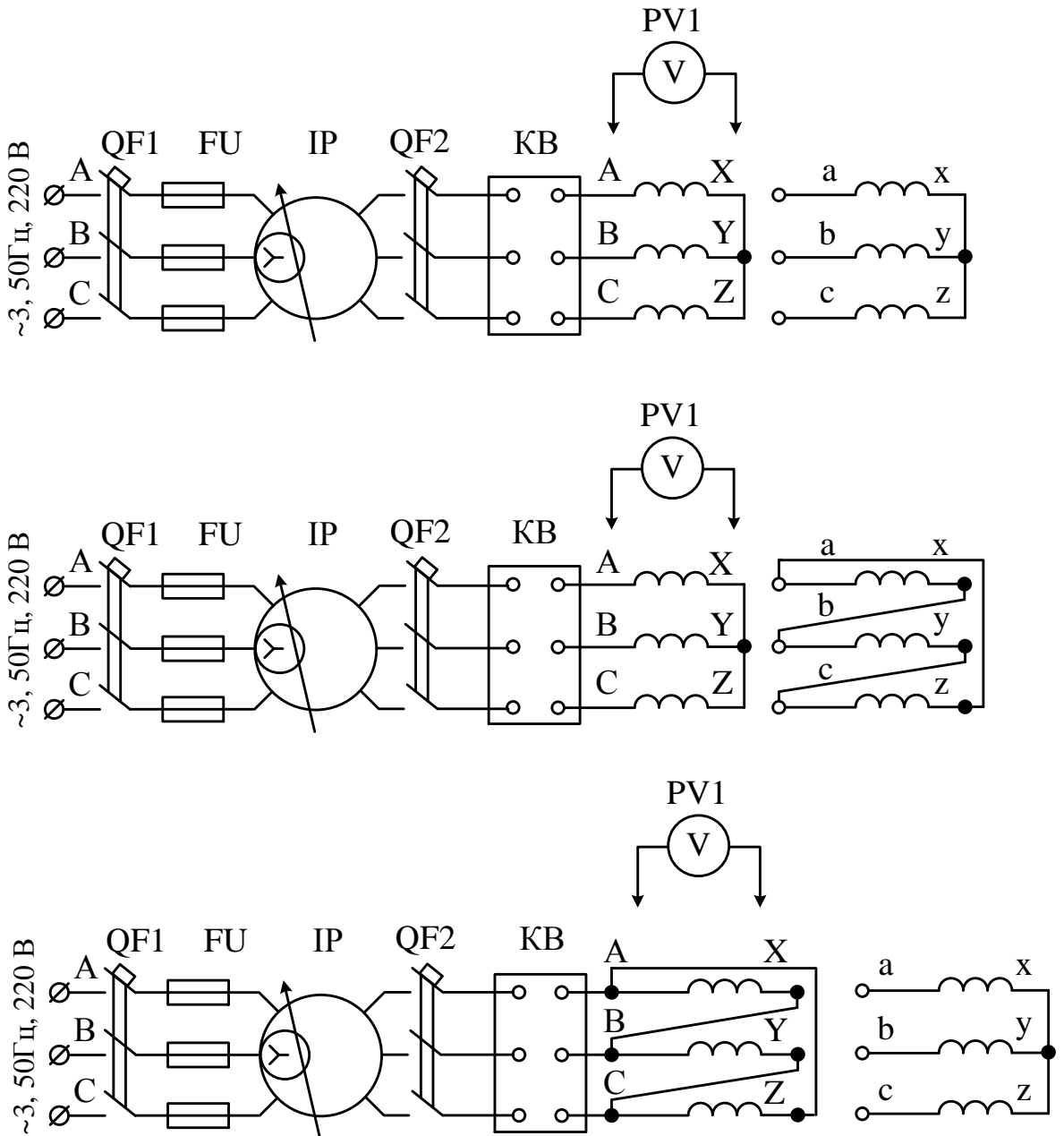
$$K_L = \frac{U_{1л}}{U_{2л}}. \quad (4)$$

Методика вимірювання напруги при різних схемах з'єднання обмоток полягає в наступному. До первинної обмотки (ВН) при розімкненій вторинній обмотці подається напруга трифазної мережі змінного струму через індукційний регулятор (ІР) або автотрансформатор (АТ). Значення цієї напруги повинно бути в межах 25-50% від номінальної $U_{1н}$.

За допомогою вольтметра з відповідними межами вимірювання необхідно провести заміри фазних та лінійних напруг обмоток трифазного трансформатора при різних сполученнях схем з'єднання обмоток (рис. 2). Далі по співвідношенням (3) та (4) визначаються значення коефіцієнтів K_{ϕ} та K_L . Результати вимірювань заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювань і розрахунків для визначення коефіцієнту трансформації трансформатора

Схема з'єднання обмоток	$\frac{U_{AB}}{U_{ab}}$	$\frac{U_{AX}}{U_{ax}}$	K_L	K_{ϕ}	$\frac{U_{BC}}{U_{bc}}$	$\frac{U_{BY}}{U_{by}}$	K_L	K_{ϕ}	$\frac{U_{CA}}{U_{ca}}$	$\frac{U_{CZ}}{U_{cz}}$	K_L	K_{ϕ}
Y/Y	—	—			—	—			—	—		
Y/ Δ	—	—			—	—			—	—		
Δ /Y	—	—			—	—			—	—		



IP – індукційний регулятор напруги; KB – комплект вимірювальний

Рисунок 2 – Схема електрична принципова для визначення коефіцієнту трансформації трансформатора при з'єднанні обмоток за схемами Y/Y, Y/Δ і Δ/Y

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему включення трифазного трансформатора для визначення коефіцієнта трансформації (рис. 2).

4.2 Заповнену таблицю 1 з даними вимірювань та розрахунковими даними.

4.3 Технічну характеристику силового трансформатора, а також обладнання і вимірювальних приладів, що використовувалися в дослідах.

4.4 Аналіз отриманих результатів.

Контрольні питання

1 Наведіть існуючі електричні схеми з'єднання обмоток силових трансформаторів.

2 Наведіть позначення виводів обмоток ВН і НН трифазних трансформаторів за стандартом.

3 Поясніть принцип дії трансформатора.

4 Поясніть, що називається коефіцієнтом трансформації трансформатора?

5 Наведіть види коефіцієнтів трансформації та методику їх визначення.

6 Наведіть методику дослідного визначення коефіцієнту трансформації трансформатора при різних схемах з'єднання обмоток ВН та НН.

7 Назвіть способи, якими можна визначити омичний опір обмоток трансформатора.

8 Поясніть, що розуміють під групою з'єднання обмоток трансформатора?

9 Від чого залежить група з'єднання обмоток силового трансформатора?

10 Поясніть коротко принцип дослідного визначення групи з'єднання обмоток трифазних трансформаторів.

11 З якими схемами з'єднання обмоток випускаються трансформатори промисловістю?

10 ДОСЛІДНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГРУПИ З'ЄДНАННЯ ОБМОТОК ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: засвоєння методики та придбання практичних навичок дослідного визначення групи з'єднання обмоток трифазних силових трансформаторів при різних схемах з'єднання обмоток.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати матеріали по рекомендованій літературі [1. с. 153 – 238, 3. с. 242 – 301, 5. с. 15 – 65, 9. с. 117 – 191], що стосуються конструкції та принципу дії трансформатора, а також призначення, особливостей конструкції та матеріалів виготовлення основних елементів конструкції силових трансформаторів.

1.2 Підготувати теоретичний матеріал, що стосується поняття групи з'єднання обмоток трансформатора, а також розібратись з позначенням виводів і схемами обмоток трифазних силових трансформаторів.

1.3 Вивчити методику дослідного визначення групи з'єднання обмоток трифазних силових трансформаторів при різних схемах з'єднання обмоток.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням, записати паспортні дані трансформатора та вимірювальних приладів.

2.2 Визначити групу з'єднання обмоток трансформатора при різних схемах з'єднання обмоток.

2.3 Підготувати звіт по лабораторній роботі.

3 Основні теоретичні положення та вказівки по виконанню

Трансформатор – статичний електромагнітний перетворювач електричної енергії, який має дві або більше індуктивно зв'язані обмотки і призначений для перетворення однієї системи напруг та струмів в іншу, без зміни частоти. Трансформатори ви-

користовуються також для перетворення числа фаз і частоти. В сучасній електроенергетиці трансформатори використовуються на всіх стадіях виробництва, перетворення і використання електроенергії.

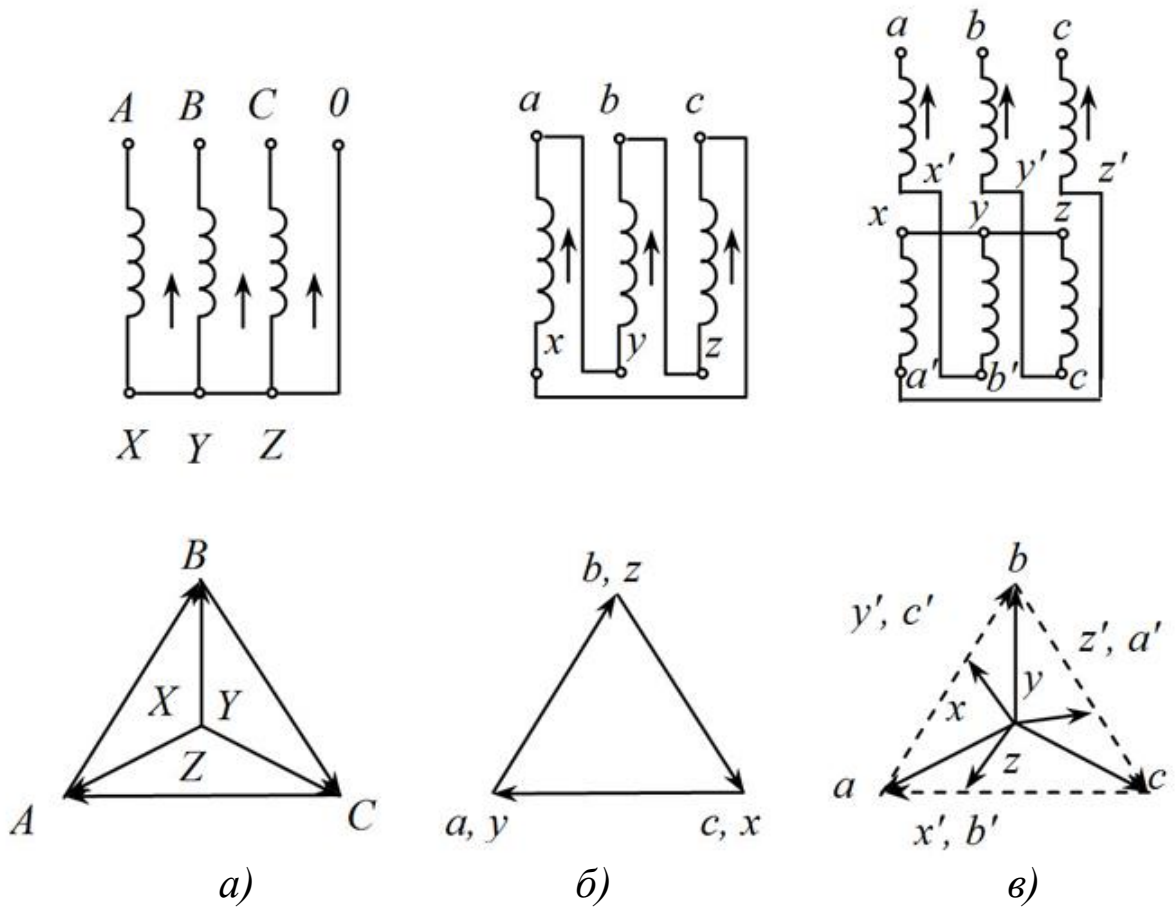
Схемою з'єднання обмоток називають схему, за якою з'єднують обмотки всіх фаз однієї напруги. Обмотки трифазних трансформаторів прийнято з'єднувати за наступними схемами: зірка; зірка з нульовим виводом; трикутник; зигзаг з нульовим виводом (рис. 1).

Схеми з'єднання обмоток трансформатора позначають дробом, у чисельнику якого зазначена схема з'єднання обмоток ВН, а в знаменнику – обмоток НН. Наприклад, Y/Δ означає, що обмотки ВН з'єднані в зірку, а обмотки НН – у трикутник.

В схемах з'єднання за позитивний напрям ЕРС прийнято вважати напрям дії ЕРС від кінця обмотки до початку, що залежить від напрямку намотування обмотувального проводу. Якщо у однієї з обмоток змінити початок і кінець обмотки, то напрям ЕРС зміниться на протилежний і це буде означати, що змінився напрям намотки обмотки. Звісно таке припущення умовне, однак при роботі трифазного трансформатора, коли кожна фазна обмотка зчіпляється з потоками від інших фаз, буде мати істотне значення.

Вибір схеми з'єднання залежить від багатьох причин. Основними при виборі схеми є: вартість активних матеріалів, вартість ізоляційних матеріалів, трудомісткість виготовлення, вид навантаження та режим роботи трансформатора. Наприклад, схему зірка з нулем вибирають при відносно високій напрузі, що призводить до зниження вартості ізоляції, оскільки фазне значення напруги буде менше лінійного; схему трикутник використовують при аналізі роботи трансформатора, спираючись на величину впливу вищих гармонійних складових напруги і струмів, а також на несиметрію навантаження; схему зигзаг, як правило, використовують в спеціальних трансформаторах або при нерівномірному та несиметричному навантаженні, хоча витрати обмо-

тувального проводу при виконанні за цією схемою збільшуються на 15%.



a - зірка з нульовим проводом; *б* - трикутник; *в* - зигзаг

Рисунок 1 – Схеми і векторні діаграми з'єднання обмоток трифазного трансформатора

Під групою з'єднання розуміють кут зсуву по фазі між лінійними векторами ЕРС або напруги однойменних фаз обмотки ВН і НН трансформатора. За одиницю кута зсуву приймають кут в 30° .

В однофазному трансформаторі ЕРС первинної та вторинної обмоток можуть збігатися за фазою чи бути зсунуті на 180° . Група з'єднання залежить від напрямку намотуваних обмоток і позначення виводів (маркування). Якщо обмотки трансформатора намотані в один бік і мають симетричне маркування (рис. 2, а), то

індуковані в них ЕРС будуть спрямовані однаково (група 0). У разі зміни маркування виводів чи напрямку намотування однієї з обмоток (рисунок 2, б) спостерігається зсув за фазою між векторами первинної та вторинної ЕРС на 180° (група б). Групи з'єднань позначають цілими числами від 0 до 11.

Із двох можливих груп з'єднань однофазних трансформаторів – I/I-0 і I/I-6 – промисловість випускає тільки I/I-0, в яких ЕРС первинної та вторинної обмоток збігаються за фазою.

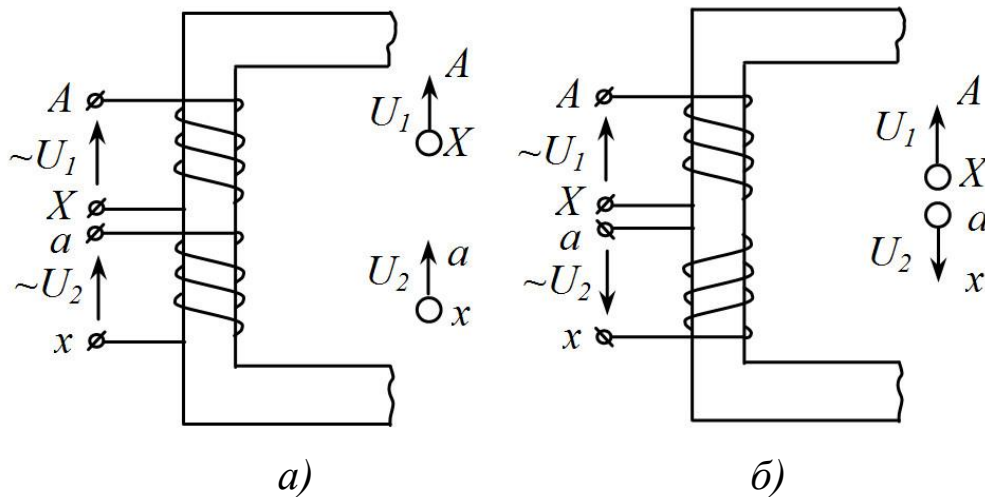
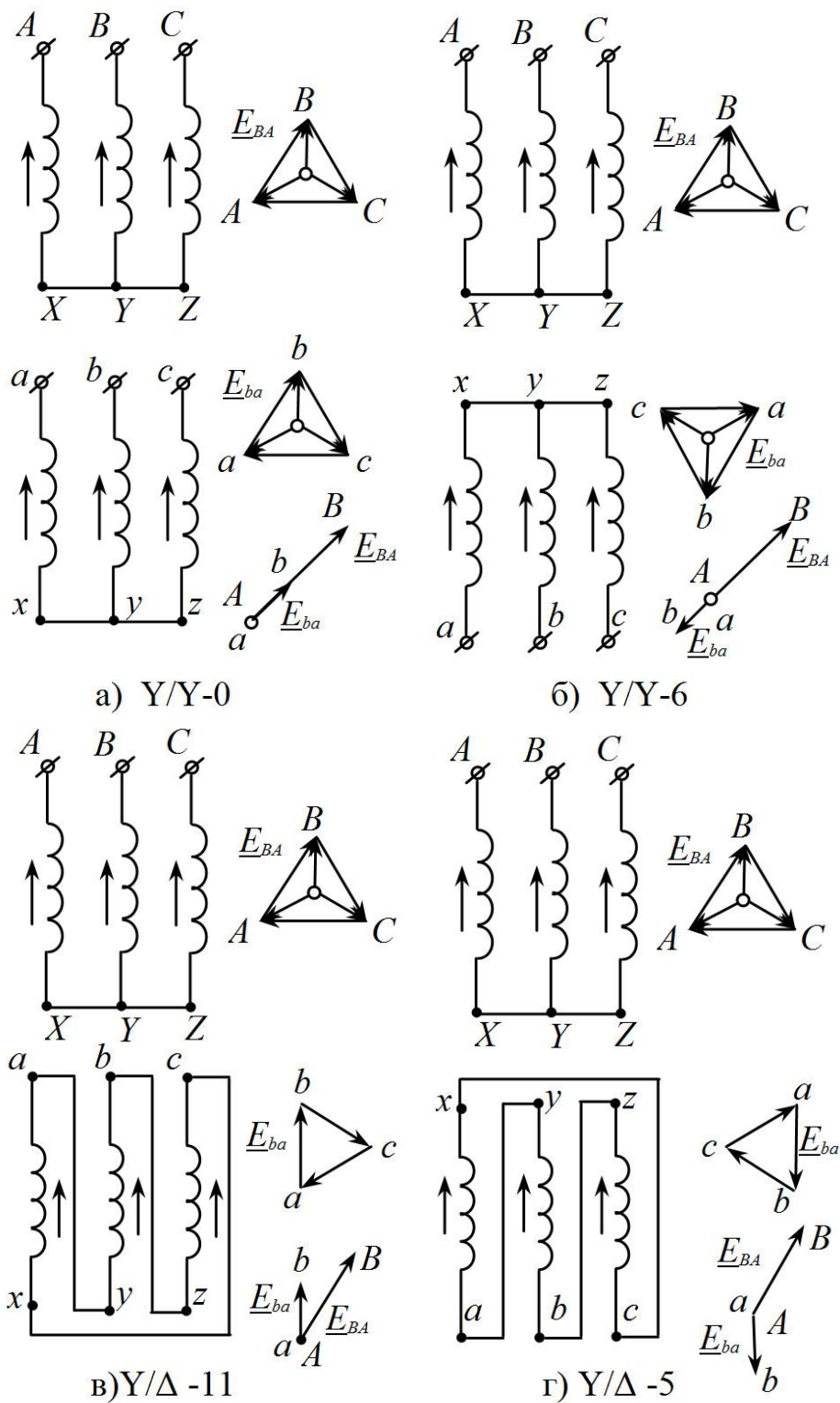


Рисунок 2 – Схеми і векторні діаграми з'єднання обмоток трифазного трансформатора

У трифазних трансформаторах фазові ЕРС двох обмоток, розташованих на одному стрижні, можуть, як і в однофазних трансформаторах, або збігатися, або бути протилежного напрямку. Однак залежно від схеми з'єднання обмоток і порядку з'єднання їх початків і кінців можуть виходити різні кути зсуву фаз між лінійними ЕРС. Наприклад, на рисунку 3 показано схеми з'єднання обмоток Y/Y та відповідні векторні діаграми для нульової (рис. 3, а) і шостої (рис. 3, б) груп. На рисунку 3, в, г показано схеми з'єднання обмоток Y/ Δ і відповідні векторні діаграми одинадцятої та п'ятої груп.



а – нульова; б – шоста; в – одинадцята; г – п'ята

Рисунок 3 – Групи з'єднання обмоток трифазного трансформатора

Змінюючи маркування виводів обмоток, можна одержати й інші групи з'єднання: при схемах Y/Y , Δ/Δ – парні: другу, четверту і т. д.; при схемах Δ/Y , Y/Δ і Y/Z – непарні: першу, третю і т. д. Відповідно до Держстандарту промисловість випускає трифазні силові трансформатори тільки двох груп – нульової та одинадцятої. Це полегшує практичне вмикання трансформаторів на паралельну роботу.

Група з'єднання обмоток трансформатора визначається кутом зсуву фаз між однойменними векторами лінійних ЕРС або напруг обмоток ВН та НН. Для визначення групи з'єднання обмоток трансформатора використовують метод вимірювання напруги вольтметром. Сутність метода базується на тому, що величина напруги між первинними і вторинними затискачами трансформатора знаходиться в залежності від коефіцієнта трансформації і групи з'єднання обмоток.

Дослідним шляхом група з'єднання обмоток визначається наступним чином. На затискачі первинної обмотки подається симетрична напруга і визначається лінійний коефіцієнт трансформації по рівнянню (1).

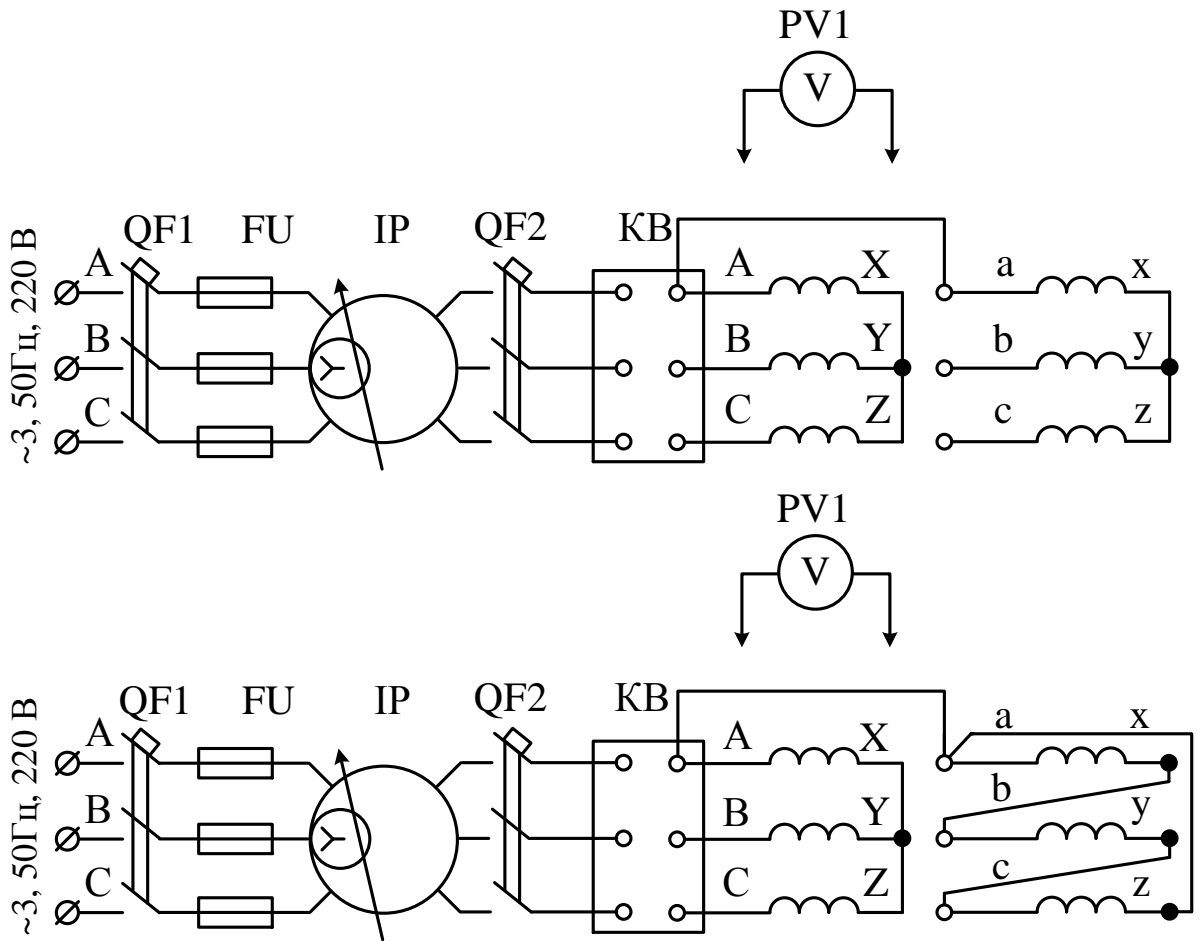
Після цього з'єднуються електрично два однойменних виводи трансформатора, наприклад «А» та «а», після цього необхідно виміряти напруги $U_{\delta B}$, U_{cB} та U_{cC} . Дослід проводиться при з'єднанні обмоток за схемами Y/Y та Y/Δ (рис. 4).

Дані дослідів заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані вимірювань для визначення групи з'єднання

Схема з'єднання обмоток	U_{AB}	U_{aB}	$U_{\delta B}$	U_{cB}	U_{cC}
	В	В	В	В	В
Y/Y					
Y/Δ					

За допомогою спеціальної таблиці в додатку А і за даними вимірів і розрахунків для обраної схеми з'єднання обмоток визначається група з'єднання обмоток.



IP – індукційний регулятор напруги;
KV – комплект вимірювальний.

Рисунок 4 – Схема для визначення групи з'єднання обмоток трансформатора

Так для групи Y/Y-0 виміряна при досліді напруги U_{bV} і U_{cC} повинні дорівнюватися значенню напруги, що розраховується за формулою

$$U_{bV} = U_{cC} = U_{2л} (K_{л} - 1), \quad (1)$$

де $U_{2л}$ – лінійна напруга на затискачах обмотки НН.

При цьому виміряна напруга $U_{св}$ за величиною повинна бути більше напруги $U_{вв}$ (див таблицю додатку А)

Група з'єднання обмоток трифазних трансформаторів залежить від:

- схеми з'єднання обмоток ВН і НН;
- позначення виводів обмоток трансформатора;
- напрямку намотки обмоток трансформатора (за годинниковою стрілкою або проти).

Можлива розмаїтість груп з'єднання обмоток трансформаторів (всього 12) викликала б великі труднощі на практиці, наприклад, при включенні трансформаторів на паралельну роботу. З цієї причини, у відповідності з стандартом, промисловістю випускаються силові трансформатори загального призначення тільки 0 і 11 групи з'єднання обмоток.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричні схеми включення трифазного трансформатора для визначення групи з'єднання обмоток трансформатора (рис. 4).

4.2 Заповнену таблицю 1 з даними вимірювань для визначення групи з'єднання.

4.3 Номер групи з'єднання обмоток трансформатора при різних схемах обмоток.

4.4 Технічну характеристику силового трансформатора, а також обладнання і вимірювальних приладів, що використовувалися в досліді.

4.5 Аналіз отриманих результатів.

Контрольні питання

- 1 Дайте визначення, який пристрій називають трансформатором?
- 2 Назвіть основне призначення силових трансформаторів.
- 3 Назвіть основні елементи конструкції силового трансформатора.
- 4 Назвіть типи, конструкцію та матеріал виготовлення магнітопроводів силового трансформатора.
- 5 Назвіть типи і матеріал виготовлення обмоток силових трансформаторів.
- 6 Наведіть існуючі електричні схеми з'єднання обмоток силових трансформаторів.
- 7 Наведіть позначення виводів обмоток ВН і НН трифазних трансформаторів за стандартом.
- 8 Поясніть принцип дії трансформатора.
- 9 Поясніть, що називається коефіцієнтом трансформації трансформатора?
- 10 Наведіть види коефіцієнтів трансформації та методику їх визначення.
- 11 Наведіть методику дослідного визначення коефіцієнту трансформації трансформатора при різних схемах з'єднання обмоток ВН та НН.
- 12 Назвіть способи, якими можна визначити омичний опір обмоток трансформатора.
- 13 Поясніть, що розуміють під групою з'єднання обмоток трансформатора?
- 14 Від чого залежить група з'єднання обмоток силового трансформатора?
- 15 Поясніть коротко принцип дослідного визначення групи з'єднання обмоток трифазних трансформаторів.
- 16 З якими схемами з'єднання обмоток випускаються трансформатори промисловістю?

11 ДОСЛІД ХОЛОСТОГО ХОДУ ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: засвоєння методики і закріплення практичних навиків проведення дослідів холостого ходу (х.х.) силового трансформатора, а також побудови характеристик, розрахунку параметрів та енергетичних показників, що визначають властивості трансформатора в режимі х.х.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій літературі [1. с. 153 – 238, 3. с. 242 – 301, 5. с. 15 – 65, 9. с. 117 – 191] матеріали, що стосуються властивостей трифазних стрижневих трансформаторів в режимі х.х.

1.2 Ознайомитися з типовою методикою проведення дослідів х.х. трансформаторів і обробки дослідних даних.

1.3 Ознайомитися з методикою виконання даної роботи та усно відповісти на контрольні питання.

1.4 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі для запису спостережень, обробки і аналізу дослідних даних.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися з робочим місцем, обладнанням і вимірювальними приладами для випробування трансформатора в досліді х.х. Записати паспортні дані трансформатора. Визначити номінальний струм трансформатора.

2.2 Зібрати електричну схему випробування трансформатора в режимі х.х. (рис. 1) і провести дослід х.х. трансформатора у відповідності з типовою методикою випробування трансформатора.

2.3 Опрацювати дослідні дані та на основі їх аналізу пояснити результати дослідів х.х. трансформатора.

1.8 Визначити за даними дослідів х.х. значення параметрів схеми заміщення трансформатора.

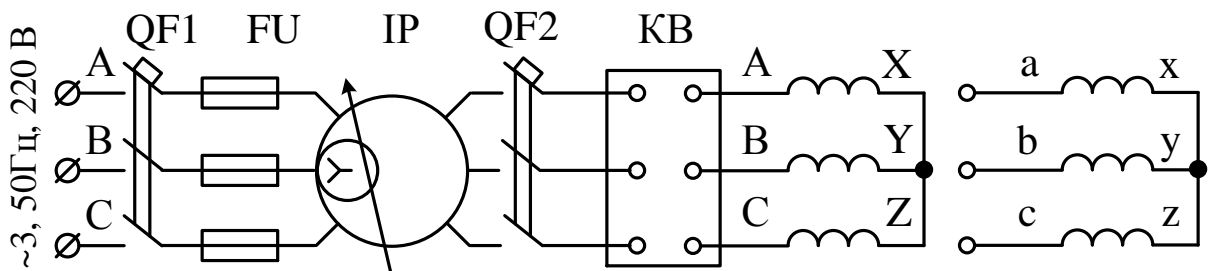
1.9 Підготувати звіт по лабораторній роботі.

3 Основні теоретичні положення та вказівки по виконанню

3.1 Методика проведення досліду холостого ходу трансформатора

Електрична схема включення трансформатора в досліді х.х. приведена на рис. 1. Первинна обмотка через автотрансформатор або індукційний регулятор напруги включається в мережу змінного струму. Вторинна обмотка трансформатора розімкнена.

Методика проведення досліду х.х. трансформатора полягає в наступному. На первинну обмотку трансформатора, при розімкненій вторинній обмотці, подається напруга змінного струму, що регулюється. Номінальна частота струму складає $f_{IH} = 50 \text{ Гц}$. В досліді х.х. напруга, що підводиться до первинної обмотки змінюється в таких межах: $(0,25 \dots 1,25)U_{1n}$.



IP – індукційний регулятор напруги;
KB комплект вимірювальний.

Рисунок 1 – Електрична схема досліду холостого ходу трифазного силового трансформатора

При кожному значенні напруги вимірюються струми та потужності х.х. в фазах трансформатора. Всього знімається 8...10 точок. Обов'язково проводиться дослід при $U_{10} = U_{1n}$. Результати вимірювань заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні та розрахункові дані дослідів х.х.

№ досліду	U_{AB}	U_{BC}	U_{AC}	U_0	I_{0A}	I_{0B}	I_{0C}	I_0	P_{0A}	P_{0B}	P_{0C}	P_0	$\cos \varphi_0$
	В	В	В	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	в.о.
1													
...													
8													

$$P_0 = P_{0A} + P_{0B} + P_{0C}; \quad \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_0 I_0}; \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_{0A} + I_{0B} + I_{0C}); \quad U_0 = \frac{1}{3}(U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}).$$

3.2 Побудова характеристик холостого ходу трансформатора

Характеристики х.х. трансформатора представляють собою графічні залежності

$$I_0, P_0, \cos \varphi_0 = f(U_0), \text{ при } I_2=0.$$

Характеристики х.х. слід побудувати за даними наведеними в таблиці 1. Приблизний вигляд характеристик х.х. трансформатора представлено на рис. 2.

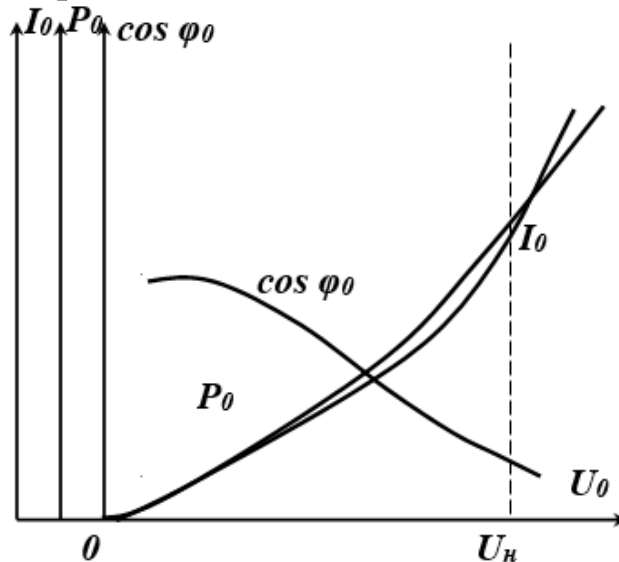
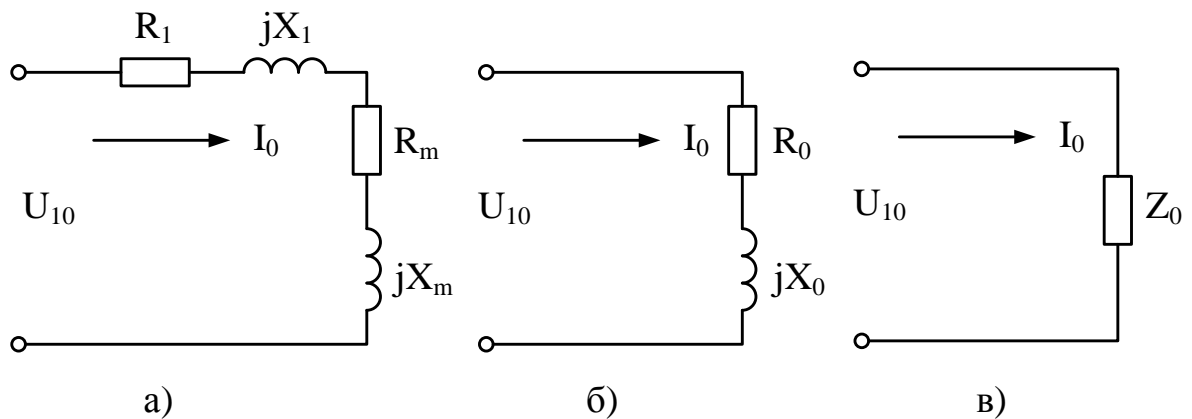


Рисунок 2 – Характеристики холостого ходу силового трансформатора

Необхідно провести аналіз і вміти пояснити вид характеристик х.х.

3.3 Визначення параметрів холостого ходу трансформатора

Параметрами х.х. трансформатора називаються активний, індуктивний та повний опір х.х. трансформатора R_0 , X_0 і Z_0 . Рівняння для розрахункового визначення параметрів х.х. можуть бути отримані на основі наступних схем заміщення трансформатора в режимі х.х., що були отримані на основі точної схеми заміщення трансформатора [1, 2].



- а) точна схема заміщення трансформатора в досліді х.х;
- б) розрахункова схема заміщення трансформатора в досліді х.х;
- в) спрощена схема заміщення трансформатора в досліді х.х

Рисунок 3 – Схеми заміщення трансформатора в досліді х.х.

Згідно рисунку 3

$$Z_0 = \frac{U_{10}}{I_0}, \text{ при цьому } Z_0 = R_0 + jX_0. \quad (2)$$

Із схеми на рис 3, б виходить, що

$$R_0 = \frac{P_0}{3I_0^2}, \text{ при цьому } R_0 = R_1 + R_m. \quad (3)$$

Значення індуктивного опору визначається по відомому співвідношенню

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}. \quad (4)$$

Параметри х.х. необхідно розрахувати при $U_0=U_{1н}$ і значеннях P_0 та I_0 при $U_{10}=U_{1н}$.

3.4 Визначення потужності магнітних втрат в трансформаторі

За стандартом за потужність магнітних втрат в трансформаторі приймається потужність холостого ходу P_0 при номінальному значенні напруги $U_{1н}$ ($U_0=U_{1н}$). Тому в досліді х.х. потужність магнітних втрат $\Delta P_{мг}$ визначається ватметром, приймаючи

$$\Delta P_{мг} = P_{0н} \quad \text{при } U_{1н}. \quad (5)$$

Значення потужності $P_{0н}$ при номінальному значенні напруги приведено в паспортних даних силових трансформаторів. Магнітні втрати в трансформаторах прийнято відносити до сталих втрат, незалежних від струмів завантаження трансформатора.

3.5 Визначення струму холостого ходу трансформатора

Струм холостого ходу трансформатора визначається безпосереднім вимірюванням на холостому ході при напрузі $U_0=U_{1н}$. Зазвичай струм х.х. трансформатора прийнято виражати у відсотках від номінального значення струму трансформатора $I_{1н}$

$$i_{0\%} = \frac{I_0}{I_{1н}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

При цьому

$$I_{1н} = \frac{S_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{1н}}. \quad (7)$$

Значення струму х.х. $i_{0\%}$ силових трансформаторів також приводиться в паспортних даних силових трансформаторів, і знаходиться в межах $i_{0\%} = 2...3\%$ для трансформаторів малої потужності.

3.6 Визначення коефіцієнта трансформації трансформатора

Коефіцієнт трансформації трансформатора за даними дослідження холостого ходу визначається співвідношенням

$$k = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{E_{1\phi}}{E_{2\phi}}. \quad (8)$$

При цьому величина k визначається при значеннях $U_{1\phi} \leq 0,5 U_{1\phi н}$.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему дослідження х.х. трансформатора (рис. 1).

4.2 Заповнену таблицю 1 з даними вимірювань та розрахунковими даними.

4.3 Характеристики холостого ходу трансформатора, побудовані за даними дослідження х.х. з поясненням виду характеристик.

4.4 Значення параметрів х.х. трансформатора.

4.5 Значення потужності втрат холостого ходу і короткого замикання.

4.6 Значення струму холостого ходу трансформатора в відсотках $i_{0\%}$.

4.7 Технічну характеристику силового трансформатора, а також обладнання і вимірювальних приладів, що використовувалися в досліді х.х.

4.8 Аналіз отриманих результатів.

Контрольні питання

1 Поясніть, що означає режим холостого ходу силового трансформатора?

2 Наведіть мету проведення дослідів холостого ходу трансформатора.

3 Поясніть методику проведення дослідів х.х. трансформатора.

4 Наведіть графічні залежності, що називаються характеристиками х.х. силового трансформатора.

5 Наведіть та поясніть схеми заміщення трансформатора в досліді х.х.

6 Поясніть, які опори називають параметрами х.х. трансформатора? Їх фізичний сенс.

7 Наведіть методику визначення параметрів х.х. трансформатора за даними дослідів х.х.

8 Поясніть, яка потужність за стандартом приймається за потужність магнітних втрат трансформатора? З якої причини магнітні втрати відносять до сталих (незмінних) втрат трансформатора?

9 Дайте визначення коефіцієнту потужності х.х. силового трансформатора. Приблизне його значення при номінальній напрузі?

10 Поясніть, на що витрачається активна (P_0) та реактивна (Q_0) потужності, споживані трансформатором в режимі х.х.?

11 Наведіть методику визначення струму холостого ходу трансформатора та його приблизну величину в відсотках.

12 Поясніть причини обов'язкового проведення в досліді х.х. трансформатора експерименту при номінальному значенні напруги.

13 Дайте визначення, що називається коефіцієнтом трансформації трансформатора і як його значення визначається дослідним шляхом?

12 ДОСЛІД КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: засвоєння методики і закріплення практичних навиків проведення досліду короткого замикання (к.з.) силового трансформатора, а також побудови характеристик, розрахунку параметрів та енергетичних показників, що визначають властивості трансформатора в режимах к.з.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій літературі [1. с. 153 – 238, 3. с. 242 – 301, 5. с. 15 – 65, 9. с. 117 – 191] матеріали, що стосуються властивостей трифазних стрижневих трансформаторів в режимі к.з. при зниженій напрузі джерела живлення.

1.2 Ознайомитися з типовою методикою проведення досліду к.з. трансформаторів і обробки дослідних даних.

1.3 Ознайомитися з методичними вказівками до даної роботи та усно відповісти на контрольні питання.

1.4 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі для запису спостережень, обробки і аналізу дослідних даних.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися з робочим місцем, обладнанням і вимірювальними приладами для випробування трансформатора в досліді к.з. Записати паспортні дані трансформатора. Визначити номінальний струм трансформатора.

2.2 Зібрати електричну схему випробування трансформатора в режимі к.з. (рис. 1) і провести дослід к.з. трансформатора у відповідності з типовою методикою випробування трансформатора.

2.3 Опрацювати дослідні дані та на основі їх аналізу пояснити результати досліду к.з. трансформатора.

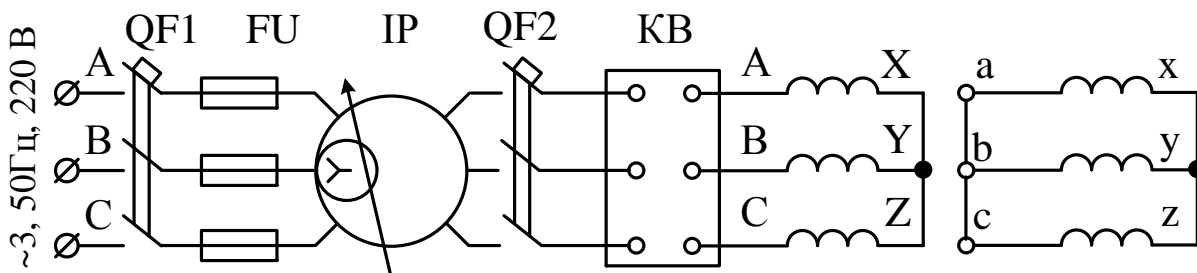
2.4 Визначити за даними досліду к.з. значення параметрів схеми заміщення трансформатора.

1.9 Підготувати звіт по лабораторній роботі.

3 Основні теоретичні положення та вказівки по виконанню

3.1 Методика проведення досліду короткого замикання

Електрична схема включення трансформатора в досліді к.з. наведена на рис. 1. Первинна обмотка через автотрансформатор або індукційний регулятор напруги включається в мережу змінного струму на досить знижену напругу в порівнянні з номінальною. Вторинна обмотка замкнена накоротко.



ІР – індукційний регулятор напруги;
КВ комплект вимірювальний.

Рисунок 1 – Електрична схема досліду короткого замикання трифазного силового трансформатора

Методика проведення досліду к.з. трансформатора полягає в наступному. В досліді к.з. знижена напруга, що підводиться до первинної обмотки змінюється в таких межах, щоб струм к.з. дорівнював $(0,5...1,5) I_n$. Всього знімається 8...10 точок. При цих значеннях струму к.з. I_k , вимірюються значення струмів, потужностей к.з. P_k і напруг U_k в фазах трансформатора. Обов'язково проводиться дослід при $I_k = I_n$. Результати вимірювань заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні та розрахункові дані досліду к.з.

№ досліду	U_{AB}	U_{BC}	U_{AC}	U_{κ}	$I_{\kappa A}$	$I_{\kappa B}$	$I_{\kappa C}$	I_{κ}	$P_{\kappa A}$	$P_{\kappa B}$	$P_{\kappa C}$	P_{κ}	$\cos \varphi_{\kappa}$
	В	В	В	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	в.о.
1													
...													
8													

$$P_{\kappa} = P_{\kappa A} + P_{\kappa B} + P_{\kappa C}; \quad I_{\kappa} = \frac{1}{3}(I_{\kappa A} + I_{\kappa B} + I_{\kappa C});$$

$$U = \frac{1}{3}(U_{\kappa AB} + U_{\kappa BC} + U_{\kappa AC}); \quad \cos \varphi_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{\sqrt{3}U_{\kappa l} \cdot I_{\kappa}}; \quad (1)$$

3.2 Побудова характеристик короткого замикання трансформатора

Характеристики к.з. трансформатора представляють собою графічні залежності

$$I_{\kappa}, P_{\kappa}, \cos \varphi_{\kappa} = f(U_{\kappa}), \text{ при } U_2=0.$$

Характеристики к.з. слід побудувати за даними наведеними в таблиці 1. Характеристики будуються для лінійних значень напруг $U_{\kappa l}$. Приблизний вигляд характеристик к.з. трансформатора представлені на рисунку 2.

3.3 Визначення параметрів короткого замикання трансформатора

Параметрами к.з. трансформатора називаються активний, індуктивний та повний опір к.з. трансформатора R_{κ}, X_{κ} і Z_{κ} . При цьому

$$R_{\kappa} = R_1 + R'_2, \quad X_{\kappa} = X_1 + X'_2;$$

$$Z_{\kappa} = R_{\kappa} + jX_{\kappa} \text{ або } Z_{\kappa} = \sqrt{R_{\kappa}^2 + X_{\kappa}^2}, \quad (2)$$

де $R_1; R'_2; X_2; X'_2$ - параметри точної схеми заміщення трансформатора [1,2]. Досліді к.з. відповідають схеми заміщення, що наведені на рис. 3.

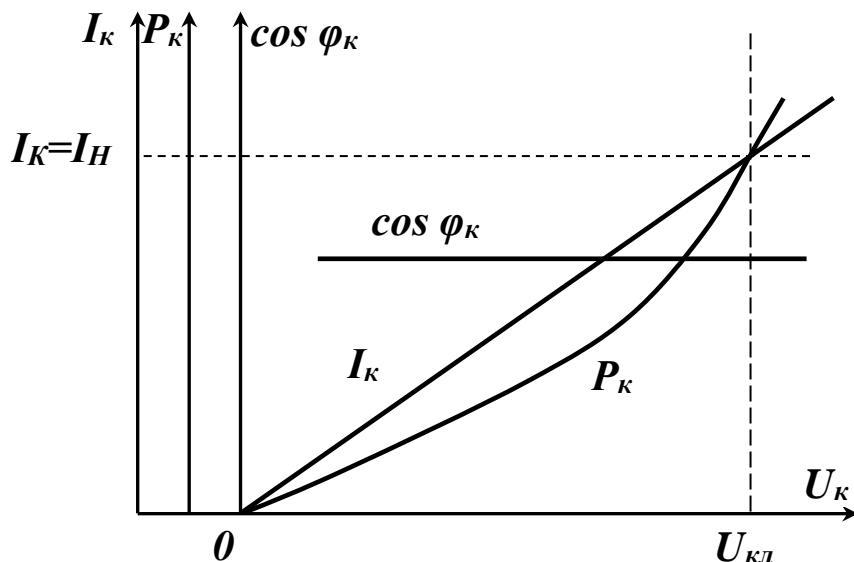
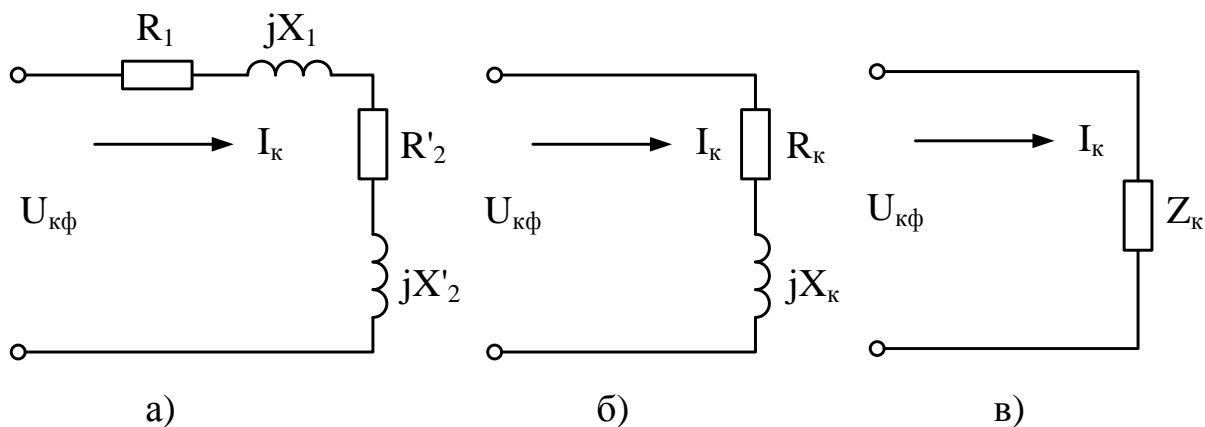


Рисунок 2 – Характеристики короткого замикання силового трансформатора

Необхідно провести аналіз і вміти пояснити вид характеристик к.з.



- а) точна схема заміщення трансформатора в досліді к.з.;
- б) розрахункова схема заміщення трансформатора в досліді к.з.;
- в) спрощена схема заміщення трансформатора в досліді к.з.

Рисунок 3 – Схеми заміщення трансформатора в досліді к.з.

У відповідності до схемам заміщення на рис. 3 рівняння розрахункового визначення параметрів к.з. можуть бути отримані в наступному виді

$$Z_K = \frac{U_{к.ф}}{I_K}; \quad R_K = \frac{P_K}{3I_K^2}; \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}. \quad (3)$$

Параметри к.з. розраховуються при $I_K=I_H$ і значеннях P_K і U_K при $I_K=I_H$.

3.4 Визначення потужності електричних втрат в трансформаторі

За стандартом за потужність електричних втрат в трансформаторі приймається потужність короткого замикання $P_{к.н}$ при струмі короткого замикання що дорівнює номінальному $I_K=I_H$. Тому потужність електричних втрат в трансформаторі визначається безпосереднім вимірюванням ватметрами при $I_K=I_H$, приймаючи $\Delta P_{e1} + \Delta P_{e2} = P_K$ при I_{1H} .

При цьому

$$\Delta P_{e1} = mI_1^2 R_1; \quad \Delta P_{e2} = m(I_2')^2 R_2' = mI_2^2 R_2; \quad P_{к.н} = mI_{1H}^2 R_K, \quad (4)$$

де m – число фаз трансформатора.

Електричні втрати в трансформаторі відносяться до змінних втрат. Значення потужності $P_{к.н}$ наведено в паспортних даних силових трансформаторів.

3.5 Визначення напруги короткого замикання трансформатора

Напругою короткого замикання трансформатора називається така лінійна напруга ($U_{кл}$), що подається на первинну обмотку трансформатора при замкненій накоротко вторинної обмотки, коли по обмоткам трансформатора протікають номінальні струми ($I_K=I_{кн}$).

Зазвичай напругу к.з. трансформатора наводять у відсотках від номінального значення напруги первинної обмотки трансформатора

$$u_{к\%} = \frac{U_{кл}}{U_{1н}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Значення напруги к.з. силових трансформаторів знаходиться в межах $u_{к\%} = 3-8\%$ для силових трансформаторів. Значення $u_{к\%}$ приводяться в паспорті силового трансформатора і є одною з важливих величин, що визначають експлуатаційні властивості трансформатора. Напругу к.з. може бути виражено через активну ($u_{к.а\%}$) і реактивну ($u_{к.р\%}$) складові напруги к.з. трансформатора

$$u_{к\%} = \sqrt{u_{к.а\%}^2 + u_{к.р\%}^2}. \quad (6)$$

При цьому

$$\begin{aligned} u_{ка\%} &= u_{к\%} \cdot \cos \varphi_k; \\ u_{кр\%} &= u_{к\%} \cdot \sin \varphi_k. \end{aligned} \quad (7)$$

Крім того, значення напруги к.з. і його активної та реактивної складових визначаються через параметри короткого замикання трансформатора за наступними рівняннями

$$\begin{aligned} u_{к\%} &= \frac{I_n \cdot Z_k}{U_{1н.ф}} \cdot 100\%; \\ u_{к.а\%} &= \frac{I_n \cdot R_k}{U_{1н.ф}} \cdot 100\%; \\ u_{к.р\%} &= \frac{I_n \cdot X_k}{U_{1н.ф}} \cdot 100\%. \end{aligned} \quad (8)$$

3.6 Визначення параметрів схеми заміщення трансформатора

До параметрів схеми заміщення трансформатора відносяться опори $R_1; R'_2; X_1; X'_2; R_m$. Згідно (3) $R_k = R_1 + R'_2$ і $X_k = X_1 + X'_2$, так як $R_1 = R'_2$ і $X_1 = X'_2$, то

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_k}{2}; \quad X_1 = X'_2 = \frac{X_k}{2}. \quad (9)$$

Неприведені значення активного та індуктивного опорів вторинної обмотки трансформатора визначаються за рівняннями

$$R_2 = \frac{R'_2}{k^2}; \quad X_2 = \frac{X'_2}{k^2}. \quad (10)$$

Активний і індуктивний опори контуру, що намагнічує, схеми заміщення (R_m і X_m) визначаються за рівняннями

$$R_m = R_0 - R_1; \quad X_m = X_0 - X_1. \quad (11)$$

Значення параметрів R_0 та X_m можна використовувати із досліду холостого ходу трансформатора.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему досліду к. з. трансформатора (рис. 1).

4.2 Заповнену таблицю з даними вимірювань та розрахунковими даними.

4.3 Характеристики короткого замикання трансформатора, побудовані за даними досліду к.з. з поясненням виду характеристик.

4.4 Значення параметрів к.з. трансформатора.

4.5 Значення потужності втрат короткого замикання.

4.6 Значення напруги короткого замикання трансформатора $u_{к\%}$ та його активної та реактивної складових $u_{к.а\%}$; $u_{к.р\%}$.

4.7 Технічну характеристику силового трансформатора, а також обладнання і вимірювальних приладів, що використовувалися в досліді к.з.

4.8 Аналіз отриманих результатів.

Контрольні питання

1 Поясніть, що означає режим короткого замикання силового трансформатора?

2 Проаналізуйте, чим відрізняється дослід к.з. від режиму раптового к.з. трансформатора.

3 Наведіть мету проведення дослідів короткого замикання трансформатора.

4 Поясніть методику проведення дослідів к.з. трансформатора.

5 Наведіть графічні залежності, що називаються характеристиками к.з. силового трансформатора.

6 Наведіть та поясніть схеми заміщення трансформатора в досліді к.з.

7 Поясніть, які опори називають параметрами к.з. трансформатора? Їх фізичний сенс.

8 Поясніть, яка потужність за стандартом приймається за потужність магнітних втрат трансформатора? З якої причини магнітні втрати відносять до сталих (незмінних) втрат трансформатора?

9 Дайте визначення коефіцієнту потужності к.з. силового трансформатора.

10 Поясніть, яка потужність за стандартом приймається за потужність електричних втрат трансформатора?

11 З якої причини електричні втрати відносять до змінних втрат трансформатора?

13 ДОСЛІД НАВАНТАЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: отримання дослідним шляхом робочих характеристик силового трансформатора, визначення його властивостей в сталому режимі симетричного навантаження. Закріплення теоретичних знань про властивості трансформатора в режимі навантаження на основі аналізу дослідних робочих характеристик трансформатора.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій літературі [1. с. 153 – 238, 3. с. 242 – 301, 5. с. 15 – 65, 9. с. 117 – 191] питання, які стосуються особливостей роботи та властивостей трансформаторів в режимі навантаження. Розібратися з робочими характеристиками трансформаторів.

1.2 По даному навчальному посібнику детально ознайомитися зі схемою включення трансформатора та методикою проведення випробування трансформатора в режимі навантаження. Відповісти на контрольні питання.

1.3 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі для запису спостережень, обробки і аналізу дослідних даних.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися з робочим місцем обладнанням і вимірювальними приладами для випробування трансформатора в режимі навантаження. За паспортними даними трансформатора визначити номінальні значення струмів обмоток ВН і НН трансформатора $I_{1H}; I_{2H}$.

2.2 Зібрати електричну схему випробування трансформатора в режимі навантаження (рис. 1) і провести дослід навантаження трансформатора при активному ($\cos\varphi_2=1$) та індуктивному характері навантаження ($\cos\varphi_2=0,8$).

2.3 Опрацювати дослідні дані та побудувати робочі характеристики трансформатора:

- зовнішні характеристики, що представляють залежності $U_2 = f(I_2)$ або $U_2 = f(\beta)$, при $U_{1н} = const$, $\cos \varphi_2 = 1,0$ і $\cos \varphi_2 = 0,8$, де $\beta = \frac{I_2}{I_{2н}}$ - коефіцієнт завантаження трансформатора;

- струмові характеристики $I_1 = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 1,0$ і $\cos \varphi_2 = 0,8$;

- характеристики коефіцієнту потужності $\cos \varphi_1 = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 1,0$ і $\cos \varphi_2 = 0,8$;

- характеристики або графіки ККД $\eta = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 1,0$ і $\cos \varphi_2 = 0,8$.

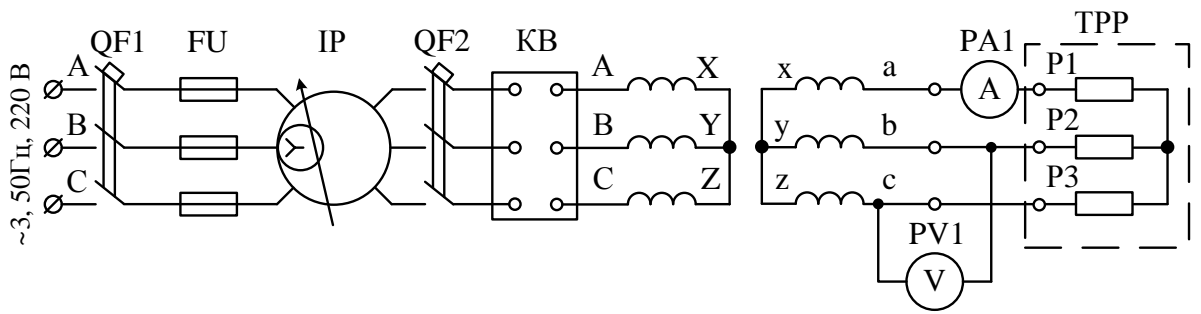
2.4 Провести аналіз робочих характеристик трансформатора і в висновках по роботі чітко сформулювати основні властивості трансформатора в режимі навантаження.

2.5 Підготувати звіт по лабораторній роботі.

3 Основні теоретичні положення та вказівки по виконанню

Електрична схема включення трансформатора в досліді навантаження приведена на рисунку 1.

Первинна обмотка трансформатора вмикається в мережу змінного струму через індукційний регулятор напруги і вимірний комплект на номінальну напругу. До вторинної обмотки трансформатора підключається регульоване трифазне навантаження в виді рідинного реостата (ТРР) або індуктивний опір, в якості якого використовується індукційний регулятор, включений по схемі змінного індуктивного опору (X_L). Для контролю величини струму і напруги вторинної обмотки в одну з фаз трансформатора включається амперметр (pAI) і вольтметр (pVI).



IP – індукційний регулятор напруги; KB – комплект вимірювальний;
TRP – трифазний рідинний реостат.

Рисунок 1 – Електрична схема досліду навантаження трифазного силового трансформатора

Методика проведення досліду навантаження складається в наступному. В досліді напруга що підводиться до первинної обмотки підтримується незмінною і рівною номінальній тобто $U_1 = U_{1н} = const$. Опір активного навантаження TRP змінюється таким чином, щоб струм вторинної обмотки змінювався в межах $I_2 = (0 \dots 1,25) I_{2н}$. Всього знімається 8-10 точок. При цьому контролюються значення струмів I_1 та I_2 , напруг U_1 та U_2 і потужності P_1 . Обов'язково проводиться дослід при номінальних струмах в обмотках трансформатора $I_1 = I_{1н}$ і $I_2 = I_{2н}$, що відповідає значенню коефіцієнта завантаження $\beta = 1$.

Аналогічно проводиться дослід при індукційному характері навантаження. Дослідні та розрахункові дані заносяться до таблиці 1.

В таблиці 1:

$$U_1 = \frac{U_{1A} + U_{1B} + U_{1C}}{3}; \quad (1)$$

$$I_1 = \frac{I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}}{3}; \quad (2)$$

$$P_1 = P_{1A} + P_{1B} + P_{1C}; \quad P_2 = \sqrt{3} U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2; \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100. \quad (3)$$

Таблиця 1 – Дослідні та розрахункові дані досліду навантаження силового трансформатора при $\cos \varphi_2 = 1,0$

№	U_{IA}	U_{IB}	U_{IC}	U_I	I_{IA}	I_{IB}	I_{IC}	I_I	P_{IA}	P_{IB}	P_{IC}	P_I	U_2	I_2	β	$\cos \varphi_I$	η
	В	В	В	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	В	А	в.о.	в.о.	%
1																	
...																	
8																	

при $\cos \varphi_2 = 0,8$

1																	
...																	
8																	

Приблизний вигляд робочих характеристик силового трансформатора представлено на рис. 2.

Робочі характеристики будуються за даними приведеними в таблиці 1. Якщо випробування трансформатора при індуктивному характері навантаження ($\cos \varphi_2 = 0,8$) на проводилися, то зовнішню характеристику трансформатора $U_2 = f(\beta)$ і графік ККД при $\cos \varphi_2 = 0,8$, необхідно побудувати за даними розрахунку з використанням розрахункових рівнянь

$$U_2 = U_{2н} \left(1 - \frac{\Delta u_{\%}}{100} \right), \quad (4)$$

де $\Delta u_{\%}$ - зміна вторинної напруги трансформатора.

При цьому

$$\Delta u_{\%} = \beta (u_{к.а\%} \cdot \cos \varphi_2 + u_{к.р\%} \cdot \sin \varphi_2), \quad (5)$$

де $u_{ка\%}$ та $u_{кр\%}$ - активна та реактивна складові напруги к.з. трансформатора ($u_{к\%}$).

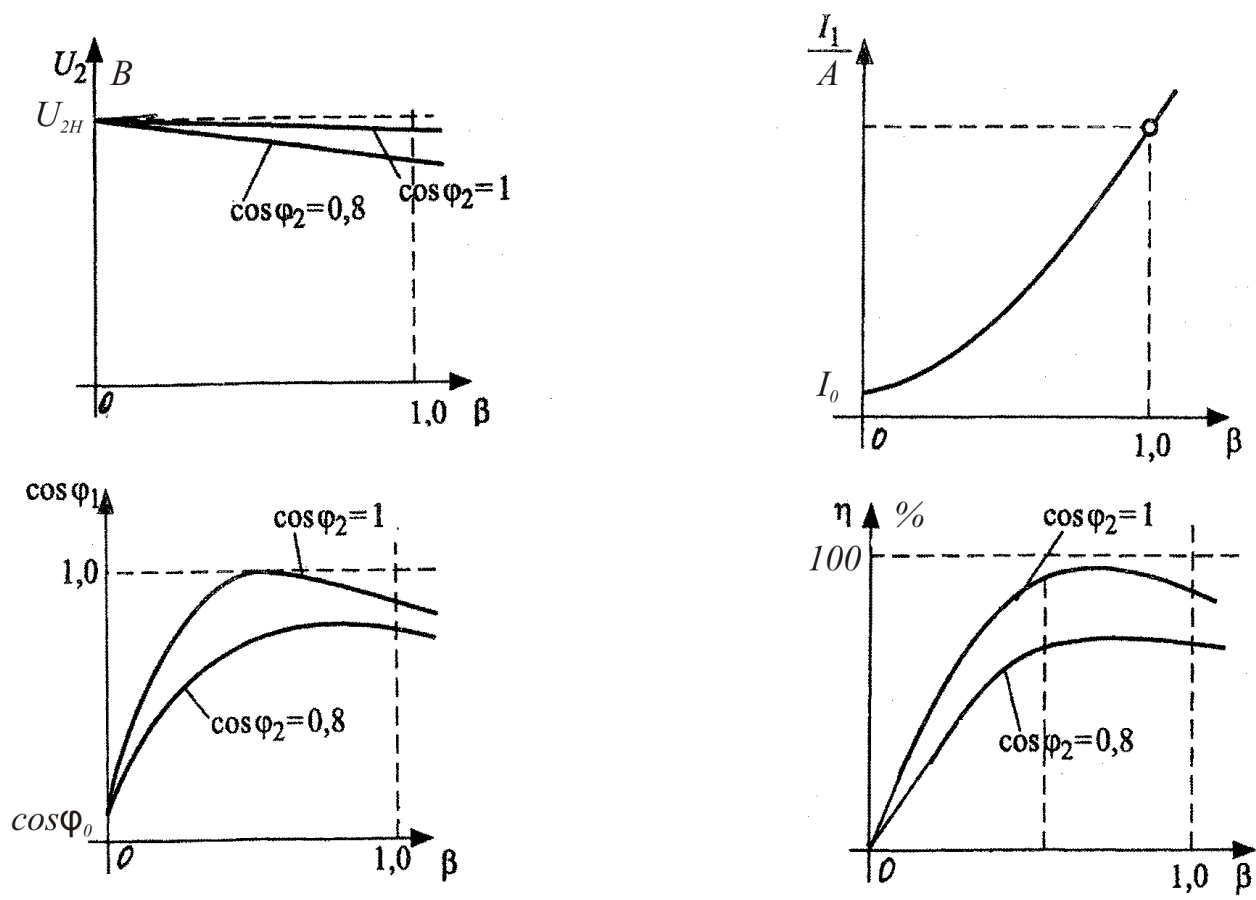


Рисунок 2 – Робочі характеристики силового трансформатора

Дані розрахунків заносяться до таблиці 2.

Таблиця 2 – Розрахункові дані для побудови зовнішніх характеристик

β , в.о.	0	0,4	0,6	0,8	1,0	1,25	$u_{ka}\%$	$u_{kp}\%$
$\Delta u\%$, %								
U_2 , В								

$$\eta = \left(1 - \frac{P_{0H} + \beta^2 P_{к.н}}{\beta S_H \cdot \cos \varphi_2 + P_{0H} + \beta^2 P_{к.н}} \right) \cdot 100\%, \quad (6)$$

де P_{0H} – потужність х.х. трансформатора при $U_{10} = U_{1H}$;

$P_{к.н}$ – потужність к.з. трансформатора при $I_{1к} = I_{1H}$.

Значення $u_{к.а}\%$, $u_{кр}\%$ та $P_{к.н}$ можна використати зі звіту по лабораторній роботі №9 в досліді короткого замикання трансформатора. Величину P_{0H} можна взяти з таблиці 1 даної роботи при $I_2=0$ і $U_1=U_{1H}$.

Дані розрахунків зводяться до таблиці 3.

Таблиця 3 – Дані розрахунків

β , в.о.	0	0,2	0,4	0,6	1,0	1,25
η , %						
$P_{0H} = \underline{\hspace{2cm}}$ кВт, $P_{кн} = \underline{\hspace{2cm}}$ кВт, $\cos \varphi_2 = 0,8$, $S_H = \underline{\hspace{2cm}}$ кВА						

4Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему досліді навантаження трансформатора (рис. 1).

4.2 Заповнену таблицю 1 з даними вимірювань та розрахунків.

4.3 Робочі характеристики силового трансформатора (приблизний вигляд представлено на рис. 2)

4.4 В випадку побудування характеристик при $\cos \varphi_2 = 0,8$ по розрахунковим даним приводяться таблиці 2 і 3.

4.5 Технічну характеристику силового трансформатора, а також обладнання і вимірювальних приладів, що використовувалися в досліді.

4.6 Аналіз отриманих результатів на основі дослідних робочих характеристик трансформатора.

Контрольні питання

- 1 Що називається режимом навантаження силового трансформатора?
- 2 Дайте визначення номінального режиму навантаження силового трансформатора.
- 3 Назвіть номінальні величини, що вказуються в паспорті силового трансформатора та назвати одиниці їх вимірювання.
- 4 Наведіть формули визначення номінальних струмів обмоток ВН та НН трансформатора по паспортним даним?
- 5 Наведіть графічні залежності, що називаються робочими характеристиками силового трансформатора.
- 6 Зобразіть приблизний вид робочих характеристик трансформатора.
- 7 Наведіть і поясніть вид зовнішніх характеристик трансформатора при різних характерах навантаження.
- 8 Що називається зміною вторинної напруги силових трансформаторів. Як визначається ця величина і приблизне її значення?
- 9 Яка напруга приймається за номінальну вторинної обмотки силового трансформатора.
- 10 Що називається ККД трансформатора. Приблизна величина ККД трансформатора при номінальному навантаженні.
- 11 Запишіть та поясніть умову отримання максимального ККД трансформатора.
- 12 Що називається коефіцієнтом потужності силового трансформатора. Приблизне його значення.
- 13 Що називається напругою к.з. трансформатора? Назвіть приблизне значення напруги к.з. трансформаторів середньої та малої потужності?
- 14 Поясніть сталість (незмінність) основного магнітного потоку трансформатора при зміні навантаження в межах номінального.
- 15 Поясніть, чому при зміні струму навантаження вторинної обмотки силового трансформатора змінюється величина струму первинної обмотки трансформатора.
- 16 Назвіть мету проведення досліду навантаження силового трансформатора.
- 17 Поясніть коротко методику проведення досліду навантаження силового трансформатора.

14 ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПРИ ПАРАЛЕЛЬНІЙ РОБОТІ

Мета роботи: практичне ознайомлення з особливістю паралельної роботи силових трансформаторів при дотриманні всіх умов та вимог і при нерівності коефіцієнтів трансформації та напруги короткого замикання.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій [1. с. 153 – 238, 3. с. 242 – 301, 5. с. 15 – 65, 9. с. 117 – 191] питання, які стосуються мети та умов включення силових трансформаторів на паралельну роботу, особливості роботи трансформаторів при різних: групах з'єднання обмоток, коефіцієнтах трансформації та напругах короткого замикання.

1.2 Ознайомитися з методикою проведення лабораторної роботи.

1.3 Підготувати матеріали для оформлення звіту по лабораторній роботі з електричною схемою включення трансформаторів на паралельну роботу, таблицями для запису дослідних даних, необхідних для побудови графіків струмів трансформаторів при паралельній роботі.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем, обладнанням та приладами стенда для випробувань. Записати паспортні дані трансформаторів та приладів. Визначити номінальні струми обмоток ВН та НН трансформаторів.

2.2 Визначити дослідним шляхом коефіцієнти трансформації, напруги к.з. і групи з'єднання дослідних трансформаторів.

2.3 Дослідити характер і розподілення навантажень між паралельно працюючими трансформаторами при різних умовах їх включення.

2.4 Побудувати графіки струмів трансформаторів при різних умовах включення на паралельну роботу.

2.5 Підготувати звіт по лабораторній роботі.

3 Основні теоретичні положення та вказівки по виконанню

Паралельна робота трансформаторів необхідна:

а) для забезпечення резервування в енергопостачанні споживачів у випадках аварії, проведення ремонтів, планового профілактичного обслуговування трансформаторів і з'єднаного з ними устаткування;

б) для зменшення втрат енергії в періоди малих навантажень підстанції шляхом відключення такої частини паралельно працюючих трансформаторів, щоб ККД інших був максимальним.

Для досягнення оптимальних умов паралельної роботи трансформаторів необхідно, щоб загальне навантаження підстанції розподілялось між паралельно працюючими трансформаторами пропорційно до їх номінальних потужностей. Такий розподіл навантаження досягається, якщо у трансформаторів однакові:

а) групи з'єднань обмоток;

б) первинні і вторинні номінальні напруги чи, що практично те саме, коефіцієнти трансформації;

в) напруги короткого замикання.

Якщо перші дві умови дотримані, то вторинні напруги відповідних фаз трансформаторів на холостому ході будуть однакою за амплітудою і фазою. У протилежному випадку вже на холостому ході виникають зрівнювальні струми, що будуть циркулювати по замкнених контурах, утворених вторинними обмотками, і трансформуватися в первинні обмотки, викликаючи нерівномірне навантаження, а також зайві втрати і нагрівання трансформаторів.

Дотримання третьої умови забезпечує розподіл навантаження між трансформаторами відповідно до їх номінальних потужностей, що підвищує ККД підстанції та її навантажувальну здатність.

Розглянемо паралельну роботу трансформаторів з різними групами з'єднання обмоток при дотриманні інших умов. При паралельній роботі трансформаторів з "0" і "11" групами з'єднання, ЕРС вторинних обмоток відповідних фаз трансформаторів будуть мати однакову амплітуду, але зсунуті за фазою на 30° .

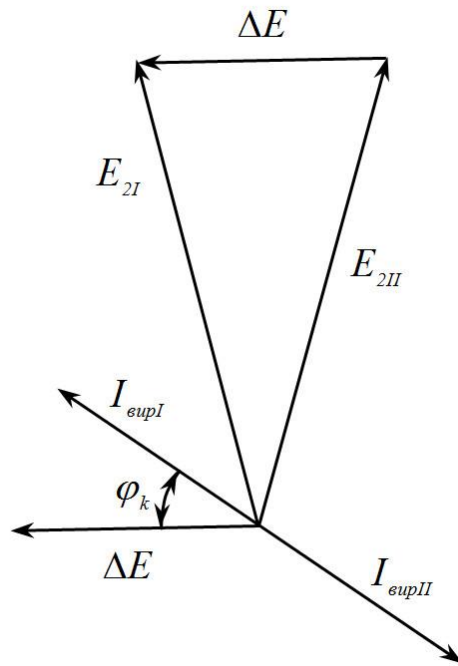


Рисунок 1 – Спрощена векторна діаграма ЕРС вторинних обмоток трансформаторів

В замкненому контурі вторинних обмоток виникне різниця ЕРС

$$\Delta E = 2E_2 \sin 15^\circ = 0,518E_2. \quad (1)$$

Відповідно до величини різниці ЕРС ΔE в обмотках протікатиме зрівнювальний струм

$$I_{вир} = \frac{\Delta E}{Z_{kI} + Z_{kII}}, \quad (2)$$

де Z_{kI} і Z_{kII} – опори короткого замикання відповідно першого і другого трансформатора.

Якщо величини ΔE , Z_{kI} , Z_{kII} представити у відносних одиницях, то відносне значення зрівнювального струму при умові $Z_k^* = u_k^*$ буде дорівнювати

$$\frac{I_{вир}}{I_n} = \frac{\Delta E^*}{Z_{kI}^* + Z_{kII}^*} = \frac{\Delta E^*}{u_{kI}^* + u_{kII}^*} = \frac{0,518}{0,05 + 0,05} = 5,18. \quad (3)$$

Тобто зрівнювальний струм буде в 5,18 разів більше номінального. Таким чином, паралельна робота трансформаторів з різними групами з'єднання неприпустима. Такий висновок стосується паралельної роботи трансформаторів з парними і непарними групами з'єднання обмоток. Якщо ж обидва трансформатори мають парну або непарну групу з'єднання, то практично змінивши маркування кінців фазних обмоток, групи можна зробити однаковими і виконати умову підключення трансформаторів на паралельну роботу.

Розглянемо паралельну роботу трансформаторів з різними коефіцієнтами трансформації: $k_I < k_{II}$ і, відповідно, $E_{2I} > E_{2II}$. В даному випадку в контурі вторинних обмоток трансформаторів різниця ЕРС буде відрізнятися від нуля $\Delta E = E_{2I} - E_{2II}$. Під дією ΔE в обмотках буде протікати зрівнювальний струм, який визначається (3). Зрівнювальний струм у вторинних обмотках трансформаторів буде мати різні напрямки: якщо в першому трансформаторі він протікає від початку обмотки до кінця; то в другому – від кінця до початку. Зрівнювальний струм $I_{вир}$ для першого трансформатора I є індуктивним, для другого трансформатора II – ємнісним.

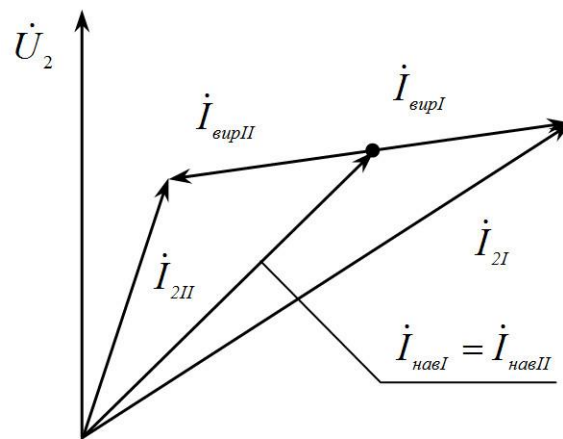


Рисунок 2 – Спрощена векторна діаграма струмів вторинних обмоток трансформаторів при паралельній роботі

Зрівнювальні струми змінюють напруги вторинних обмоток за рахунок падіння напруги таким чином, що встановлюється

деяка напруга $E_{2I} > U_2 > E_{2II}$. При підключенні навантаження, струми навантаження $I_{навл}$ і $I_{навлII}$ додаються до зрівнювальних струмів, що викликає нерівність результуючих струмів і нерівномірне навантаження трансформаторів. Значення зрівнювального струму залежить від різниці коефіцієнтів трансформації. При паралельній роботі трансформаторів допустимою є відмінність коефіцієнтів трансформації на 0,5%, для трансформаторів з $k < 3$ і трансформаторів власних потреб електростанцій – на 1,0%.

Розглянемо паралельну роботу трансформаторів з різними напругами короткого замикання при дотриманні інших умов включення.

Нехтуючи струмами що намагнічують і використовуючи спрощену схему заміщення трансформатора, схему паралельної роботи трансформаторів можна показати у вигляді, представленому на рисунку 3.

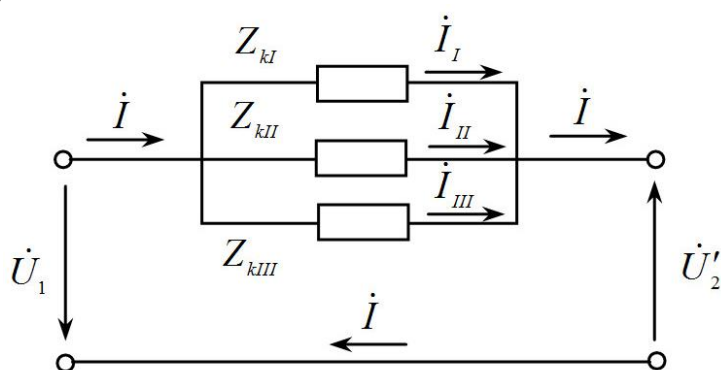


Рисунок 3 – Спрощена схема паралельної роботи трансформаторів

Зі схеми видно, що падіння напруги у всіх трансформаторів однакові і дорівнюють

$$\Delta U = U'_{20} - U'_2 = IZ, \quad (4)$$

де I – загальний струм навантаження;

Z – еквівалентний повний опір обмоток трансформаторів.

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_{kI}} + \frac{1}{Z_{kII}} + \frac{1}{Z_{kIII}}} = \frac{1}{\sum_n \frac{1}{Z_{kn}}}. \quad (5)$$

Струми окремих трансформаторів

$$I_I = \frac{\Delta U}{Z_{kI}} = \frac{1}{Z_{kI} \sum_n \frac{1}{Z_{kn}}}; I_{II} = \frac{\Delta U}{Z_{kII}} = \frac{1}{Z_{kII} \sum_n \frac{1}{Z_{kn}}}; I_{III} = \frac{\Delta U}{Z_{kIII}} = \frac{1}{Z_{kIII} \sum_n \frac{1}{Z_{kn}}}. \quad (6)$$

У загальному випадку ці струми не співпадають за фазою, однак на практиці ці зсуви за фазою незначні і можна прийняти

$$I = I_I + I_{II} + I_{III}. \quad (7)$$

Таким чином, підставивши відповідні значення Z_k і змінивши струми на відповідні їм повні потужності, отримаємо

$$S_i = \frac{S}{\frac{u_{ki\%}}{S_{ni}} \sum_n \frac{S_{ni}}{u_{kn\%}}}. \quad (8)$$

Після визначення повних потужностей для кожного трансформатора і їх порівняння маємо співвідношення потужностей трансформатора при паралельній роботі

$$S_I : S_{II} : S_{III} = \frac{1}{u_{kI\%}} : \frac{1}{u_{kII\%}} : \frac{1}{u_{kIII\%}}. \quad (9)$$

Зі співвідношення видно, що відношення потужностей (навантаження) паралельно працюючих трансформаторів обернено пропорційні їх напругам к.з. Інакше кажучи, при нерівності напруг к.з. паралельно працюючих трансформаторів більше навантажується трансформатор з меншою напругою к.з. В результаті це веде до перевантаження одного трансформатора (з меншим $u_{k\%}$) і недовантаження іншого (з більшим $u_{k\%}$). Щоб не допустити перевантаження трансформатора, необхідно знизити загальне

навантаження. Таким чином, нерівність напруг к.з. не допускає повного використання по потужності паралельно працюючих трансформаторів.

З огляду на те, що практично не завжди можна підібрати трансформатори з однаковими напругами к.з., ДСТУ допускає включення трансформаторів на паралельну роботу при різниці напруг к.з. не більш ніж 10% від їх середнього арифметичного значення. Різниця в напругах к.з. трансформаторів тим більша, чим більше ці трансформатори відрізняються одне від одного за потужністю. Тому ДСТУ рекомендує, щоб відношення номінальних потужностей трансформаторів, включених паралельно, було не більш ніж 3:1.

3.1 Визначення коефіцієнта трансформації трансформаторів

Коефіцієнтом трансформації трансформатора називають відношення числа витків або фазних ЕРС обмоток ВН і НН, тобто

$$K = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_{1\phi}}{E_{2\phi}}. \quad (10)$$

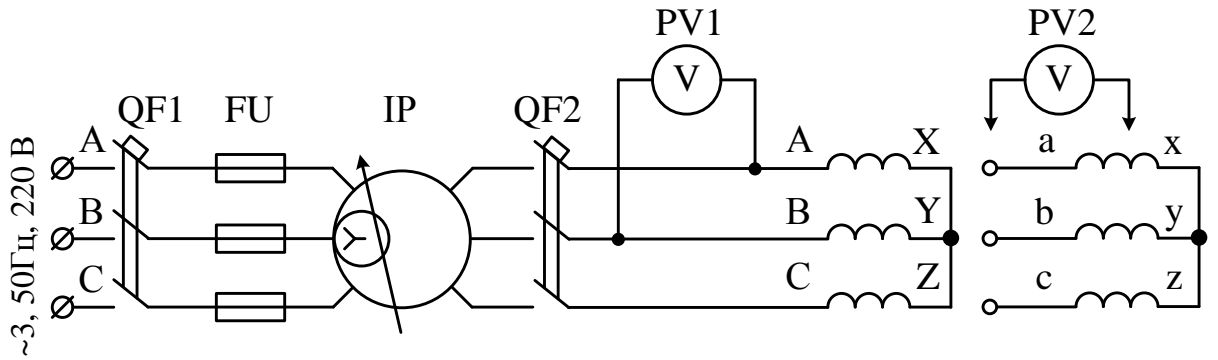
В режимі х.х. можна прийняти, що

$$E_{1\phi} = U_{1\phi} \text{ і } E_{2\phi} = U_{2\phi}. \quad (11)$$

Для визначення коефіцієнта трансформації трансформаторів що досліджуються необхідно при будь-якій схемі з'єднання обмоток ВН і НН необхідно подати на первинну обмотку в режимі х.х. деяку напругу, близьку до номінальної $U_{1\phi}$ і $U_{2\phi}$ всіх трьох фаз. Коефіцієнт трансформації трансформатора при цьому буде рівним

$$K = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}}. \quad (12)$$

На одному з трансформаторів виконані відпайки у обмотки ВН. Необхідно визначити коефіцієнт трансформації трансформатора на відпайках.

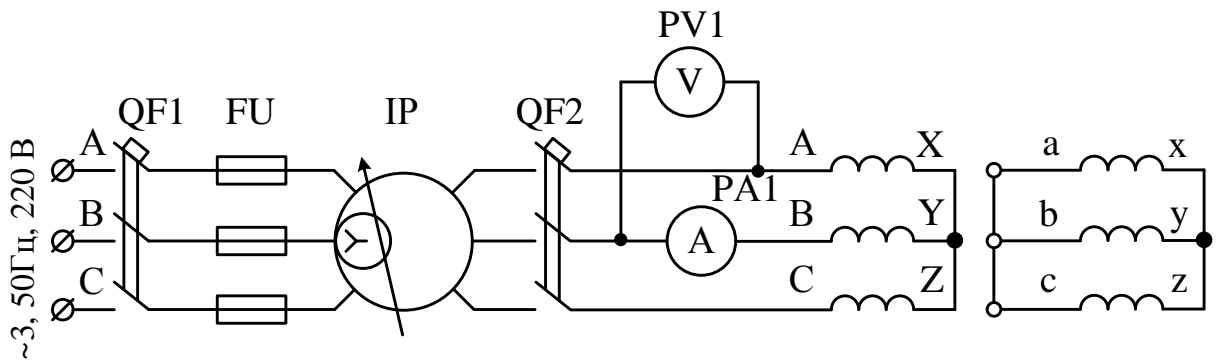


IP – індукційний регулятор напруги.

Рисунок 4 – Схема для визначення коефіцієнту трансформації
3.2 Визначення напруги короткого замикання трансформаторів

Напруга к.з. кожного трансформатора визначається в результаті проведення дослідів к.з. при значно зниженій первинній напрузі U_{Ik} , коли струм к.з. I_k стане рівним номінальному, тобто $I_k = I_n$. Напруга к.з. при цьому визначається за формулою

$$U_{k\%} = \frac{U_{к.л.}}{U_n} \cdot 100\%. \quad (13)$$



IP – індукційний регулятор напруги.

Рисунок 5 – Схема для визначення напруги к.з. трансформатора

3.3 Дослідне визначення групи з'єднання обмоток трансформатора

Методика визначення групи з'єднання трифазних трансформаторів приведена в лабораторній роботі №10. Оскільки в даній роботі рекомендується використовувати трансформатори з однаковими групами з'єднань, то визначення групи з'єднання не виконується.

Паралельна робота трансформаторів з однаковими групами з'єднання при $K_I=K_{II}$, $U_{кI}=U_{кII}$. Схема включення двох трансформаторів на паралельну роботу представлена на рис. 6. Первинні обмотки трансформаторів через індукційний регулятор напруги вмикаються в мережу. Вторинні обмотки вмикаються на загальне активне навантаження у вигляді рідинного реостата.

Включення трансформаторів на паралельну роботу здійснюється в режимі х.х. при повністю виведеному навантажувальному реостаті. Перед замиканням автоматичного вимикача *QF2* необхідно переконатися в правильності з'єднання обмоток. З цією метою летучим провідником з'єднуються два однойменних затискачі вторинних обмоток трансформатора, наприклад "а", а потім між парами затискачів "b" і відповідно "с" вимірюється напруга, при вірному включенні трансформаторів ці напруги повинні дорівнювати нулю.

Після цього вмикається *QF2*, поступово збільшується навантаження трансформатора від х.х. до $1,2I_n$ одного з трансформаторів, записуються значення струмів первинного та вторинного кіл кожного трансформатора та загальний струм навантаження. При симетричному навантаженні можна обмежуватися записом струму одної з фаз. Результати вимірювань заносяться до таблиці 1.

3.4 Паралельна робота двох трансформаторів з однаковими групами з'єднання при $K_I \neq K_{II}$; $U_{кI} = U_{кII}$.

В цьому випадку в обмотці трансформатора виникають зрівнювальні струми при відсутності зовнішнього навантаження. Різни-

ця в коефіцієнтах трансформації створюється шляхом відключення в одного з трансформаторів частини витків первинної або вторинної обмотки. В лабораторії передбачена така можливість за рахунок переходу на відгалуження обмотки з затискачами x' , y' , z' одного з трансформаторів. Трансформатори вмикаються на паралельну роботу по схемі рис. 6 з урахуванням відмічених обставин. Зрівнювальний струм має місце вже при х.х. При навантаженні результуючий струм в обмотці кожного трансформатора дорівнює геометричній сумі зрівнювального струму і струму навантаження.

При досліді, навантаження трансформаторів збільшується поступово до моменту, коли струм в одному з трансформаторів досягає величини $1,2I_n$. результати вимірювань заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні дані

Умови включення трансформаторів	U_A	$U_{ав.}$	I_{A1}	I_{A11}	I_{a1}	I_{a11}	$I_{нав.}$
	В	В	А	А	А	А	А
Всі умови виконано							
$K_I \neq K_{II}$							
$U_{KI} \neq U_{KII}$							

3.5 Паралельна робота двох трансформаторів з однаковими групами з'єднання при $K_I=K_{II}$ та $U_{KI} \neq U_{KII}$

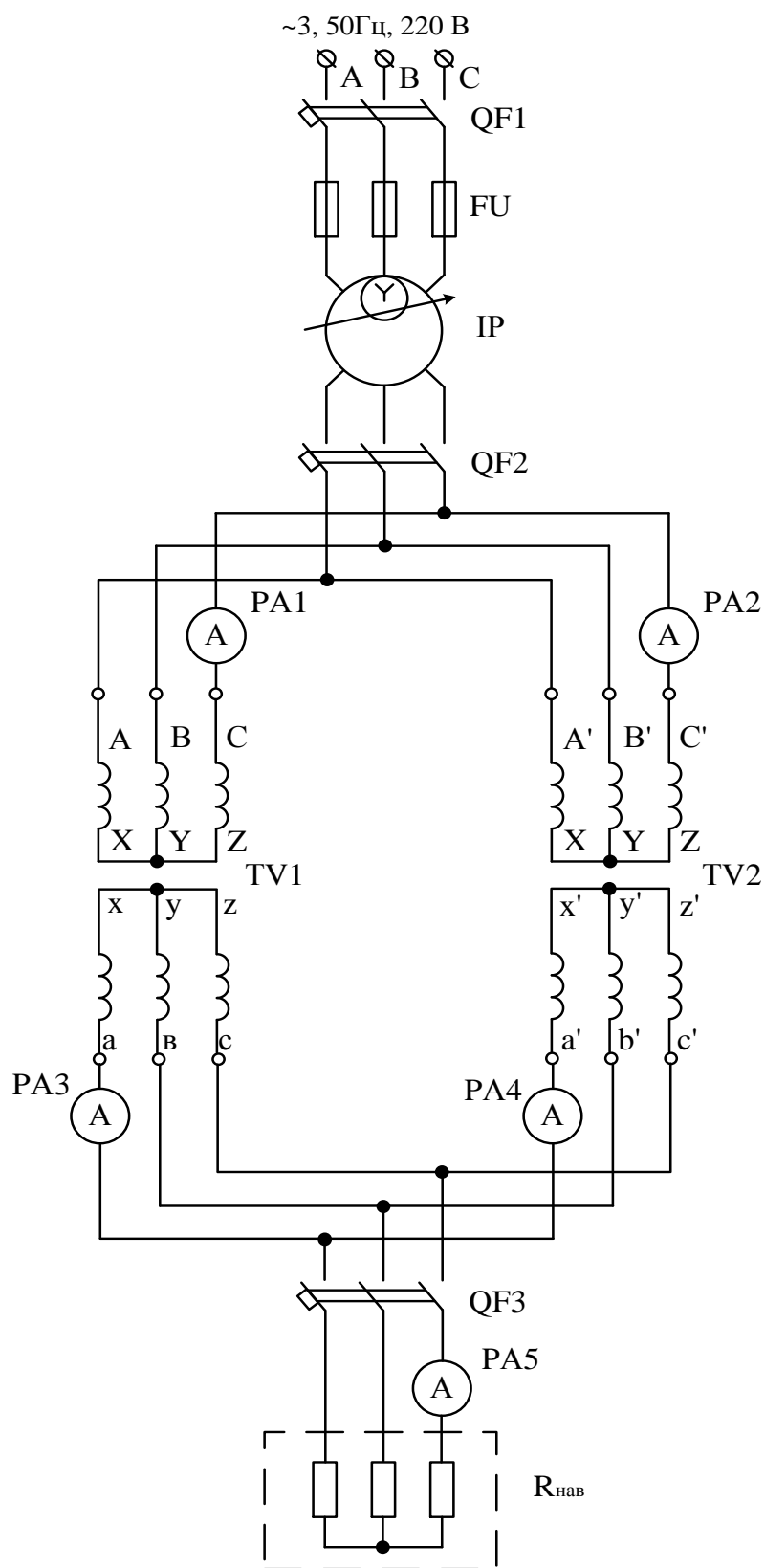


Рисунок 6 – Схема включення трифазних трансформаторів

на паралельну роботу Відмінність в значеннях напруги к.з. трансформаторів забезпечується шляхом переходу в одному з трансформаторів на роботу при використанні затискачів $A'/B'/C'$ та $a'/b'/c'$, що мають меншу кількість витків, а значить і напругу к.з. при збереженні коефіцієнту трансформації базової обмотки. Трансформатори включаються на паралельну роботу по схемі рис. 6 з урахуванням відміченої обставини по використанню затискачів одного з трансформаторів, позначених штрихами. В досліді навантаження трансформатора збільшується від х.х. до значення струму в одному з трансформаторів рівного $I, 2I_n$. Результати вимірювань заносяться до таблиці 1.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричні схеми включення трансформаторів (рис. 4-6.)

4.2 Данні дослідів зведені до таблиці 1.

4.3 Графіки залежностей струмів в трансформаторах від сумарного струмового навантаження $I_{2I}, I_{2II} = f(I_{нав.})$ при:

- виконанні всіх умов вмикання;

- при нерівності $K_I \neq K_{II}$;

- при нерівності $U_{KI} \neq U_{KII}$.

4.4 Технічні характеристики трансформаторів та приладів, що використовувалися в дослідях.

4.5 Аналіз отриманих матеріалів із зазначенням характеру завантаження трансформаторів при різних умовах вмикання на паралельну роботу.

Контрольні питання

1 Пояснити, що розуміють під групою з'єднання обмоток трансформатора?

2 Наведіть методику визначення дослідним шляхом група з'єднання обмоток трансформаторів.

3 Дати визначення, що таке напруга к.з. трансформатора і як вона визначається дослідним шляхом?

4 Навести вимоги до трансформаторів, що включаються на паралельну роботу.

5 Пояснити, що значить «найбільш сприятливі умови паралельної роботи трансформаторів».

6 Пояснити, яка розбіжність коефіцієнтів трансформації і значень напруг к.з. допускається у паралельно працюючих силових трансформаторів?

7 Проаналізувати, який трансформатор і з якої причини завантажуються більше при паралельній роботі, якщо в них відрізняються коефіцієнти трансформації або напруги к.з.?

8 Пояснити, що відбудеться, якщо включити на паралельну роботу трансформатори з різними групами з'єднання обмоток?

15 ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ГРУПОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: дослідження впливу схеми з'єднання обмоток трифазного групового трансформатора на форму кривих струму неробочого ходу і вторинної напруги.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати матеріали по рекомендованій літературі [1. с. 153 – 238, 3. с. 242 – 301, 5. с. 15 – 65, 9. с. 117 – 191], що стосуються конструкції та принципу дії трансформатора, поняття трифазного групового трансформатора.

1.2 Вивчити методику дослідження форми кривих струму та вторинної напруги трифазного групового трансформатора за різних схем з'єднання обмоток.

1.3 Ознайомитися з методичними вказівками до даної роботи і відповісти на контрольні питання.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням, записати паспортні дані трансформатора, осцилографа та вимірювальних приладів.

2.2 Дослідити форму кривих струму холостого ходу і напругу однофазного трансформатора за різного ступеня насичення магнітопроводу.

2.3 Дослідити форму кривих струму, напруги та визначити їх значення для трифазного групового трансформатора за наступних схем з'єднання обмоток: «зірка з нульовим виводом-зірка», «зірка-зірка», «зірка-трикутник».

2.4 Проаналізувати досліджувані схеми з'єднання обмоток і зробити висновок щодо доцільності застосування їх на практиці.

2.5 Підготувати звіт по лабораторній роботі.

3 Основні теоретичні положення та вказівки по виконанню

Трифазний груповий трансформатор складається з трьох однофазних трансформаторів, обмотки високої і низької напруги яких включені за певною схемою. При дослідженні форми кривих напруги і струму холостого ходу однофазного трансформатора слід мати на увазі, що якщо напруга, підведена до трансформатора синусоїдальної форми, то і магнітний потік також має бути синусоїдальним. При цьому струм холостого ходу матиме несинусоїдальну форму внаслідок дії явища насичення магнітопроводу трансформатора. З цієї ж причини, якщо при синусоїдальній напрузі живлення і за певної схеми з'єднання обмоток трифазного трансформатора струм холостого ходу виявиться синусоїдальним, то магнітний потік матиме несинусоїдальну форму.

Форма кривих напруги і струмів в досліді знімається за допомогою електронного (катодного) осцилографа, наприклад, типу С1-19Б. Вхідним сигналом для осцилографа є напруга. Якщо вона більша за максимально допустиму напругу осцилографа, то необхідно використовувати дільник напруги. Щоб зняти криву струму, в досліджуване коло послідовно включається реостат з невеликим опором, падіння напруги на якому і подається на вхідні затискачі осцилографа.

Дослідження однофазного трансформатора проводиться при включенні його за схемою рисунку 1 в наступній послідовності. Після підключення трансформатора до мережі до його первинної обмотки за допомогою індукційного регулятора послідовно підводиться напруга, рівна 0,5, 0,75, 1,0 і 1,25 від номінальної напруги цієї обмотки. При кожній напрузі живлення трансформатора вимірюються величини напруги і струмів холостого ходу і знімаються на кальку форми кривих струму холостого ходу, первинної і вторинної напруги однофазного трансформатора. Реостат R на схемі рисунка 1 в досліді використовується лише під час зняття кривої струму холостого ходу. Результати вимірювань заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювань при дослідженні однофазного трансформатора на холостому ході

U_1	B					$U_H=220B$
U_2	B					
I_0	A					

Дослідження форми кривих напруги і струмів групового трансформатора

Схема з'єднання «Y-н/Y».

За наявності нульового провідника струм холостого ходу буде несинусоїдальним. В нульовому проводі буде протікати струм, що дорівнює сумі струмів третьої гармоніки в фазних обмотках. В цьому випадку магнітний потік і вторинна напруга (ЕРС) будуть синусоїдальними. Дослід проходить за схемою, наведеною на рисунку 2. До трансформатора підводиться номінальна напруга. При цьому вимірюються значення і знімається форма кривих струмів і напруг. Реостати R1 і R2 включаються в схему тільки на час зняття форми кривих напруг. Заміри величин струмів проводиться без використання реостатів. Результати вимірювань заносяться до таблиці 2.

Струм третьої гармонійної у фазній обмотці дорівнює

$$I_{03} = \frac{\sum I_{03}}{3}, \quad (1)$$

де $\sum I_{03}$ – струм в нульовому провіднику, А

Таблиця 2 – Результати дослідження групового трансформатора за схеми з'єднання «Y-н/Y»

$U_{1л}$	$U_{1ф}$	I_0	I_{03}	$U_{2л}$	$U_{2ф}$
B	B	A	A	B	B

Схема з'єднання «Y/Y».

В цьому випадку нульовий провід відсутній і струм холостого ходу не буде містити треті і кратні їм гармоніки, тобто буде практично синусоїдальним. Отже, магнітний потік і вторинна напруга будуть несинусоїдальними і будуть містити треті та кратні їм гармоніки. При цьому діюче значення фазних напруг вторинної обмотки може перевищити номінальне значення напруги на 15-20%, а амплітудне - на 45-60%. Тому з'єднання «Y/Y» для трифазного групового трансформатора на практиці не допускається. Дослід проводиться за схемою рисунку 3. До трансформатора підводиться номінальна напруга. Під час експерименту вимірюються криві фазної та лінійної напруг первинної і вторинної обмоток, а також струму холостого ходу. Результати вимірювань і обчислень заносяться до таблиці 3.

Фазна напруга третьої гармонійної дорівнює

$$U_3 = \sqrt{U_{\phi\phi}^2 - U_{\phi p}^2}, \quad (2)$$

де $U_{\phi\phi}$ – виміряне значення фазної напруги, В;

$U_{\phi p}$ - розрахункове значення фазної напруги, В.

$$U_{\phi p} = \frac{U_l}{\sqrt{3}}, \quad (3)$$

де U_l – виміряне значення лінійної напруги, В;

Відношення $\frac{U_l}{U_\phi}$ буде менше ніж $\sqrt{3}$, оскільки у фазній напрузі містяться треті і кратні їм гармонійні.

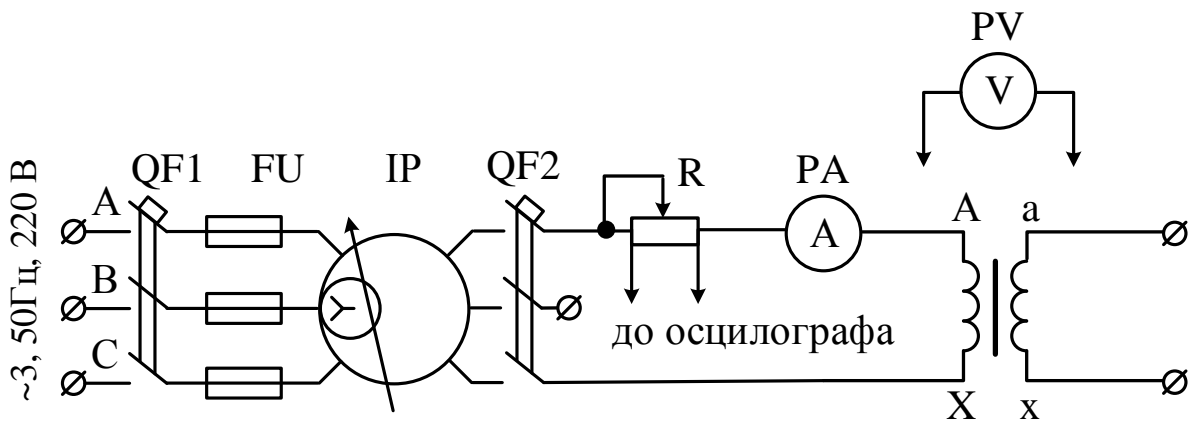
Таблиця 3 – Результати дослідження групового трансформатора за схеми з'єднання «Y/Y»

Експериментальні дані					Розрахункові дані					
$U_{1л}$	$U_{1ф}$	I_0	$U_{2л}$	$U_{2ф}$	$\frac{U_{1л}}{U_{1ф}}$	U_{13}		$\frac{U_{2л}}{U_{2ф}}$	U_{23}	
<i>B</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>в.о.</i>	<i>B</i>	<i>%</i>	<i>в.о.</i>	<i>B</i>	<i>%</i>

Схема з'єднання «Y/Δ».

В цьому випадку струм холостого ходу буде синусоїдальним, а магнітний потік – відповідно ні. Отже, в фазах вторинної обмотки буде наводитись несинусоїдальна ЕРС і матиме значну складову третьої гармоніки. Ці ЕРС призведуть до протікання в фазних провідниках вторинної обмотки, з'єднаних в замкнений трикутник, струмів третьої гармоніки. Магнітні потоки, створені струмами третьої гармонійної вторинної обмотки, будуть спрямовані зустрічно потокам третіх гармонік первинної обмотки і практично будуть їх компенсувати. Отже, результуючий магнітний потік трансформатора буде практично синусоїдальним і фазні напруги вторинної обмотки не міститимуть третіх гармонік.

Дослід проводиться за схемою рисунку 4. До трансформатора підводиться номінальна напруга і вимірюються на стороні ВН лінійні і фазні напруги і струм холостого ходу, а на стороні НН - фазна напруга, напруга і струм третьої гармоніки. Форма кривих всіх виміряних величин знімається з екрану електронного осцилографа.



IP – індукційний регулятор напруги.

Рисунок 1 – Схема електрична принципова дослідження форми кривих струму і напруги в однофазному трансформаторі

Для визначення величини напруги третьої гармоніки необхідно розірвати контур вторинного кола і до його кінців підключити вольтметр. При цьому вольтметром буде виміряне сумарне значення фазних ЕРС третіх гармонійних. Отже струм третьої гармонійної

$$I_{3\%} = \frac{I_3}{I_{2н}} \cdot 100, \quad (4)$$

де $I_{2н} = \frac{S_n}{U_{2н}}$ – номінальний струм вторинної обмотки трансформатора.

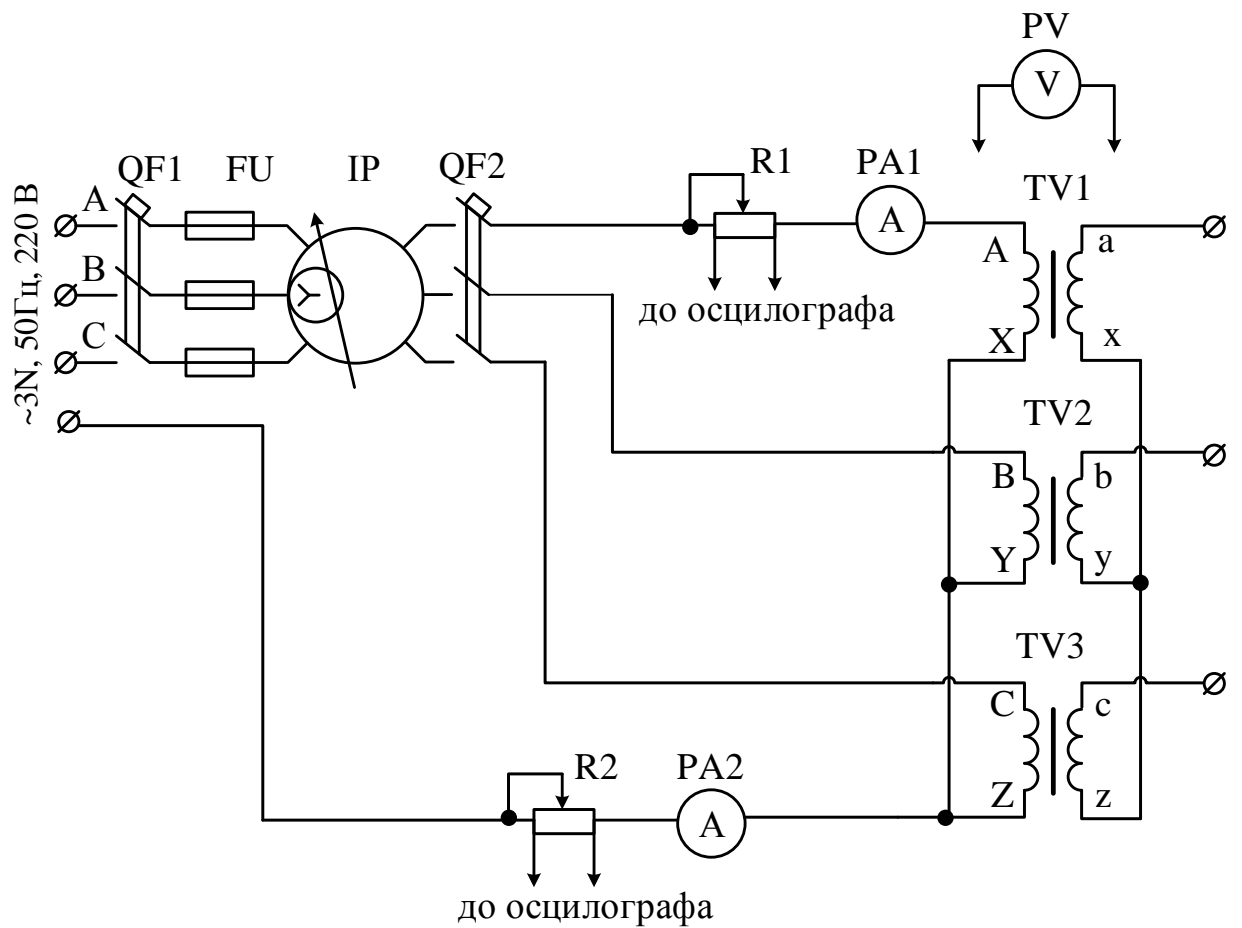
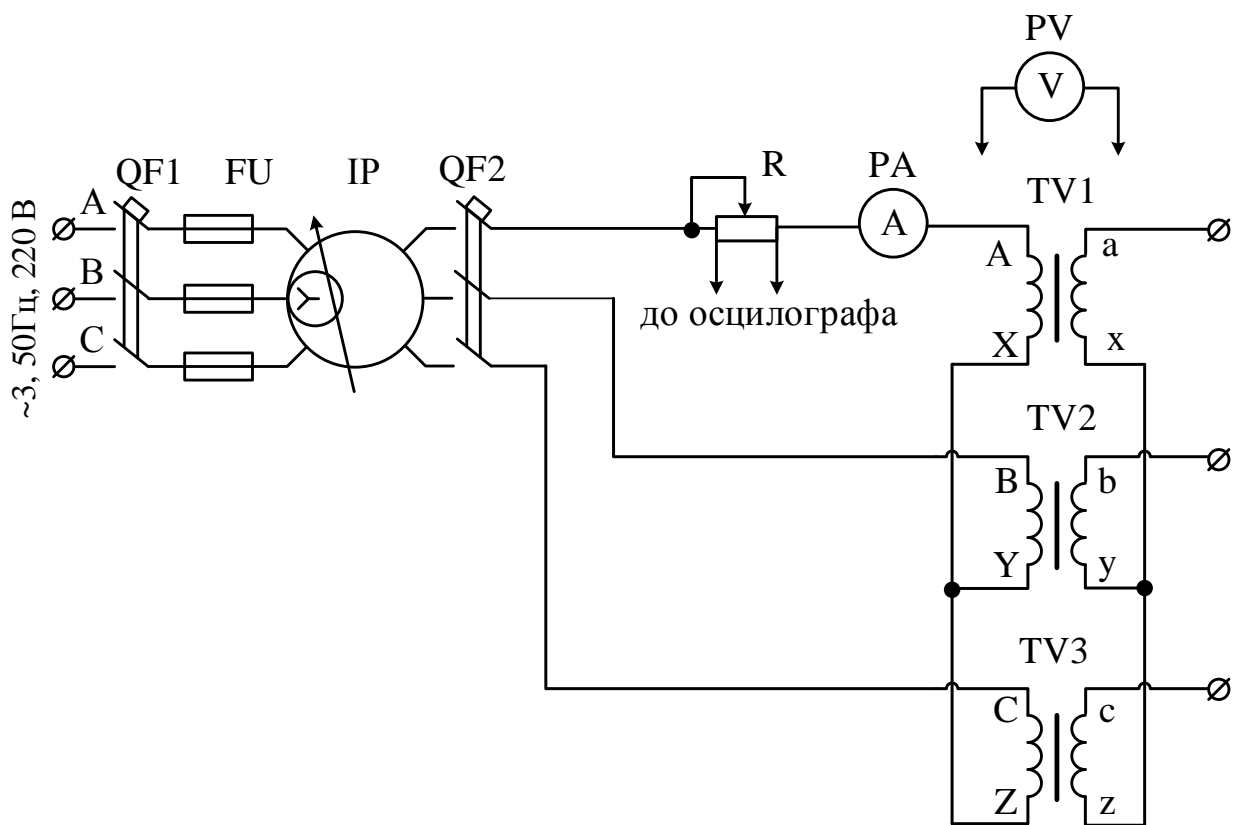


Рисунок 2 – Схема електрична принципова дослідження форми кривих струму і напруги трифазного групового трансформатора при з'єднанні обмоток за схемою «Y-н/Y»

Таблиця 4 – Результати дослідження групового трансформатора за схеми з'єднання «Y/ Δ»

Експериментальні дані					Розрахункові дані				
$U_{1л}$	$U_{1ф}$	I_0	$U_{2ф}$	$\sum U_3$	I_3		$\frac{U_{1л}}{U_{1ф}}$	U_3	
<i>B</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	%	<i>в.о.</i>	<i>B</i>	%



IP – індукційний регулятор напруги.

Рисунок 3 – Схема електрична принципова дослідження форми кривих струму і напруги трифазного групового трансформатора при з'єднанні обмоток за схемою «Y/Y»

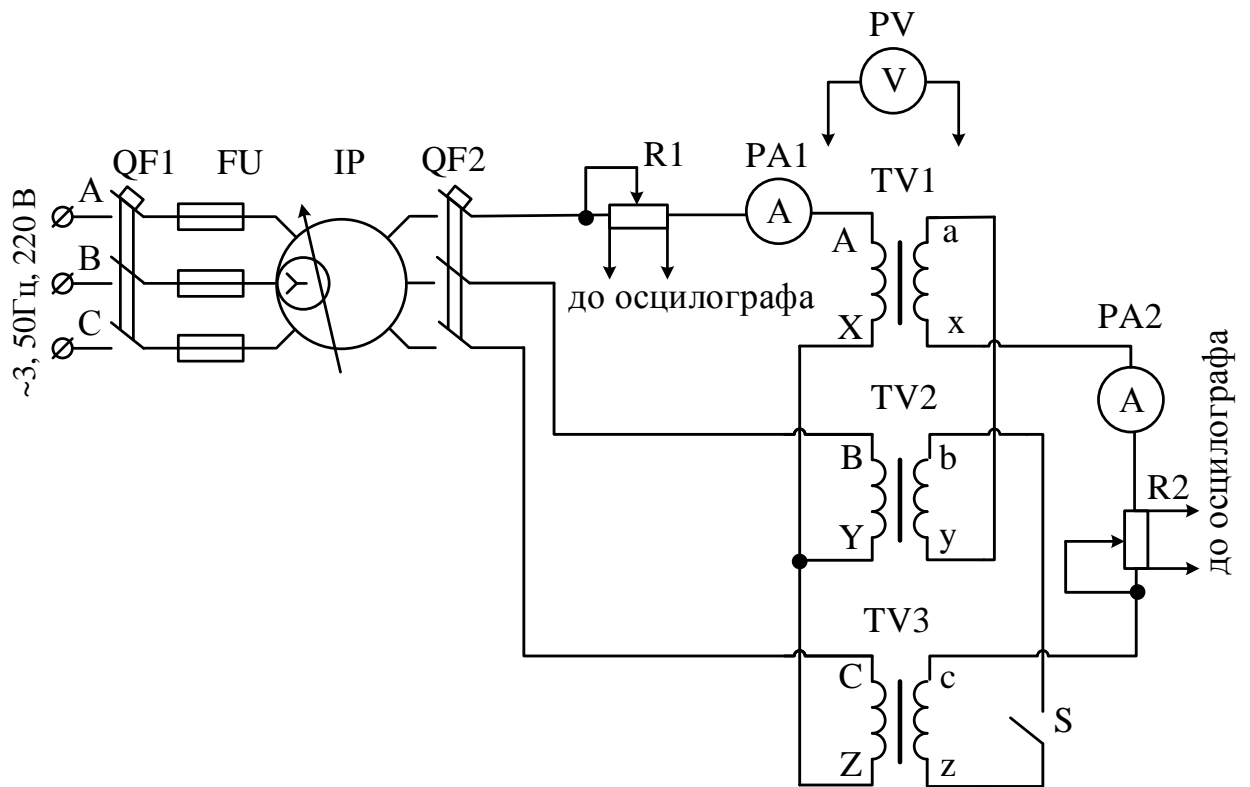


Рисунок 4 – Схема електрична принципова дослідження форми кривих струму і напруги трифазного групового трансформатора при з'єднанні обмоток за схемою «Y/Δ»

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- 4.1 Електричні схеми дослідження трансформаторів (рис. 1-4).
- 4.2 Технічну характеристику силових трансформаторів, а також обладнання і вимірювальних приладів, що використовувалися в досліджах.
- 4.3 Таблиці 1-4 з даними вимірювань та проведених розрахунків.
- 4.4 Осцилограми, зняті при проведенні дослідів.
- 4.5 Аналіз отриманих результатів (коротке пояснення отриманих результатів по кожній зі схем включення обмоток групового трансформатора, порівняльний аналіз впливу схеми з'єднання обмоток трифазного трансформатора на форму кривої

вторинної напруги та висновок про найбільш доцільну схему з'єднань групового трансформатора, що забезпечує живлення споживачів напругою синусоїдальної форми).

Контрольні питання

- 1 Що являє собою трифазний груповий трансформатор?
- 2 Які переваги і недоліки має трифазний груповий трансформатор в порівнянні з трифазним стрижневим трансформатором?
- 3 Які схеми з'єднання обмоток силових трансформаторів передбачені стандартами?
- 4 В чому полягає методика зняття форми кривих напруги і струмів групового трансформатора?
- 5 Яка форма кривої струму холостого ходу однофазного трансформатора при номінальній синусоїдальній напрузі живлення?
- 6 Чи залежить форма струму холостого ходу однофазного трансформатора від ступеня насичення магнітопроводу трансформатора?
- 7 Поясніть форму кривих струму холостого ходу і вторинної напруги в трифазному груповому трансформаторі при з'єднанні обмоток за схемою «Y/Y»?
- 8 Поясніть форму кривих струму холостого ходу і вторинної напруги в трифазному груповому трансформаторі при з'єднанні обмоток за схемою «Y/Δ»?
9. Поясніть форму кривих струму холостого ходу і вторинної напруги в трифазному груповому трансформаторі при з'єднанні обмоток за схемою «Δ/Y»?
- 10 Поясніть форму кривих струму холостого ходу і вторинної напруги в трифазному груповому трансформаторі при з'єднанні обмоток за схемою «Y-н/Y»?
- 11 Поясніть форму кривих струму холостого ходу і вторинної напруги в трифазному груповому трансформаторі при з'єднанні обмоток за схемою «Y/Y-н»?

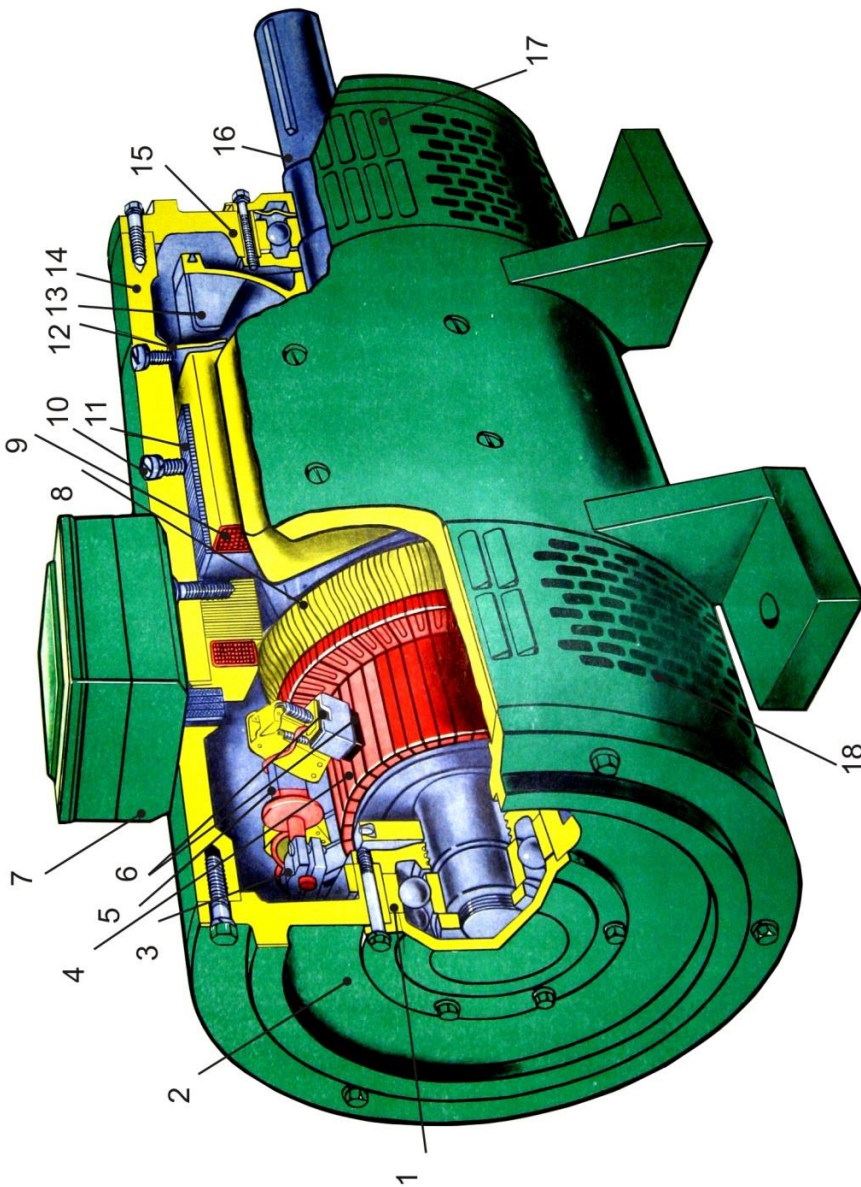
ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНІ ДАНІ ЩІТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ЇХ ЗАСТОСУВАННЮ

Марки щіток	Перехідне падіння напруги на пару щіток, В	Допустима щільності струму, А/мм ²	Допустима швидкість, м/с	Тиск на щітку, кПа	Рекомендована галузь застосування
Графітні					
ГЗ	1,9	11	25	20 – 25	Для генераторів та двигунів з полегшеними умовами комутації та для контактних кілець. Потужність до 10 кВт.
611М	2,0	12	40	20 – 25	
610М	2,0	15	90	12 – 22	
Електрографітовані					
ЭГ2А	2,6	10	45	20 – 25	Для генераторів та двигунів з середніми умовами комутації та для контактних кілець. Потужність більше 10 кВт при напрузі до 1000 В.
ЭГ2АФ	2,2	15	90	15 – 21	
ЭГ4	2,0	12	40	15 – 20	
ЭГ8	2,4	10	40	20 – 40	
ЭГ14	2,5	11	40	20 – 40	
ЭГ51	2,2	12	60	20 – 25	
ЭГ61	3,0	13	60	35 – 50	
ЭГ71	2,2	12	40	20 – 25	
ЭГ74	2,7	15	50	17,5 – 25	
ЭГ74АФ	2,3	15	60	15 – 21	
ЭГ85	2,3	15	50	17,5 – 35	
Металографітні					
МГ2	0,5	20	20	18 – 23	Для низьковольтних генераторів

ДОДАТОК Б

ЗАГАЛЬНА БУДОВА МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ



1 - підшипники; 2 - задній підшипниковий щит; 3 - траверса ціткоутримувачів; 4 - колектор; 5 - палець ціткоутримувача; 6 - щітки; 7 - коробка виводів; 8 - обмотка якоря; 9 - обмотка збудження; 10 - болтове кріплення полюса; 11 - осердя полюса; 12 - повітрянаправляючий щиток; 13 - вентилятор; 14 - корпус; 15 - передній підшипниковий щит; 16 - вал; 17 - жалюзі для виходу повітря; 18 - жалюзі для входу повітря

Рисунок Б1 – Загальна будова машини постійного струму

ДОДАТОК В

СТРУКТУРА УМОВНОГО ПОЗНАЧЕННЯ МАРОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СТАЛЕЙ

X X X X
1 2 3 4

Перша цифра – клас по структурному стану та виду прокатки:

- 1 – гарячекатана сталь;
- 2 – холоднокатана ізотропна сталь, що має однакові магнітні властивості вздовж та поперек напрямку прокату;
- 3 – холоднокатана анізотропна сталь, у якої магнітні властивості вздовж напрямку прокату кращі, ніж поперек.

Друга цифра – клас за змістом кремнію:

- 0 – зміст кремнію до 0,4 %;
- 1 – зміст кремнію від 0,4 до 0,8 %;
- 2 – зміст кремнію від 0,8 до 1,8 %;
- 3 – зміст кремнію від 1,8 до 2,8 %;
- 4 – зміст кремнію від 2,8 % до 3,8 %;
- 5 – зміст кремнію від 3,8 % до 4,8 %.

Третя цифра – група за основною нормованою характеристикою:

- 0 – питомі магнітні втрати при $B = 1,7$ Тл та $f = 50$ Гц ($p_{1,7/50}$);
- 1 – питомі магнітні втрати при $B = 1,5$ Тл та $f = 50$ Гц ($p_{1,7/50}$);
- 7 – індукція в середніх магнітних полях при напруженості поля 10 А/м (B_{10}).

Четверта цифра – порядковий номер сталі:

- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 та 8 – покращення магнітних властивостей по мірі збільшення номеру.

У відповідності з ДСТУ вітчизняними заводами випускається холоднокатана анізотропна електротехнічна сталь у вигляді листів, рулонів та різаної стрічки наступних марок: 3411, 3412, 3413, 3414, 3415, 3404, 3405, 3406, 3407, 3408, 3471 та 3472.

ДОДАТОК Г

СТРУКТУРА УМОВНОГО ПОЗНАЧЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ

$\frac{X}{1}$ $\frac{XXX}{2}$ $\frac{X}{3} - \frac{XXXXXX}{4}$ $\frac{X}{5} - \frac{XXX}{6}$

- 1** – кількість фаз і призначення трансформатора:
О – однофазний трансформатор;
Т – трьохфазний трансформатор;
А – автотрансформатор;
Р – трансформатор з розщепленою обмоткою НН;
Э – трансформатор для дугових електропечей.
- 2** – умовне позначення видів охолодження трансформаторів;
- 3** – позначення особливостей виконання трансформаторів:
Т – триобмотковий. При відсутності знака – двохобмотковий;
Н – трансформатор з РПН. При відсутності знака – з ПБВ;
З – трансформатор з захистом за допомогою азотної подушки без розширювача;
Л – трансформатор з литою ізоляцією;
Ф – трансформатор з боковим розташуванням вводів;
С – трансформатор для власних потреб електростанції;
П – трансформатор для ліній передач постійного струму;
В – трансформатор вибухобезпечний;
Ш – трансформатор для шахт;
М – трансформатор багатоцільового призначення для живлення кіл керування, місцевого освітлення і сигналізації станків, електроінструмента і автоматики.
- 4** – номінальна потужність трансформатора, кВА;
- 5** – клас напруги обмотки ВН, кВ;
- 6** – додаткові літерні позначення, які характеризують галузі використання спеціальних силових трансформаторів:
А – для частотно-регулюємого асинхронного електропривода;
Б – для побутового обладнання;
В – для збуджувачів синхронних генераторів;
Г – для гальваностегії;
Ж – для електрифікованого залізничного транспорту;
И – для інверторних агрегатів тягових підстанцій залізниць;
М – для підстанцій метрополітена;
Р – для перетворювачів, які працюють з перехресною схемою електроприводів постійного струму;
С – для частотно-регулюємого синхронного двигуна;
ЭК – для електроприводів екскаваторів.
- 7** – кліматичне виконання (У; УХЛ; Т; О) і категорія розміщення (1, 2, 3, 4, 5)

ДОДАТОК Д

УМОВНЕ ПОЗНАЧЕННЯ ВИДУ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Умовне позначення	Вид системи охолодження
СУХІ ТРАНСФОРМАТОРИ	
С	Природне повітряне при відкритому виконанні
СЗ	Природне повітряне при захищеному виконанні
СГ	Природне повітряне при герметичному виконанні
СД	Повітряне з примусовою циркуляцією повітря
МАСЛЯНІ ТРАНСФОРМАТОРИ	
М	Природна циркуляція повітря і масла
Д	Примусова циркуляція повітря і природна циркуляція масла
МЦ	Природна циркуляція повітря і примусова циркуляція масла з ненаправленим потоком масла
НМЦ	Те ж з направленим потоком масла
ДЦ	Примусова циркуляція повітря і масла з ненаправленим потоком масла
НДЦ	Те ж з направленим потоком масла
МВ	Примусова циркуляція води і природна циркуляція масла
Ц	Примусова циркуляція води і масла з ненаправленим потоком масла
НЦ	Те ж з ненаправленим потоком масла
ТРАНСФОРМАТОРИ З НЕГОРЮЧИМ РІДКИМ ДІЕЛЕКТРИКОМ (СОВТОЛОМ)	
Н	Природне охолодження з негорючим рідким діелектриком
НД	Охолодження негорючим рідким діелектриком з дуттям і з ненаправленим потоком рідкого діелектрика
ННД	Те ж з направленим потоком рідкого діелектрика

ДОДАТОК Є

ПРИКЛАДИ УМОВНОГО ПОЗНАЧЕННЯ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

ТМ-250/10 – У1 – трьохфазний двохобмотковий трансформатор з природнім масляним охолодженням з ПБВ, номінальна потужність 250 кВА, класом напруги обмотки ВН – 10 кВ, для помірного клімату і встановлення на відкритому повітрі.

ТМН-630/35 – У1 – трьохфазний двохобмотковий трансформатор з природнім масляним охолодженням з РПН, номінальна потужність 630 кВА, класом напруги обмотки ВН – 35 кВ, для помірного клімату і встановлення на відкритому повітрі.

ТСЗ-100/10 – У3 - трьохфазний сухий трансформатор з природнім повітряним охолодженням при захищеному виконанні, двохобмотковий, номінальна потужність 100 кВА, класом напруги обмотки ВН – 10 кВ, для помірного клімату і встановлення в закритому приміщенні з природною вентиляцією.

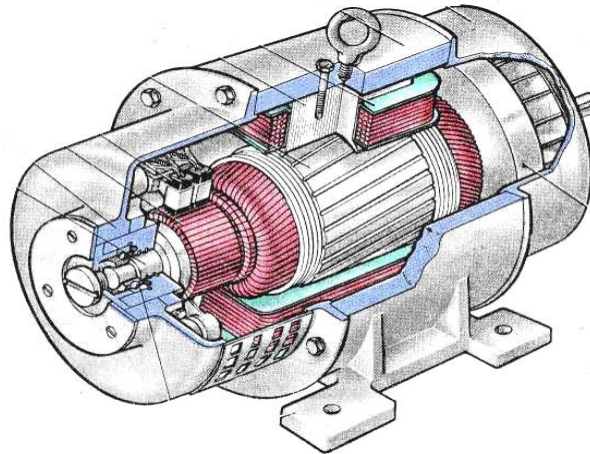
До технічних характеристик трансформаторів відносяться наступні величини:

- номінальна потужність трансформатора S_n , кВА;
- номінальна лінійна напруга обмоток ВН та НН трансформатора U_{1n} та U_{2n} , кВ;
- номінальний струм обмоток ВН та НН трансформатора I_{1n} та I_{2n} , А;
- номінальна частота мережі живлення $f_{1n} = 50$ Гц;
- напруга короткого замикання $u_k\%$;
- струм холостого ходу $i_0\%$;
- схема та група з'єднання.

ДОДАТОК Е

ТЕСТИ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ З ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ: МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ І ТРАНСФОРМАТОРИ»

1. Будова машини постійного струму:



1. вал, підшипники, підшипникові щити, коробка виводів, вентилятор, кожух вентилятора, осердя ротора з короткозамкнутою обмоткою, осердя статора

з обмоткою, корпус, лапи.

2. вал, підшипникові щити, колектор, щіткотримачі, осердя якоря, головні полюси, полюсна котушка, станина, вентилятор, лапи, підшипники.

3. магнітопровід, обмотки ВН і НН, бак, труби радіатора, перемикач напруги, вводи, розширювальний бачок.

4. контактні кільця, щіткотримачі, полюсна котушка ротора, полюсний наконечник, осердя статора, вентилятор, станина, вал.

2. Індуктор машини постійного струму призначений для створення:

1. магнітним або електромагнітним шляхом основного магнітного потоку;

2. електромагнітним шляхом магнітного поля машини;

3. потоку розсіювання;

4. основного магнітного потоку і повітряного проміжку.

3. Колектор машини постійного струму призначений для:

1. створення ковзного струмопідводу до обмотки якоря;

2. механічного випрямлення або інвертування змінного струму обмотки якоря;

3. під'єднання виводів обмотки якоря під час створення паралельних секцій;
4. створення електричного контакту між щітками і секціями обмотки якоря.

4. У електричній машині постійного струму літерами Ш1 та Ш2 позначаються виводи:

1. обмотки якоря;
2. паралельної обмотки збудження;
3. послідовної обмотки збудження;
4. всі обмотки.

5. У електричній машині постійного струму літерами Я1 та Я2 позначаються виводи:

1. обмотки якоря;
2. паралельної обмотки збудження;
3. послідовної обмотки збудження;
4. всі обмотки.

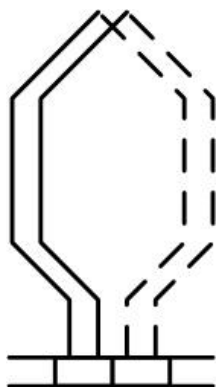
6. У електричній машині постійного струму літерами С1 та С2 позначаються виводи:

1. обмотки якоря;
2. паралельної обмотки збудження;
3. послідовної обмотки збудження;
4. всі обмотки.

7. Принцип оберненості машини постійного струму полягає:

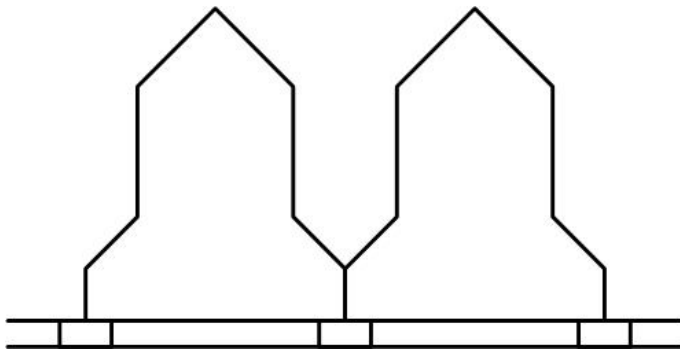
1. будь-яка машина постійного струму може працювати як в режимі генератора, так і режимі двигуна;
2. у будь-якій машині постійного струму напрям ЕРС можна змінити, змінивши напрям обертання якоря;
3. у будь-якій машині постійного струму напрям струму можна змінити, змінивши полярність напруги живлення;
4. у будь-якій машині постійного струму напрям основного потоку можна змінити, змінивши полярність напруги живлення обмотки збудження.

8. Тип обмотки якоря машини постійного струму:



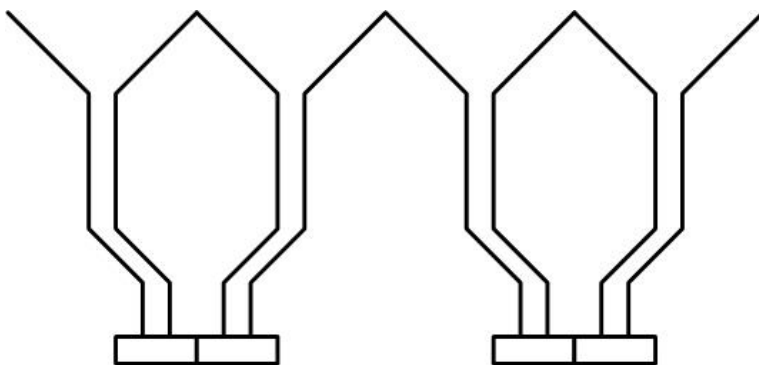
1. петльова;
2. хвильова;
3. комбінована;
4. складна.

9. Тип обмотки якоря машини постійного струму:



1. петльова;
2. хвильова;
3. комбінована;
4. складна

10. Тип обмотки якоря машини постійного струму:



1. петльова;
2. хвильова;
3. комбінована;
4. складна

11. В основу роботи двигуна постійного струму закладено...

1. закон Ома;
2. закон Ампера;
3. закон електромагнітної індукції;
4. закон Фарадея.

**12. Частина машини постійного струму, в якій індукується електро-
рушійна сила називається:**

1. колектор;
2. індуктор;
3. якорь;
4. станина.

13. Постійні втрати в машинах постійного струму складаються із:

1. магнітних втрат, механічних втрат;
2. втрат на гістерезис;
3. втрат на вихрові струми;
4. втрат на нагрів сталі магнітопроводу.

14. Електрорушійна сила провідника E_{np} обмотки якоря визначається

за рівнянням:

1. $E_{np} = B_{\delta} \cdot l \cdot v$;

2. $E_{np} = \Phi \cdot l \cdot v$;

3. $E_{np} = B_{\delta} \cdot l \cdot \tau$;

4. $E_{np} = B_{\delta} \cdot l \cdot \omega$.

15. Генератор постійного струму призначений:

1. для перетворення енергії лінійного пересування, яка підводиться до якоря, в електричну енергію постійного струму;

2. для перетворення електричної енергії змінного струму, яка підводиться до якоря, в електричну енергію постійного струму;

3. для перетворення механічної енергії, яка підводиться до вала якоря, в електричну енергію постійного струму;

4. для перетворення електричної енергії постійного струму однієї величини, яка підводиться до якоря, в електричну енергію постійного струму іншої величини.

16. Момент холостого ходу генератора постійного струму визначається

за рівнянням:

1. $M_0 = \frac{(\Delta p_{mex} + \Delta p_{mz} + \Delta p_{доод})}{\Omega_n}$;

2. $M_0 = \frac{P_{em}}{\Omega_n}$;

3. $M_0 = \frac{(\Delta p_{зб} + \Delta p_{ea} + \Delta p_{mex} + \Delta p_{mz} + \Delta p_{доод})}{\Omega_n}$;

4. $M_0 = \frac{P_n}{\Omega_n}$.

17. Тип генератора постійного струму, який за способом збудження не знайшов широкого поширення:

1. генератор постійного струму незалежного збудження;

2. генератор постійного струму послідовного збудження;

3. генератор постійного струму паралельного збудження;

4. генератор постійного струму змішаного збудження.

18. Основний недолік генератора постійного струму послідовного збудження:

1. мала величина ЕРС залишкового магнетизму;
2. великий струм короткого замикання;
3. різка зміна ЕРС за зміни навантаження;
4. великий струм збудження.

19. Причиною появи залишкової електрорушійної сили, що виникає на холостому ході генератора постійного струму за відсутності струму в обмотці збудження, є:

1. наявність магнітного потоку залишкового магнетизму в осерді головних полюсів машини;
2. наявність магнітного потоку залишкового магнетизму в осерді якоря машини;
3. наявність магнітного потоку залишкового магнетизму в обмотці якоря;
4. наявність магнітного потоку залишкового магнетизму в обмотці збудження.

20. За номінального навантаження величина зміни напруги генератора постійного струму незалежного збудження становить:

1. 1-3% від номінальної напруги;
2. 5-10% від номінальної напруги;
3. 2-5% від номінальної напруги;
4. 15-20% від номінальної напруги.

21. Потужність первинного двигуна для приводу генератора постійного струму за паспортними даними визначається за рівнянням:

$$1. P_{\text{об}} = \frac{\Sigma \Delta P_n}{\eta_n}; \quad 2. P_{\text{об}} = \frac{P_n}{(1 - \eta_n)}; \quad 3. P_{\text{об}} = \frac{C_E \cdot P_n}{\eta_n}; \quad 4. P_{\text{об}} = \frac{P_n}{\eta_n}.$$

22. У коло обмотки збудження генератора постійного струму вводиться регулювальний реостат з метою:

1. регулювання напруги генератора;
2. зменшення впливу реакції якоря;
3. регулювання струму навантаження;
4. зміни потужності первинного привідного двигуна.

23. Напруга на затискачах генератора постійного струму за струму навантаження $I_a = 200 \text{ A}$ та опору обмотки якоря $R_a = 0,1 \text{ Ом}$ і значення електрорушійної сили $E_a = 240 \text{ В}$ становить:

1. 40 В;
2. 220 В;
3. 230 В;
4. 260 В.

24. Струм короткого замикання генератора постійного струму за значення електрорушійної сили $E_a = 240$ В та опору обмотки якоря $R_a = 0,1$ Ом, дорівнює:

1. 24 А;
2. 240 А;
3. 2400 А;
4. 24000 А.

25. Потужність на виході з генератора постійного струму, якщо значення електрорушійної сили $E_a = 240$ В, опір обмотки якоря $R_a = 0,1$ Ом та струм навантаження дорівнює $I_a = 10$ А, дорівнює:

1. 2399 Вт;
2. 2390 Вт;
3. 2300 Вт;
4. 2500 Вт.

26. Швидкість генератора постійного струму збільшилася в 2 рази. Як змінилась ЕРС машини?

1. не змінилась;
2. збільшилась у 2 рази;
3. збільшилась у 4 рази;
4. збільшилась у 16 раз.

27. Напряга на затискачах генератора постійного струму в разі збільшення навантаження:

1. не змінюється;
2. підвищується;
3. зменшується;
4. для відповіді недостатньо даних.

28. Номінальна напряга генератора постійного струму $U_n = 115$ В. Номінальна потужність $P_n = 115$ кВт. Визначте номінальний струм:

1. 1150 А;
2. 1000 А;

3. 0,001A;
4. 0,115A.

29. Визначте ККД генератора постійного струму, на щитку якого вказано потужність 0,3 кВт, а сумарні втрати за номінального навантаження становлять 0,1 кВт:

1. 0,67.
2. 0,8.
3. 0,75.
4. 0,9.

30. Швидкість обертання генератора постійного струму з незалежним збудженням збільшилася в 2 рази. Як змінилась ЕРС генератора?

1. не змінилась;
2. збільшилась в 2 рази;
3. збільшилась в 4 рази;
4. зменшилась в 2 рази.

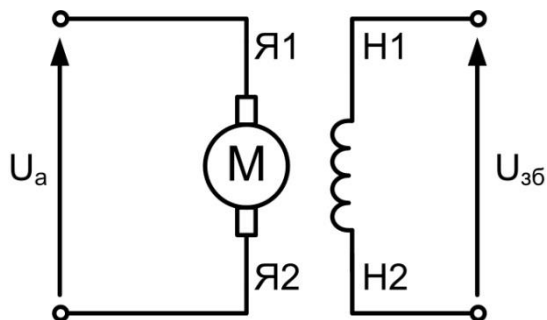
31. У генераторах постійного струму компенсаційна обмотка використовується:

1. для компенсації реакції якоря в зоні головних полюсів;
2. для компенсації коливань напруги;
3. для компенсації коливань струмів навантаження;
4. для компенсації дії вихрових струмів в осерді якоря.

32. Основне рівняння напруги двигуна постійного струму має вигляд:

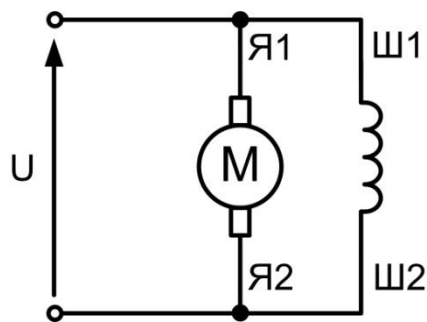
1. $U = E_a + I_a \cdot R_a$;
2. $U = E_a - I_a \cdot R_a$;
3. $E_a = U + I_a \cdot R_a$;
4. $U = (-E_a) - I_a \cdot R_a$.

33. Спосіб збудження двигуна постійного струму:



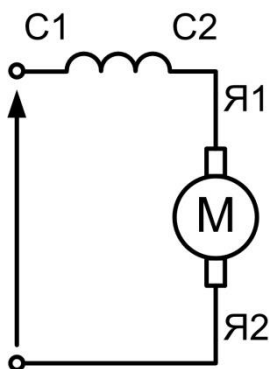
1. незалежне збудження;
2. паралельне збудження;
3. послідовне збудження;
4. змішане збудження.

34. Спосіб збудження двигуна постійного струму:



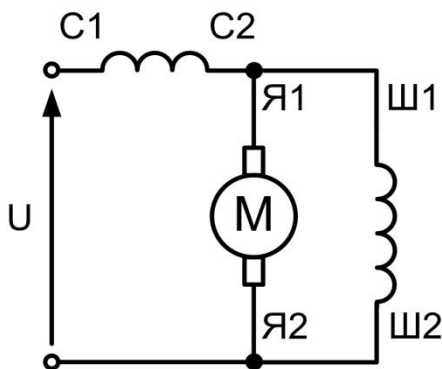
1. незалежне збудження;
2. паралельне збудження;
3. послідовне збудження;
4. змішане збудження.

35. Спосіб збудження двигуна постійного струму:



1. незалежне збудження;
2. паралельне збудження;
3. послідовне збудження;
4. змішане збудження.

36. Спосіб збудження двигуна постійного струму:



1. незалежне збудження;
2. паралельне збудження;
3. послідовне збудження;
4. змішане збудження.

37. Найбільш поширений спосіб пуску двигунів постійного струму:

1. прямий;
2. реостатний (пуск за допомогою пускового реостата);
3. за зниженої напруги в колі якоря;
4. за шунтування реостатом обмотки збудження.

38. Спосіб регулювання частоти обертання двигуна постійного струму, що дозволяє змінювати швидкість якоря угору від номінальної:

1. регулювання напруги в колі якоря;
2. зменшенням потоку обмотки збудження;
3. шунтуванням обмотки збудження додатковим опором;
4. зміною робочого потоку Φ_{δ} .

39. Рівняння швидкісної характеристики двигуна постійного струму паралельного (незалежного) збудження має вигляд:

$$1. n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{c_e \cdot \Phi_{\delta}};$$

$$2. n = \frac{U + I_a \cdot R_a}{c_e \cdot \Phi_{\delta}};$$

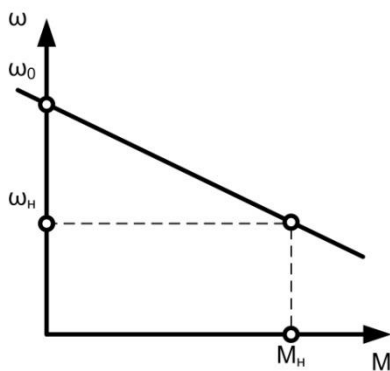
$$3. n = \frac{U - I_a^2 \cdot R_a}{c_e \cdot \Phi_{\delta}};$$

$$4. n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{c_e \cdot c_M \cdot \Phi_{\delta}}.$$

40. Для зміни напрямку обертання якоря двигуна постійного струму необхідно змінити напрям струму тільки в колі:

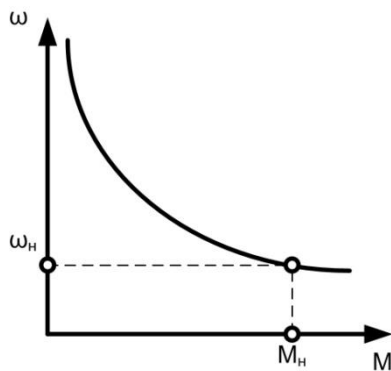
1. обмотки якоря або обмотки збудження;
2. компенсаційної обмотки;
3. обмотки збудження і обмотки якоря;
4. обмотки додаткових полюсів.

41. Тип збудження двигуна постійного струму, якому відповідає механічна характеристика:



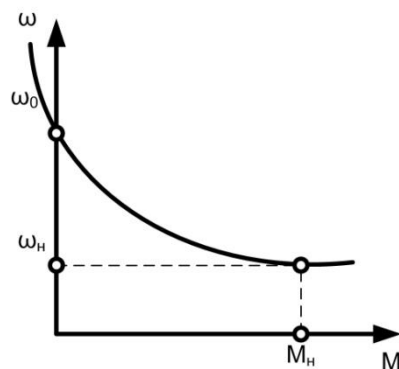
1. незалежного і паралельного збудження;
2. послідовного і змішаного збудження;
3. послідовного збудження;
4. змішаного збудження.

42. Тип збудження двигуна постійного струму, якому відповідає механічна характеристика:



1. незалежного збудження;
2. паралельного збудження;
3. послідовного збудження;
4. змішаного збудження.

43. Тип збудження двигуна постійного струму, якому відповідає механічна характеристика:



1. незалежного збудження;
2. паралельного збудження;
3. послідовного збудження;
4. змішаного збудження.

44. Номінальний струм I_H двигуна постійного струму визначається за рівнянням:

1. $I_H = \frac{P_H}{U_H \cdot \eta_H};$

2. $I_H = \frac{P_H}{U_H};$

3. $I_H = \frac{P_H \cdot \eta_H}{U_H};$

4. $I_H = \frac{P_H \cdot (1 - \eta_H)}{U_H}.$

45. Значення пускового опору R_{II} для обмеження пускового струму I_{II} до значення $I_{II} = 2 \cdot I_H$ для двигуна постійного струму з наступними номінальними даними: $U_H = 220 \text{ В}$; $I_{ан} = 10 \text{ А}$; $R_a = 1 \text{ Ом}$, дорівнює:

1. 11 Ом;
2. 12 Ом;
3. 10 Ом;
4. 9 Ом.

46. Електромагнітна потужність $P_{ем}$ двигуна постійного струму незалежного збудження з наступними номінальними даними: $U_H = 220 \text{ В}$; $I_{ан} = 10 \text{ А}$; $R_a = 1 \text{ Ом}$, становить:

1. 2200 Вт;
2. 2100 Вт;
3. 2000 Вт;
4. 1900 Вт.

47. Стабілізуюча обмотка двигуна постійного струму підключається:

1. послідовно з обмоткою збудження;
2. послідовно з обмоткою якоря;
3. паралельно з обмоткою збудження;
4. паралельно з обмоткою якоря.

48. Двигуни постійного струму якого типу збудження найменш уразливі у разі перевантаження за моментом і важких умов пуску?

1. незалежного збудження;
2. паралельного збудження;
3. послідовного збудження;
4. змішаного збудження.

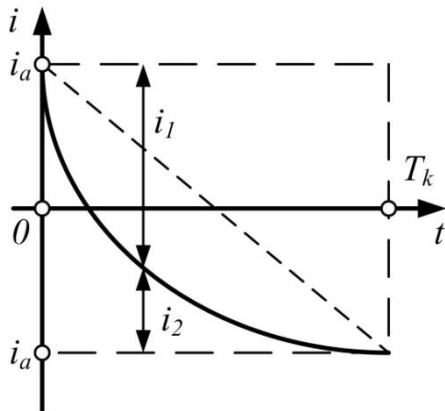
49. Якщо двигун постійного струму послідовного збудження під'єднали до мережі без навантаження на валу, то ...

1. двигун не запуститься;
2. обмотка якоря перегріється;
3. обмотка якоря згорить;
4. електродвигун піде „в рознос”.

50. Момент навантаження на валу двигуна постійного струму послідовного збудження зменшиться до нуля. Що відбудеться з електродвигуном?

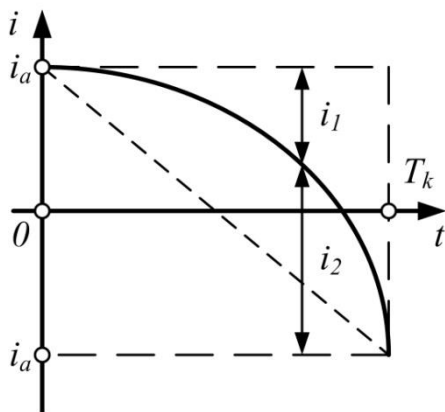
1. двигун зупиниться;
2. якір двигуна буде обертатися за інерцією з постійною швидкістю;
3. двигун піде „в рознос”;
4. обмотка якоря згорить.

51. Вид комутації за наведеною діаграмою струмів:



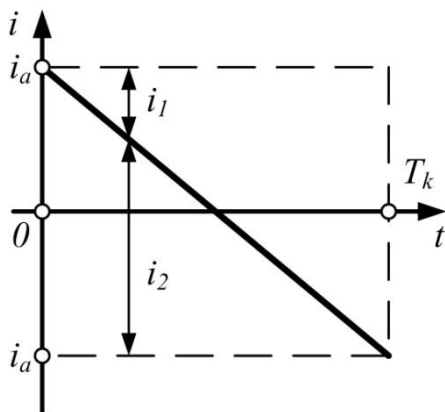
1. лінійна;
2. уповільнена;
3. прискорена;
4. компенсуюча.

52. Вид комутації за наведеною діаграмою струмів:



1. лінійна;
2. уповільнена;
3. прискорена;
4. компенсуюча.

53. Вид комутації за наведеною діаграмою струмів:



1. лінійна;
2. уповільнена;
3. прискорена;
4. компенсуюча.

54. Основні види причин іскріння щіток:

1. механічні;
2. магнітні;
3. електричні;
4. електромагнітні.

55. Реактивною електрорушійною силою секції називають:

1. середнє значення ЕРС секції обмотки якоря за період комутації;
2. максимальне значення ЕРС секції обмотки якоря за період комутації;
3. максимальне значення ЕРС секції обмотки якоря на початку комутації;
4. мінімальне значення ЕРС секції обмотки якоря наприкінці комутації.

56. Для запобігання утворенню «кругового вогню» на поверхні колектора в машині постійного струму передбачено:

1. підключення додаткових полюсів;
2. підключення компенсаційної обмотки;
3. збільшення кількості колекторних пластин;
4. зменшення кроку обмотки якоря.

57. Стандартом передбачені наступні ступені іскріння щіток:

1. 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, 2, 3;
2. 1, $1\frac{1}{3}$, $1\frac{2}{3}$, 3, 4;
3. 1, $1\frac{2}{3}$, 2, 3, 4;
4. 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, 3, 4.

58. Довготривала робота машини постійного струму припустима за ступеня іскріння щіток:

1. 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$;
2. 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, 2;
3. 1, $1\frac{2}{3}$, $1\frac{1}{2}$;
4. 1, $1\frac{1}{4}$, 2, 3.

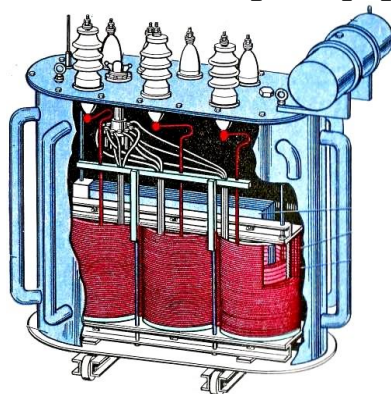
59. Робота машини постійного струму за короткочасних перевантажень припустима за ступеня іскріння щіток:

1. $1\frac{1}{4}$;
2. $1\frac{1}{2}$;
3. 2;
4. 3.

60. Робота машини постійного струму неприпустима за ступеня іскріння щіток:

1. $1\frac{1}{4}$;
2. $1\frac{1}{2}$;
3. 2;
4. 3.

61. Будова трифазного силового трансформатора:



1. магнітопровід, обмотки ВН і НН, бак, труби радіатора, перемикач напруги, вводи, розширювальний бачок;
2. вал, підшипники, підшипникові щити, коробка виводів, вентилятор, кожух вентилятора, осердя ротора з короткозамкнутою обмоткою, осердя статора з обмоткою, корпус, лапи;
3. підшипники, підшипникові щити, корпус, осердя статора з обмоткою, осердя ротора, вал, коробка виводів, лапи, контактні кільця;
4. контактні кільця, щіткотримачі, полюсна котушка ротора, полюсний наконечник, осердя статора, вентилятор, станина, вал.

62. Принцип дії трансформаторів базується на явищі:

1. електромагнітної індукції;
2. гістерезису;
3. магнетизму;
4. електростатичної індукції.

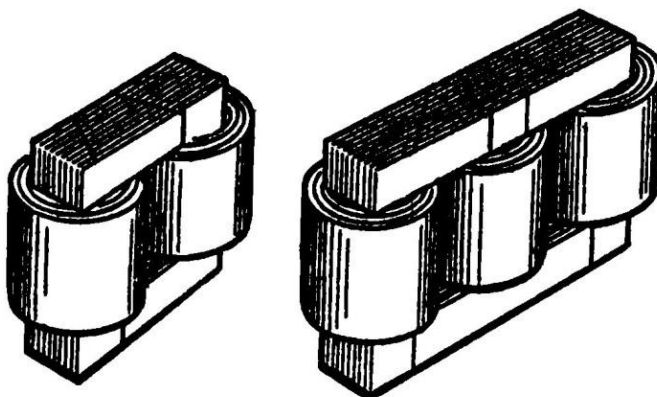
63. Магнітопровід трансформатора призначений для:

1. підсилення магнітного зв'язку між обмотками і створення робочого магнітного потоку;
2. створення магнітного зв'язку між обмотками і забезпечення механічної жорсткості конструкції трансформатора;
3. підсилення магнітного зв'язку між обмотками і слугує конструктивною основою для встановлення і кріплення обмоток, виводів та інших деталей трансформатора;
4. створення магнітного зв'язку між обмотками і створення шляху проходження робочого магнітного потоку.

64. Магнітопровід трансформаторів виготовляється з листів електротехнічної сталі для:

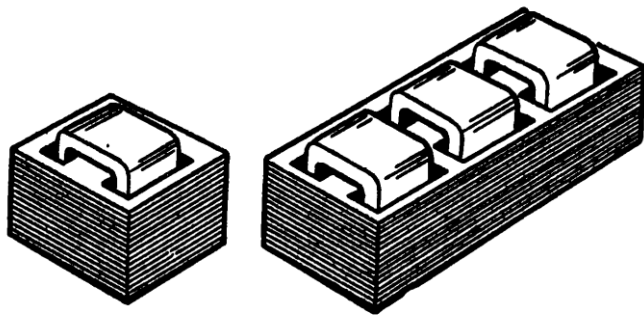
1. зменшення втрат на перемагнічування і від вихрових струмів;
2. збільшення механічної жорсткості магнітопроводу;
3. збільшення ККД трансформатора;
4. зменшення магнітного опору магнітопроводу.

65. Тип магнітопроводу трансформатора, наведений на рисунку:



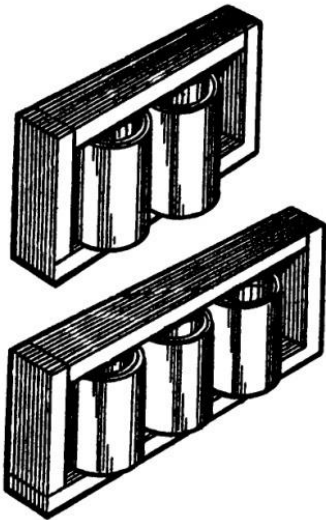
1. стрижньовий;
2. броньовий;
3. броньо-стрижньовий;
4. тороїдальний.

66. Тип магнітопроводу трансформатора, наведений на рисунку:



1. стрижньовий;
2. броньовий;
3. броньо-стрижньовий;
4. тороїдальний;

67. Тип магнітопроводу трансформатора, наведений на рисунку:



1. стрижньовий;
2. броньовий;
3. броньо-стрижньовий;
4. тороїдальний;

68. Під групою з'єднання обмоток трансформатора розуміють:

1. кут зсуву за фазою між лінійними векторами ЕРС обмоток вищої і нижчої напруги;
2. кут зсуву за фазою між лінійними векторами струмів обмоток вищої і нижчої напруги;
3. кут зсуву за фазою між лінійними векторами напруги та струму обмоток вищої і нижчої напруги;
4. кут зсуву за фазою між фазними векторами ЕРС двох фаз обмотки нижчої напруги;

69. Скільки існує можливих варіантів груп з'єднань трифазних трансформаторів?

1. 1;
2. 2;
3. 6;
4. 12.

70. Величина одиниці кута зсуву за фазою під час визначення групи з'єднання становить...

1. 15° ;
2. 30° ;
3. 25° ;
4. 45° .

71. Стандартизовані групи з'єднання обмоток трифазних силових трансформаторів:

1. «6» і «0»;
2. «11» і «0»;
3. «11» і «1»;
4. «0» і «3».

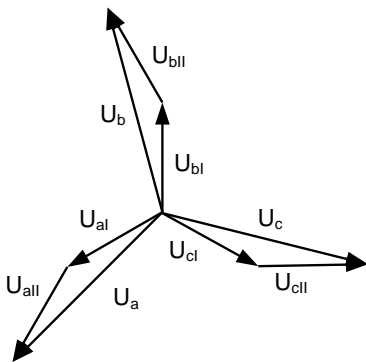
72. Коефіцієнт трансформації трансформатора теоретично визначається як:

1. відношення числа витків або лінійних значень ЕРС двох фаз обмотки вищої напруги трансформатора;
2. відношення фазних значень струмів або ЕРС обмоток вищої до нижчої напруги трансформатора;
3. відношення числа витків або фазних значень ЕРС обмоток вищої до нижчої напруги трансформатора;
4. відношення лінійних значень напруги і струмів обмоток вищої до нижчої напруги трансформатора.

73. Умовні позначення початку і кінця обмотки вищої напруги:

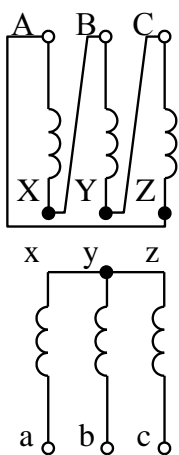
- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. початок – A, B, C | кінець – X, Y, Z; |
| 2. початок – a, b, c | кінець – x, y, z; |
| 3. початок – A_m, B_m, C_m | кінець – X_m, Y_m, Z_m ; |
| 4. початок – a_m, b_m, c_m | кінець – x_m, y_m, z_m . |

74. Схема з'єднання обмотки трансформатора, якій відповідає векторна діаграма напруги, наведена на рисунку:



1. «зірка»;
2. «зірка з нулем»;
3. «зигзаг»;
4. «трикутник».

75. Група з'єднання, якій відповідає представлена схема з'єднання обмоток трансформатора:



1. «11»;
2. «6»;
3. «0»;
4. «5».

76. Групи з'єднання, які можуть мати однофазні трансформатори:

1. «11» і «0»;
2. «0» і «6»;
3. «4» і «10»;
4. «11» і «6».

77. Чому буде дорівнювати номінальне значення струму у вторинній обмотці $I_{2н}$ трансформатора за $I_{1н}=10$ А; $U_{1н}=10$ кВ; $U_{2н}=0,4$ кВ?

1. 0,25 А;
2. 2,5 А;
3. 25 А;
4. 250 А.

78. Чому буде дорівнювати неприведене значення активного опору вторинної обмотки трансформатора R_2 , якщо коефіцієнт трансформації дорівнює $K=10$ і значення приведенного опору вторинної обмотки трансформатора складає $R'_2=0,1$ Ом?

1. 0,01 Ом;
2. 0,001 Ом;
3. 1 Ом;
4. 10 Ом.

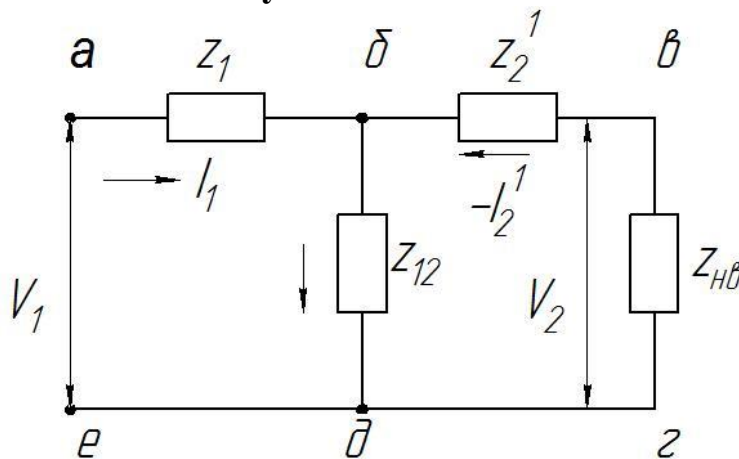
79. За потужність електричних втрат у трансформаторі за стандартом приймається активна потужність короткого замикання $P_{кн}$ за:

1. струму короткого замикання, що дорівнює номінальному $I_k=I_n$;
2. напруги короткого замикання, що дорівнює номінальній $U_k=U_{1n}$;
3. струму короткого замикання, що дорівнює $I_k=1,25 \cdot I_n$;
4. напруги короткого замикання, що дорівнює $U_k=0,5 \cdot U_n$.

80. За потужність магнітних втрат у трансформаторі за стандартом приймається:

1. повна потужність холостого ходу S_0 за номінального значення напруги U_{1n} ($U_0=U_{1n}$);
2. активна потужність холостого ходу P_0 за зниженого значення напруги U_{1n} ($U_0 < U_{1n}$).
3. активна потужність холостого ходу P_0 за номінального значення напруги U_{1n} ($U_0=U_{1n}$);
4. активна потужність холостого ходу P_0 за номінального значення струму I_{1n} ($I_0=I_{1n}$).

81. Яка з гілок схеми заміщення трансформатора характеризує коло намагнічування?



1. а-б
2. б-в
3. б-д
4. в-г

82. Характеристиками досліду холостого ходу і короткого замикання називаються залежності:

1. сили струму первинної і вторинної обмотки трансформатора, активної потужності, коефіцієнта потужності від напруги, що подається на первинну обмотку трансформатора;
2. сили струму, активної і повної потужності, коефіцієнта потужності від напруги, що подається на первинну обмотку трансформатора;
3. сили струму, активної потужності, коефіцієнта потужності від напруги, що подається на первинну обмотку трансформатора;
4. сили струму, напруги вторинної обмотки трансформатора, активної потужності, коефіцієнта потужності від напруги, що подається на первинну обмотку трансформатора.

83. Відповідно до закону повного струму, за навантаження трансформатора поле утворюється магніторушійною силою:

1. первинною обмоткою;
2. вторинною обмоткою;
3. первинною та вторинною обмотками;
4. додатковою обмоткою.

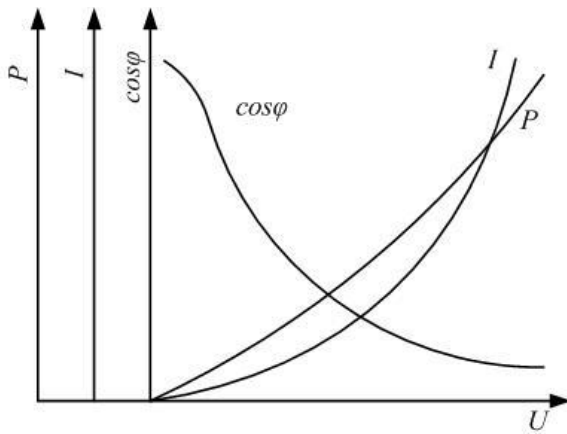
84. Як визначається коефіцієнт завантаження трансформатора?

1. $\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$;
2. $\beta = \frac{I_1^2}{I_{1H}^2}$;
3. $\beta = \frac{P_1}{P_{1H}}$;
4. $\beta = \frac{R_1}{R_2'}$.

85. Характер, за якого навантаження ККД трансформатора буде найбільший:

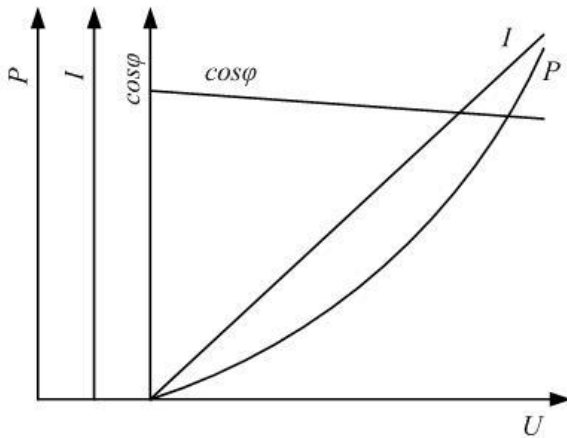
1. за активного;
2. за активно-індуктивного;
3. за активно-ємнісного;
4. за індуктивного.

86. Дослід, якому притаманні наведені характеристики:



1. дослід холостого ходу;
2. дослід короткого замикання;
3. дослід навантаження;
4. недостатньо даних для визначення.

87. Дослід, якому притаманні наведені характеристики:



1. дослід холостого ходу;
2. дослід короткого замикання;
3. дослід навантаження;
4. недостатньо даних для визначення.

88. Правильне написання рівняння визначення коефіцієнта трансформації:

1. $K = \frac{W_1}{W_2} = \frac{U_{1н}}{U_{2н}} \approx \frac{E_1}{E_2}$;
2. $K = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_{1н}}{U_{2н}}$;
3. $K = \frac{U_{1н}}{U_{2н}} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{W_1}{W_2}$;
4. $K = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_{2н}}{U_{1н}}$

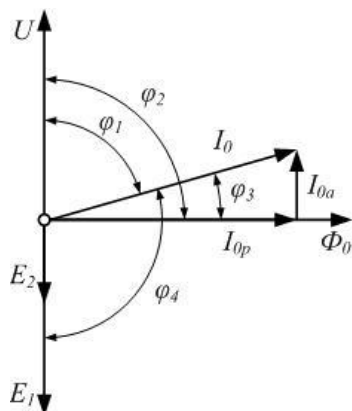
89. Що відбулося з навантаженням трансформатора, якщо струм первинної обмотки зменшився?

1. навантаження збільшилося;
2. навантаження зменшилося;
3. навантаження не змінилося;
4. змінився характер навантаження.

90. Особливості холостого ходу, притаманні трифазному груповому трансформатору:

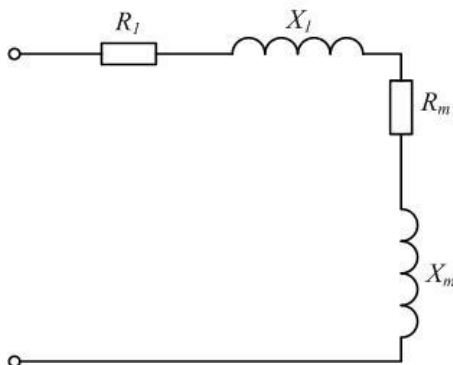
1. несиметрія магнітної системи;
2. $I_{0A} = I_{0B} = I_{0C}$ та $P_{0A} = P_{0B} = P_{0C}$;
3. вторинна напруга U_2 змінюється за синусоїдальним законом;
4. форма вторинної напруги U_2 залежить від схеми з'єднання обмоток.

91. Кут магнітного запізнення на векторній діаграмі трансформатора за холостого ходу:



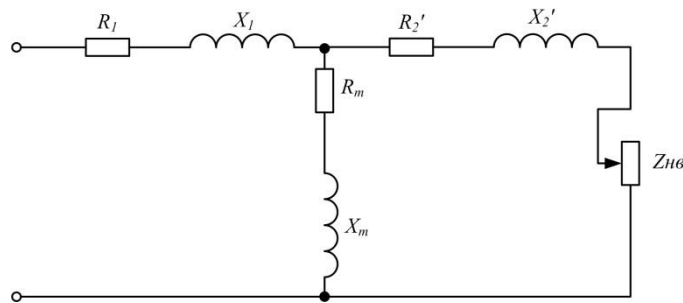
1. φ_1 ;
2. φ_2 ;
3. φ_3 ;
4. φ_4 .

92. Режим роботи, для якого характерна наведена схема заміщення



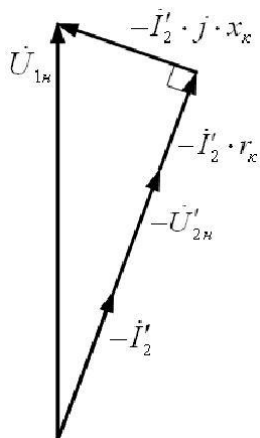
1. режиму холостого ходу;
2. режиму короткого замикання;
3. режиму навантаження;
4. недостатньо даних для визначення.

93. Режим роботи, для якого характерна наведена схема заміщення



1. режиму холостого ходу;
2. режиму короткого замикання;
3. режиму навантаження;
4. недостатньо даних для визначення.

94. Характер навантаження, якому відповідає наведена спрощена векторна діаграма:



1. активному;
2. активно-індуктивному;
3. активно-ємнісному;
4. індуктивному.

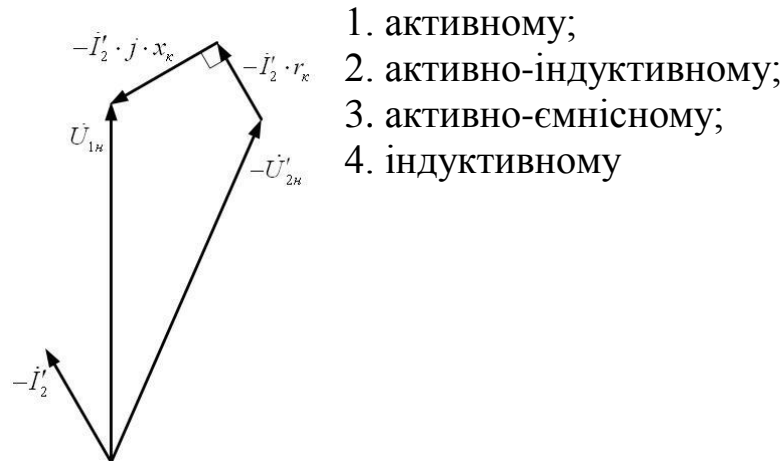
95. Зміною напруги трансформатора називається

1. арифметична різниця між вторинною напругою трансформатора за холостого ходу і напругою при номінальному струмі навантаження, коли первинна напруга постійна і дорівнює номінальній, а частота також постійна і дорівнює номінальній;
2. геометрична різниця між вторинною напругою трансформатора за холостого ходу і напругою за номінального струму навантаження, коли первинна напруга постійна і дорівнює номінальній, а частота також постійна і дорівнює номінальній;
3. геометрична різниця між номінальною вторинною напругою трансформатора і напругою за номінальної потужності навантаження, ко-

ли первинна напруга постійна і дорівнює номінальній, а частота також постійна і дорівнює номінальній;

4. арифметична різниця між номінальною вторинною напругою трансформатора і напругою за номінальної потужності навантаження, коли первинна напруга і частота струму дорівнює номінальній.

96. Характер навантаження, якому відповідає наведена спрощена векторна діаграма

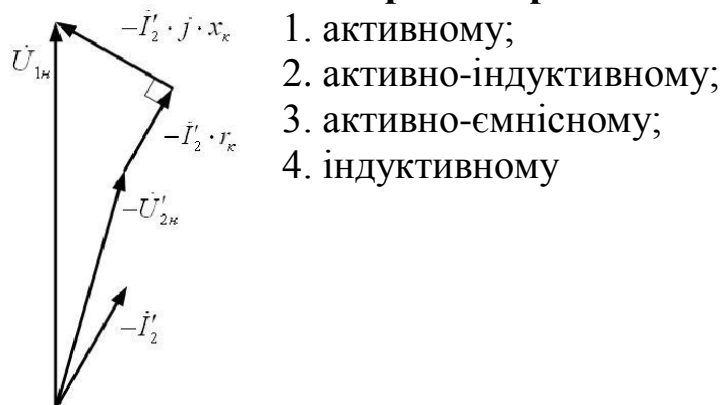


1. активному;
2. активно-індуктивному;
3. активно-ємнісному;
4. індуктивному

97. Правильне написання рівняння зовнішньої характеристики трансформатора

1. $U'_2 = U_{1н} - (I'_2 \cdot r_k \cdot \cos \varphi_2 + I'_2 \cdot x_k \cdot \sin \varphi_2)$;
2. $U'_2 = U_{1н} - (I'_2 \cdot r_k \cdot \cos \varphi_2 - I'_2 \cdot x_k \cdot \sin \varphi_2)$;
3. $U'_2 = U_{1н} + (I'_2 \cdot r_k \cdot \cos \varphi_2 - I'_2 \cdot x_k \cdot \sin \varphi_2)$;
4. $U'_2 = U_{1н} + (I'_2 \cdot r_k \cdot \cos \varphi_2 + I'_2 \cdot x_k \cdot \sin \varphi_2)$

98. Характер навантаження, якому відповідає наведена спрощена векторна діаграма



1. активному;
2. активно-індуктивному;
3. активно-ємнісному;
4. індуктивному

100. Зміна вторинної напруги силового трансформатора при зміні навантаження за паспортними даними розраховується за формулою

1. $\Delta U_{\%} = \beta^2 \cdot (u_{KA\%} \cdot \cos \varphi_2 + u_{KP\%} \cdot \sin \varphi_2)$;
2. $\Delta U_{\%} = \beta \cdot (u_{K\%} \cdot \cos \varphi_2 + u_{K\%} \cdot \sin \varphi_2)$;
3. $\Delta U_{\%} = \beta \cdot (u_{KA\%} \cdot \cos \varphi_1 + u_{KP\%} \cdot \sin \varphi_1)$;
4. $\Delta U_{\%} = \beta \cdot (u_{KA\%} \cdot \cos \varphi_2 + u_{KP\%} \cdot \sin \varphi_2)$.

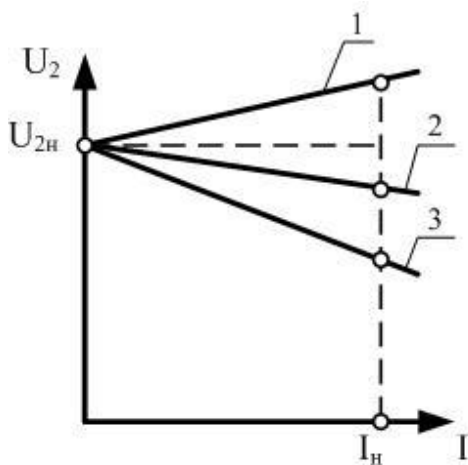
101. Регулювання вторинної напруги силового трансформатора здійснюється за рахунок

1. зміни схеми з'єднання первинної обмотки;
2. зміни кількості витків первинної обмотки;
3. зміни кількості витків вторинної обмотки;
4. зміни групи з'єднання обмоток трансформатора.

102. Характер навантаження, за якого спостерігатиметься максимальна величина зміни напруги:

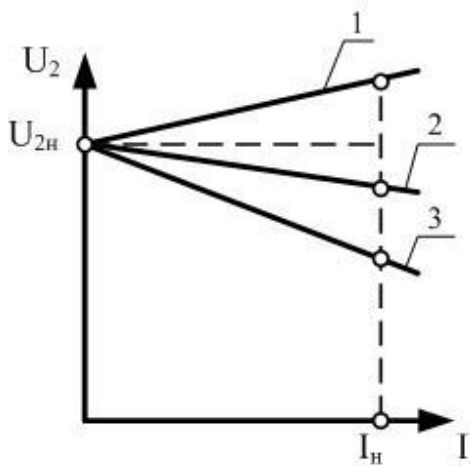
1. за активного характеру навантаження, коли $\cos \varphi_2 = 1$;
2. за активно-індуктивного характеру навантаження, коли $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_K$;
3. за активно-ємнісного характеру навантаження, коли $\cos \varphi_2 < \cos \varphi_K$;
4. за активно-індуктивного характеру навантаження, коли $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_K$.

103. Номер зовнішньої характеристики трансформатора за активно-індуктивного навантаження:



1. 2;
2. 3;
3. 1;
4. 2, 3.

104. Номер зовнішньої характеристики трансформатора за активного навантаження:

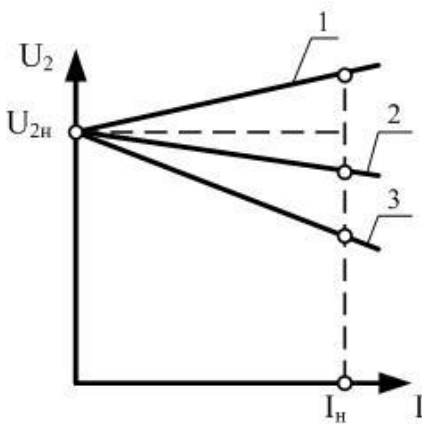


- 1. 2;
- 2. 3;
- 3. 1;
- 4. 2, 3.

105. Припустима різниця між коефіцієнтами трансформації трансформаторів, що включаються на паралельну роботу:

- 1. не більше ніж $\pm 0,3\%$;
- 2. не більше ніж $\pm 1,0\%$;
- 3. не більше ніж $\pm 0,1\%$;
- 4. не більше ніж $\pm 0,5\%$;

106. Номер зовнішньої характеристики трансформатора за активно-ємнісного навантаження:

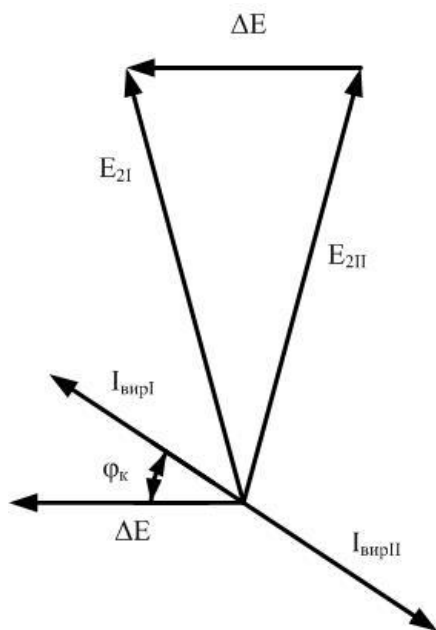


- 1. 2;
- 2. 3;
- 3. 1;
- 4. 2, 3.

107. Припустима різниця між напругами короткого замикання трансформаторів, що включаються на паралельну роботу:

1. не більше ніж ± 15 ;
2. не більше ніж $\pm 5\%$;
3. не більше ніж $\pm 10\%$;
4. не більше ніж $\pm 1\%$.

108. Векторна діаграма характерна для порушення умов паралельної роботи трансформаторів з різними:

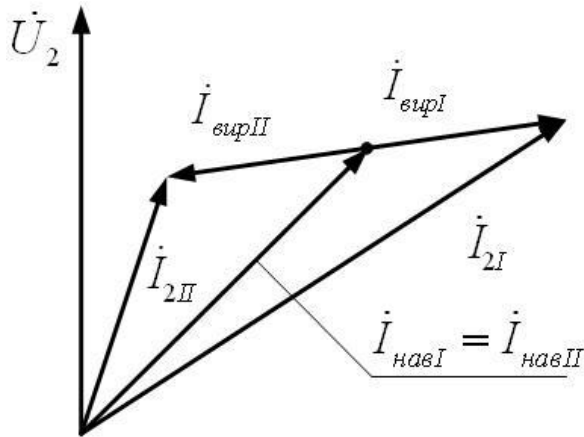


1. групами з'єднання обмоток;
2. коефіцієнтами трансформації;
3. напругами короткого замикання;
4. номінальними потужностями.

109. Паралельна робота трансформаторів необхідна для:

1. забезпечення резервування під час електропостачання споживачів у випадку аварії і необхідності ремонту трансформаторів;
2. зменшення завантаження трансформаторів трансформаторних підстанцій під час добових і річних піків навантаження;
3. зменшення втрат енергії в період недовантаження трансформаторних підстанцій шляхом відключення частини паралельно працюючих трансформаторів;
4. забезпечення оптимального завантаження трансформаторів за різних коливань навантаження.

110. Векторна діаграма характерна для порушення умов паралельної роботи трансформаторів з різними:



1. групами з'єднання обмоток;
2. коефіцієнтами трансформації;
3. напругами короткого замикання;
4. номінальними потужностями.

111. Визначити, який з трансформаторів завантажуватиметься більше під час паралельної роботи: I трансформатор: ТМ-160/10, $u_k=4,7\%$; II трансформатор: ТМ-250/10, $u_k=4,5\%$

1. I трансформатор, оскільки має меншу номінальну потужність;
2. I трансформатор, оскільки має більшу напругу короткого замикання;
3. II трансформатор, оскільки має меншу напругу короткого замикання;
4. II трансформатор, оскільки має більшу номінальну потужність.

112. Як будуть навантажуватися два трансформатора під час паралельної роботи, якщо $u_{k1} \neq u_{k2}$?

1. рівномірно;
2. пропорційно напругам короткого замикання;
3. обернено-пропорційно напругам короткого замикання;
4. пропорційно своїм потужностям.

113. Як будуть навантажуватися два трансформатора, які працюють паралельно за активно-індуктивного навантаження, якщо $K_1 \neq K_2$?

1. рівномірно коефіцієнтам трансформації;
2. пропорційно коефіцієнтам трансформації;
3. обернено-пропорційно коефіцієнтам трансформації;
4. пропорційно своїм потужностям.

114. Як будуть завантажуватися трансформатори за паралельної роботи з різними потужностями, якщо $u_{K1}=u_{K2}$ і $K_1=K_2$?

1. рівномірно;
2. обернено-пропорційно своїм потужностям;
3. пропорційно своїм потужностям;
4. пропорційно K .

115. Допуск Державних стандартів на умову рівності напруги короткого замикання за паралельної роботи трансформаторів:

1. $\Delta u_K = \pm 10\%$
2. $\Delta u_K = \pm 5\%$
3. $\Delta u_K = \pm 13\%$
4. $\Delta u_K = \pm 1\%$

116. Допуск ДСТУ на умову рівності коефіцієнтів трансформації за паралельної роботи трансформаторів:

1. $\Delta K = \pm 5\%$
2. $\Delta K = \pm 0,5\%$
3. $\Delta K = \pm 10\%$
4. $\Delta K = \pm 1,0\%$

117. Допуск ДСТУ на умову рівності потужності трансформації за паралельної роботи трансформаторів:

1. 5:1
2. 3:1
3. 2:1
4. 4:1

118. Допуск ДСТУ на умову рівності напруги короткого замикання та коефіцієнтів трансформації за паралельної роботи трансформаторів:

1. $\Delta u_K = \pm 5\%$, $\Delta K = \pm 0,5\%$
2. $\Delta u_K = \pm 10\%$, $\Delta K = \pm 0,5\%$
3. $\Delta u_K = \pm 5\%$, $\Delta K = \pm 1\%$
4. $\Delta u_K = \pm 10\%$, $\Delta K = \pm 2\%$

119. Допуск ДСТУ на умову рівності коефіцієнтів трансформації та потужності за паралельної роботи трансформаторів:

1. $\Delta K = \pm 1\%$ за потужністю 5:1
2. $\Delta K = \pm 0,5\%$ за потужністю 3:1
3. $\Delta K = \pm 5\%$ за потужністю 3:1
4. $\Delta K = \pm 10\%$ за потужністю 2:1

120. Допуск ДСТУ на умову рівності напруги короткого замикання та потужності за паралельної роботи трансформаторів:

1. $\Delta u_k = \pm 5\%$ за потужністю 5:1
2. $\Delta u_k = \pm 10\%$ за потужністю 3:1
3. $\Delta u_k = \pm 5\%$ за потужністю 3:1
4. $\Delta u_k = \pm 10\%$ за потужністю 2:1

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Куценко Ю.М., Яковлев В.Ф. Электричні машини і апарати/ Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 449 с.
- 2 Назарьян Г.Н. Электрические машины: Учебное издание для вузов/ Г.Н. Назарьян – Мелітополь, Люкс, 2011. – 827 с., ил.
- 3 Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: учебник для вузов/ А.И. Вольдек, В.В. Попов – СПб.: Питер, 2008. – 320 с.: ил.
- 4 Брускин Д.Э. Электрические машины, Ч. 1/ Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов – М.: Высшая школа, 1979. – 288 с.
- 5 Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины/ М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский – М.: Колос, 1974. – 547 с.
- 6 Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины/ Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов - М.: 1990. – 528 с.
- 7 Копылов И.П. Электрические машины/ И. П. Копылов – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
- 8 Практикум по электрическим машинам и аппаратам/ Под ред. В.Н. Андрианова. – М.: Колос, 1969. – 368 с.
- 9 Загірняк М.В. Электричні машини: підручник/ М.В. Загірняк, Б.І. Невзлін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К. Знання, 2009. – 399 с.
- 10 Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам: учеб. пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования/ М.М. Кацман. – М.: Издательский центр “Академия”, 2005. – 480 с.
- 11 Трансформаторы сухие с литой изоляцией: каталог сухих трансформаторов с литой изоляцией. – Киев: ИталТехно, 2011. – 10 с. Режим доступа: www.ital-tesco.com.ua.
- 12 Смуригін В.М. Методичні вказівки до лабораторно-практичних робіт з дисципліни «Електричні машини». Частина 1: трансформатори і машини постійного струму/ [Смуригін В.М., Галько С.В., Бородін Є.В., Ковальов О.В.]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – 149 с.