

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

До друку дозволяю
Проректор

Руслан МИГУЩЕНКО

**ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ
І ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ**

Контрольні питання, розрахункове завдання і методичні вказівки
з дисципліни «Основи електроенергетики»

для студентів денної форми навчання за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка
спеціалізації «Електричні машини»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № __ від _____ 2023 р.

Харків – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»



**ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ
І ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ**

Контрольні питання, розрахункове завдання і методичні вказівки
з дисципліни «Основи електроенергетики»
для студентів денної форми навчання за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка
спеціалізації «Електричні машини»

Харків – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»**

**ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ
І ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ**

Контрольні питання, розрахункове завдання і методичні вказівки
з дисципліни «Основи електроенергетики»

для студентів денної форми навчання за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка
спеціалізації «Електричні машини»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № __ від _____ 2023 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2023

Основне обладнання і технологія отримання електроенергії на промислових підприємствах і електростанціях. Контрольні запитання, розрахункове завдання та методичні вказівки з дисципліни «Основи енергетики» для студентів денної форми навчання спеціальності 141 – Енергетика, електротехніка та електромеханіка спеціальності «Електричні машини» / Укладачі Шевченко В. В., Дунєв О. О. – Харків: НТУ «ХП», 2023. – 18 с.

Укладачі: Шевченко В. В., Дунєв О. О.

Рецензент: проф. Лазуренко О. П.

Кафедра електричних машин

ВСТУП

Методичне видання присвячене виконанню розрахункового завдання з дисципліни «Основи енергетики» для студентів спеціальності 141 – Енергетика, електротехніка та електромеханіка спеціальності «Електричні машини».

Метою індивідуального завдання є закріплення знань студентів про існуючі типи електростанцій; про засоби розподілу та передачі електричної енергії, найменування електрообладнання (ЕО) станцій, підстанцій і промислових підприємств: трансформатори, електричні машини, комутаційна, вимірювальна та захисна апаратура. Студент повинен вміти оцінювати перспективні напрями розвитку електроенергетики, знати переваги та недоліки різних типів сучасних джерел енергії, знати типи ЕО для різних типів електростанцій, особливості вибору та експлуатації ЕО на промислових підприємствах. У результаті виконання індивідуального завдання студент повинен знати типи електростанцій, їх основне ЕО та електрообладнання промислових підприємств, сучасні види відновлюваних джерел енергії, їх недоліки та переваги. Основними об'єктами дослідження є електромеханічні пристрої – трансформатори та електричні машини, які є основою електроенергетики та електроприводів різних галузей промисловості.

Індивідуальне завдання складається з трьох розділів. Кожен розділ містить контрольні запитання та вихідні дані до завдань, а також методичні вказівки до їх розв'язання. Конкретний обсяг роботи та номер варіанта завдання уточнює викладач.

Індивідуальне завдання є підсумковим документом роботи студента. Перед іспитом необхідно його повністю виконати, оформити та захистити. У кінці звіту слід вказати джерела інформації, якими студент користувався під час виконання роботи.

Звіт про виконання розрахункової роботи починається з титульного аркуша, зразок якого наведено в *Додатку А*.

У цьому виданні застосована сучасна оновлена система позначень електричних, магнітних, силових, механічних величин, яка відповідає державним стандартам.

ЗАВДАННЯ

1 Класифікація електростанцій. Перелік основного електрообладнання

1.1 Теоретичні питання

- 1) Складіть схему «Класифікація силових трансформаторів».
- 2) Виконайте ескізи будови осердь і обмоток силових трансформаторів.
- 3) Які втрати в електрообладнанні? В трансформаторах? В електричних машинах?
- 4) Які є категорії надійності електропостачання електроприймачів? Наведіть приклади електроприймачів різних категорій надійності.
- 5) Дати письмове визначення поняттям: коефіцієнт трансформації; схеми обмоток трифазних трансформаторів; струм неробочого ходу. Чому осердя трансформаторів і електричних машин виконують шихтованими?
- 6) Складіть схему «Класифікація електричних станцій».
- 7) Опишіть, які є основні джерела електроенергії у нашій країні. Які нові напрямки розвитку електроенергетики ви вважаєте перспективними?

1.2 Завдання. Розрахунок енергетичних параметрів трифазного трансформатора

Для трифазного трансформатора ($m=3$ – кількість фаз), який працює в мережі з частотою напруги $f = 50$ Гц і має дані, наведені в табл. 1 і на рис. 1, розрахувати коефіцієнт трансформації; номінальний і максимальний ККД; значення навантаження (в частинах номінальної потужності), при якому ККД трансформатора досягає максимального значення, і струм намагнічування (струм неробочого ходу).

Примітка: в цьому розділі використовуються символи:

- первинна обмотка – індекс p ;
- вторинна обмотка – індекс s ;
- активний опір R_p і реактивний опір X_p первинної обмотки;
- зведені значення активного R'_s і реактивного опору X'_s вторинної обмотки;
- активний опір R_m і реактивний опір X_m кола намагнічування.

Нижче наведено пояснення елементів трифазного двох-обмоткового трансформатора, який показано на рис. 1. На рис. 1 використані позначення:

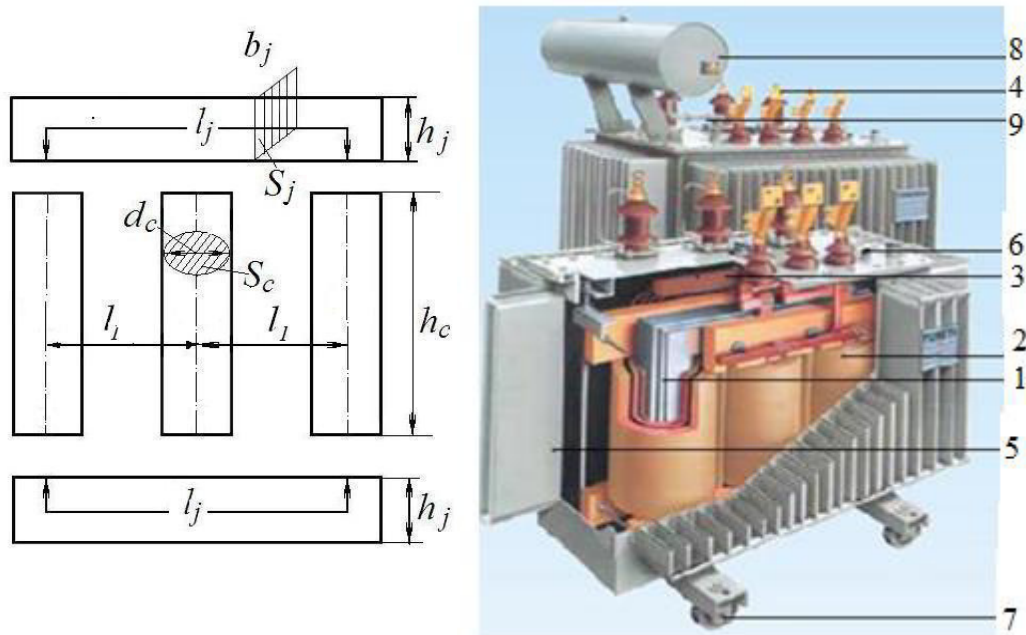


Рисунок 1 – Ескіз осердя та зовнішній вигляд трифазного двох-обмоткового трансформатора з оливним охолодженням:

- 1 – осердя трансформатора; 2 – обмотки високої та низької напруги (одна в іншій);
- 3 – перемикач відгалуження обмоток; 4 – вводи високої та низької напруги;
- 5 – гофрований бак трансформатора; 6 – кришка оливного бака; 7 – візок з рухомими (поворотними) колесами; 8 – подовжувач з магнітним індикатором рівня оливи; 9 – газове реле

Осердя трансформаторів призначені для механічного кріплення обмоток і формування (визначення напрямків) робочого магнітного потоку. Обмотки високої напруги (ВН) виконують з круглого або профільованого дроту; низької напруги (НН) – переважно із стрічкового матеріалу. Ізоляцію виконують з матеріалів з високим електричним і тепловим опором. Обмотки аксіально і радіально захищені від сил, що виникають при короткому замиканні.

Перемикач відгалуження обмоток, призначений для вирівнювання напруги трансформації відповідно до місцевих умов. Вводи високої напруги з'єднані з узгоджувальним розрядником. Розрядник роблять захищеним від контакту з виводами. Гофрований бак трансформатора завжди роблять з невеликою кількістю зварних швів; це герметична конструкція з гнучкими гофрованими стінками. На баку є пристрій для зливу оливи і гвинт для кріплення проводу заземлення. Кришка оливного бака має петлі для кріплення і підйому; на кришці кріплять дроти заземлення і пристрої для термометра і для установки приладів контролю температури. Під дном баку є візок з рухомими (поворотними)

колесами, які забезпечують як поздовжнє, так і поперечне переміщення. Подовжувач з магнітним індикатором рівня оливи виконують у вигляді заливного ніпеля. Газове реле призначене для випуску газів, які виділяються з оливи в номінальному режимі роботи.

У табл. 1 наведено дані для виконання розрахункової роботи.

Таблиця 1 – Параметри трифазних трансформаторів

Номер варіанту	Номінальна повна потужність	Номінальна напруга первинної обмотки	Номінальна напруга вторинної обмотки	Кількість витків вторинної обмотки	Значення струму намагнічування (в % від номінального струму первинної обмотки)	Коефіцієнт потужності трансформатора в режимі неробочого ходу	Номінальний коефіцієнт потужності	Електричні втрати трансформатора в номінальному режимі	Схеми і групи з'єднання обмоток трансформаторів
	S_N , кВ·А	U_{pNl} , кВ	U_{sNl} , кВ	N_s , в.о.	i_0 , %	$\cos\varphi_0$, в.о.	$\cos\varphi_N$, в.о.	P_k , кВт	
1	50	6,0	0,525	192	8	0,087	0,82	1,70	Y/Δ-11
2	100	35,0	6,3	200	9,5	0,088	0,82	2,86	Y/Y-0
3	100	35,0	3,6	200	9,0	0,07	0,82	2,86	Y/Δ-11
4	320	35,0	6,3	360	9,5	0,075	0,80	5,60	Y/Y-0
5	5600	110,0	6,0	200	10,0	0,087	0,81	47,8	Y/Y-0
6	1000	35,0	0,69	470	10,5	0,087	0,80	18,54	Y/Δ-11
7	1800	35,0	6,3	640	11,0	0,088	0,85	24,22	Y/Δ-11
8	3200	35,0	3,6	660	10,5	0,07	0,84	36,5	Y/Y-0
9	5600	35,0	6,3	600	11,0	0,075	0,85	49,6	Y/Y-0
10	20	6,0	0,4	100	6,5	0,087	0,83	0,95	Y/Δ-11
11	60	35,0	6,3	200	7,5	0,088	0,83	2,10	Y/Y-0
12	100	35,0	0,69	150	8,7	0,07	0,8	3,26	Y/Y-0
13	180	35,0	3,15	300	7,5	0,075	0,84	4,10	Y/Δ-11
14	180	35,0	3,15	300	8,0	0,087	0,84	4,10	Y/Y-0
15	20	10,0	0,69	380	6,5	0,1	0,83	0,94	Y/ Y-0
16	180	10,0	0,69	388	7,0	0,088	0,83	5,24	Y/Δ-11
17	560	35,0	6,3	400	7,5	0,07	0,80	9,30	Y/Δ-11
18	1000	35,0	10,5	390	9,0	0,075	0,80	15,12	Y/Y-0
19	50	6,0	3,15	400	6,5	0,087	0,85	3,14	Δ/Y-11
20	100	10,0	3,15	600	7,0	0,1	0,84	5,04	Y/Y-0

1.3 Методичні вказівки до виконання завдання

1.3.1. Відповіді на теоретичні питання

Спочатку необхідно відповісти на сім теоретичних питань, що вказані в пункті 1.1. Для цього скористайтеся конспектом, який Ви писали на лекціях, літературою, зазначеною в цих методичних вказівках, навчальним посібником та матеріалами з Інтернету. При відповідях на теоретичні запитання, використовуйте схеми, рисунки, графіки тощо, які допоможуть зробити вашу відповідь більш повною.

1.3.2 Деякі матеріали для складання відповідей на теоретичні питання

Трансформатори класифікуються за такими показниками:

1) за призначенням: силові, вимірювальні та спеціальні трансформатори.

Силові трансформатори використовуються для електростанцій і промислових підприємств. Вимірювальні трансформатори використовуються для вимірювання великих струмів і напруг. Це відповідно трансформатори струму і трансформатори напруги. Для наукових досліджень використовуються спеціальні трансформатори;

2) за конструкцією осердь трансформатори поділяють на стрижневі, броньовані, бронестрижневі та тороїдальні (у формі тора), рис. 2;

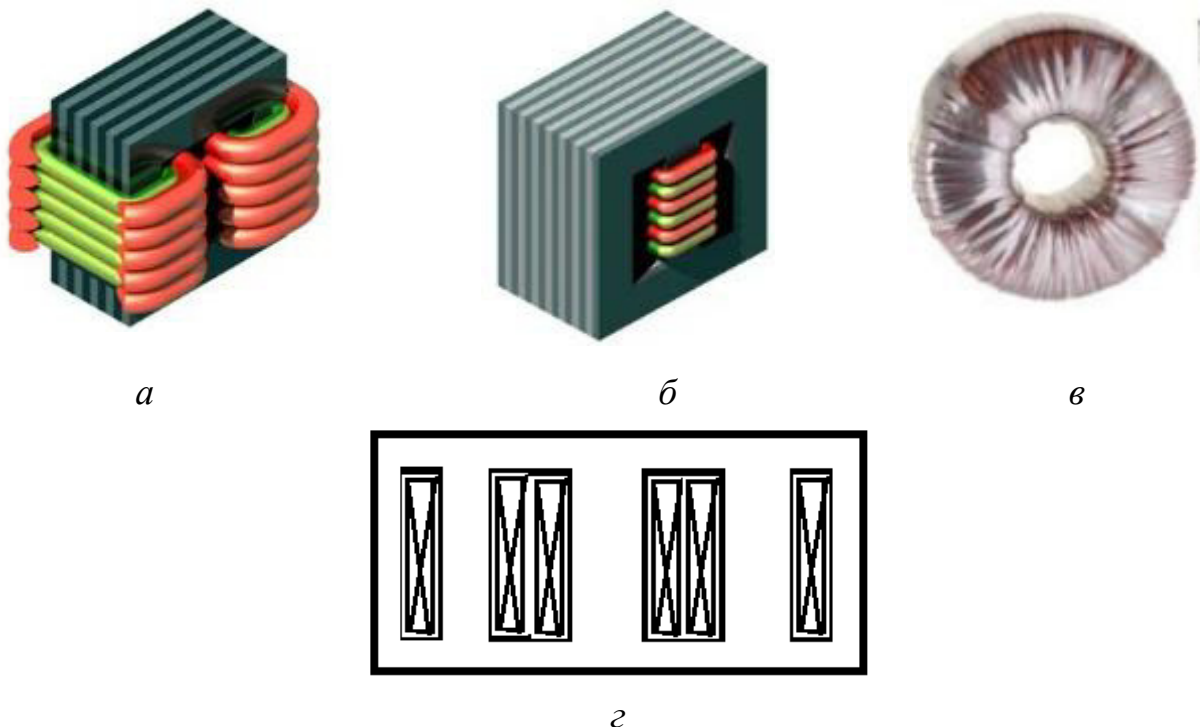


Рисунок 2 – Класифікація трансформаторів за конструкцією осердь:
а – стрижневий; *б* – броньований; *в* – тороїдальний ; *г* – бронестрижневий (трифазний)

3) класифікація обмоток за розміщенням первинної та вторинної котушок: концентричні (одна в іншій) і дискові (або «тарельчаті»), рис. 3.

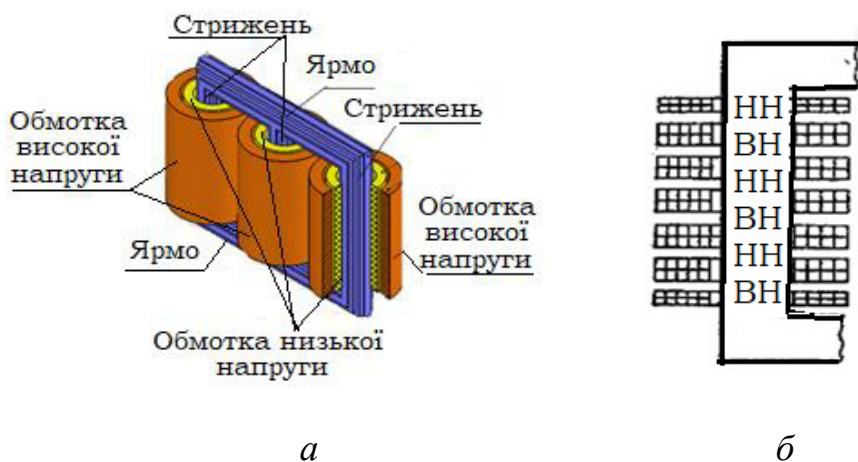


Рисунок 3 – Класифікація за конструкцією обмоток:
а – концентрична (одна в іншій); *б* – дискова (або тарельчата)

4) класифікація за кількістю фаз: однофазні та багатофазні (зазвичай трифазні);
 5) класифікація за способом охолодження: сухе (охолодження повітрям) і з охолодженням оливою, рис.4.

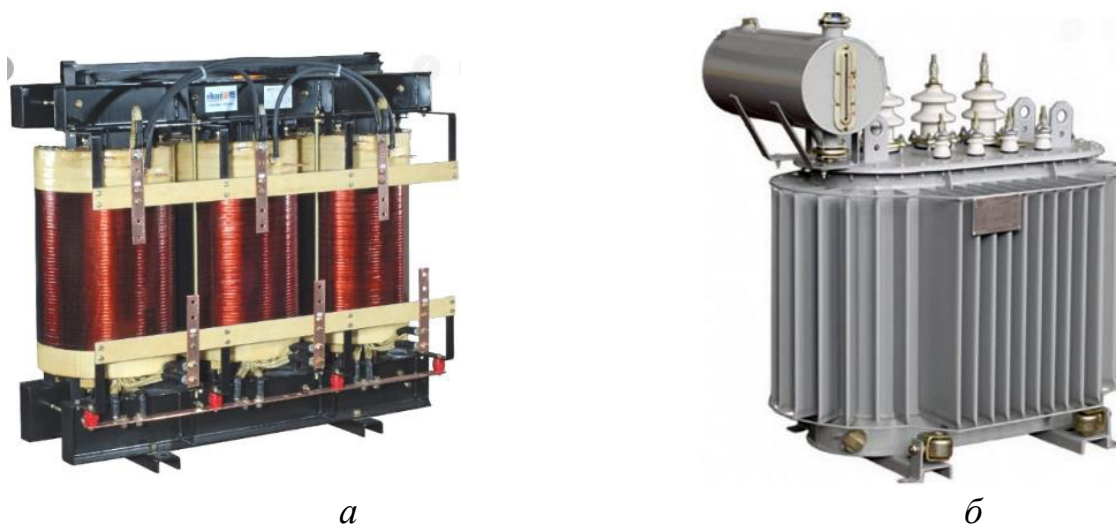


Рисунок 4 – Класифікація за способом охолодження:
а – сухі (повітряне охолодження); *б* - з охолодженням оливою.

б) класифікація за кількістю обмоток на фазу: з однією обмоткою, з двома обмотками або з трьома обмотками.

Накресліть ескізи осердь і обмоток силових трансформаторів, підпишіть основні елементи.

Всі втрати виділяються у вигляді тепла, тому не можна говорити «теплові втрати». Втрати в електричних машинах і трансформаціях наступні:

1) електричні втрати виникають при проходженні струму по провіднику. Відповідно до закону Джоуля, електричні втрати пропорційні струму у другому ступені, Вт:

$$P_{el} = m \cdot I^2 \cdot R,$$

де R – активний опір провідника, Ом;

m – кількість фаз, в.о.

Це змінні втрати, бо залежать від струму, тобто від навантаження;

2) магнітні втрати виникають при проходженні магнітного потоку через сталеві осердя, Вт. Це постійні втрати, вони майже однакові і в режимі неробочого ходу, і в номінальному режимі, і в режимі перевантаження.

Основні втрати в сталі (магнітні втрати) поділяють на два види: втрати від вихрових струмів (від струмів Фуко) і втрати від перемагнічування (від гістерезису). Для врахування додаткових втрат в сталі основні втрати або збільшують на 10-15%, або їх враховують в загальних додаткових втратах.

Втрати в сталі (магнітні втрати) залежать від марки і якості сталі, від якості штампування і складання осердя. Звичайно, вони залежать і від розміру осердя.

Найголовніше, що вони залежать від частоти напруги, Вт:

$$P_{mag} \sim f^\beta, \text{ де } \beta = 1,5-2.$$

Осердя трансформаторів і електричних машин (ЕМ), через які проходить змінний магнітний потік, зібрані з ізольованих один від іншого листів електротехнічної сталі товщиною 0,35-0,5 мм. Таке осердя має назву «шихтоване осердя» і робиться для зменшення магнітних втрат.

Всі ці показники не змінюються при зміні навантаження (струму). Вони однакові в режимі неробочого ходу, в номінальному режимі, в режимі перевантаження. Отже, це постійні втрати;

3) механічні втрати – це втрати від тертя елементів, що обертаються, один відносно іншого. Ці втрати виникають через тертя валів в підшипниках і через тертя ротора об повітря. Ротор – один з головних елементів електричної машини, який обертається. У трансформаторах таких втрат немає, тільки в ЕМ. Крім того, до механічних втрат відносять вентиляційні втрати, якщо їх розрахунок не обумовлений окремо.

4) додаткові втрати – це втрати, які раніше не враховувалися.

Коли всі втрати визначені, можна розрахувати ККД електрообладнання:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P_i}{P_1}, \text{ в. о. або } \times 100\%$$

де ΣP_i – сума всіх втрат, Вт.

Коефіцієнт трансформації; схеми обмоток трифазних трансформаторів; струм неробочого ходу.

Коефіцієнт трансформації, в.о.:

$$k_{tr} = \frac{E_p}{E_s} = \frac{w_p}{w_s} \cong \frac{U_{pN}}{U_{sN}}$$

де w_p – кількість витків первинної обмотки трансформатора;

w_s – кількість витків вторинної обмотки трансформатора;

E_p – електрорушійна сила (ЕРС) самоіндукції, В;

E_s – ЕРС взаємоіндукції, В;

U_{pN} – номінальна напруга первинної обмотки трансформатора, В;

U_{sN} – номінальна напруга вторинної обмотки трансформатора, В.

Коли $k_{tr} < 1$ – підвищувальний трансформатор.

Коди $k_{tr} > 1$ – понижуючий трансформатор.

Схеми обмоток трифазних трансформаторів

Трифазний трансформатор зазвичай має дві трифазні обмотки – високої (ВН) і низької (НН) напруги. Таким чином, трифазний трансформатор має шість незалежних фазних обмоток і 12 виводів. Початок виводів фаз обмотки вищої напруги позначаються літерами *A, B, C*, кінці – *X, Y, Z*, а для аналогічних виводів фаз обмотки низької напруги – використовуються позначення *a, b, c, x, y, z*. Кожна з обмоток трифазного трансформатора – первинна і вторинна – може бути з'єднана трьома різними способами, а саме: зіркою; трикутником; зигзагом.

У більшості випадків обмотки трифазних трансформаторів з'єднуються або в зірку, або в трикутник (рис. 2).

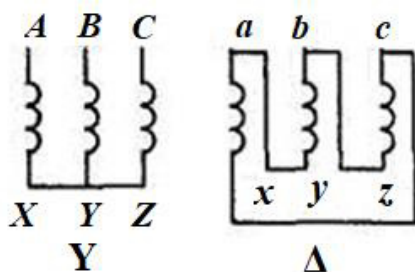


Рисунок 2 – Схеми з'єднання обмоток трифазних трансформаторів «зіркою» Y і «трикутником» Δ

Вибір схеми підключення залежить від умов експлуатації трансформатора.

Струм неробочого ходу первинної обмотки (вторинна обмотка не замкнута, без навантаження) називається струмом намагнічування, тому що він майже повністю реактивний і необхідний для створення магнітного потоку, який замикається вздовж сталевго осердя і індукуює ЕРС у вторинній і первинній обмотках.

При відповіді на питання 7 (розділ 1.1. *Опишіть, які є основні джерела електроенергії у нашій країні. Які нові напрямки розвитку електроенергетики ви вважаєте перспективними*), проаналізуйте сучасний стан електроенергетики в світі і Вашій країні, вкажіть які електростанції працюють у вашій країні, запропонуйте найбільш перспективні напрямки розвитку електроенергетики країни. Вкажіть, які корисні копалини є на території країни (вугілля, газ, нафта). Оцініть перспективи отримання електроенергії від відновлюваних джерел енергії: вітру, сонця, гейзерів, морських течій, біогазів тощо.

Основні питання, що встановлюють напрямки розвитку енергетики:

- 1) попит на довгострокові джерела енергії;
- 2) екологічна безпека виробництва електроенергії.

У різні періоди весь час змінювалися джерела енергії. Наприклад, проаналізуємо як змінювалося паливо на теплових електростанціях (ТЕС): спочатку було тільки вугілля; з 40-х років 20 століття на станціях почали використовувати газ і мазут. Натепер в Україні, як і багатьох інших країнах ТЕС знов працюють на вугіллі. З 70-х років почала розвиватися атомна енергетика, а з 90-х років до теплових і атомних електростанцій додалися станції, що використовують відновлювані джерела енергії. Світова економічна криза, а особливо війна, негативно вплинули на стан і розвиток електроенергетики.

Проблеми, що характерні для всіх країн:

- 1) екологічні проблеми;
- 2) обмежені мінеральні ресурси (вугілля, газ, нафта);
- 3) безперервне зростання населення і збільшення потреби в електроенергії;
- 4) збільшення втрат електроенергії через старе електрообладнання і знос передаючих мереж.

Шляхи збільшення виробництва електроенергії:

- 1) підвищення ефективності і збільшення одиничної встановленої потужності турбогенераторів (ТГ), основних джерел енергії на Землі, до 1500 МВт і більш;
- 2) продовжувати розвивати атомну енергетику;
- 3) для забезпечення екологічної безпеки продовжувати дослідження та визначати можливості втілення відновлюваних джерел енергії (вітер, сонце, морські течії та інші);

4) вести дослідження можливості використання високотемпературних надпровідників (ВТНП) в електроенергетиці, що стало можливим з відкриттям і виробництвом перших промислових ВТНП з критичною температурою вище 77,3 К – вище температури кипіння рідкого азоту;

5) продовжувати дослідження промислового використання термоядерної енергії.

Обладнання для електростанцій: це генератори, двигуни і трансформатори. Всі машини і трансформатори працюють в різний час. Це називається «робочим режимом». Ці режими означають S1, S2...S8: S1 – тривалий режим роботи. S2-S7 – режим роботи повторного короткочасного режиму; S8 – режим короткочасної роботи.

Електростанції бувають різних типів, (рис. 5). Дайте коротку класифікацію технології отримання електроенергії на основних типах електростанцій:

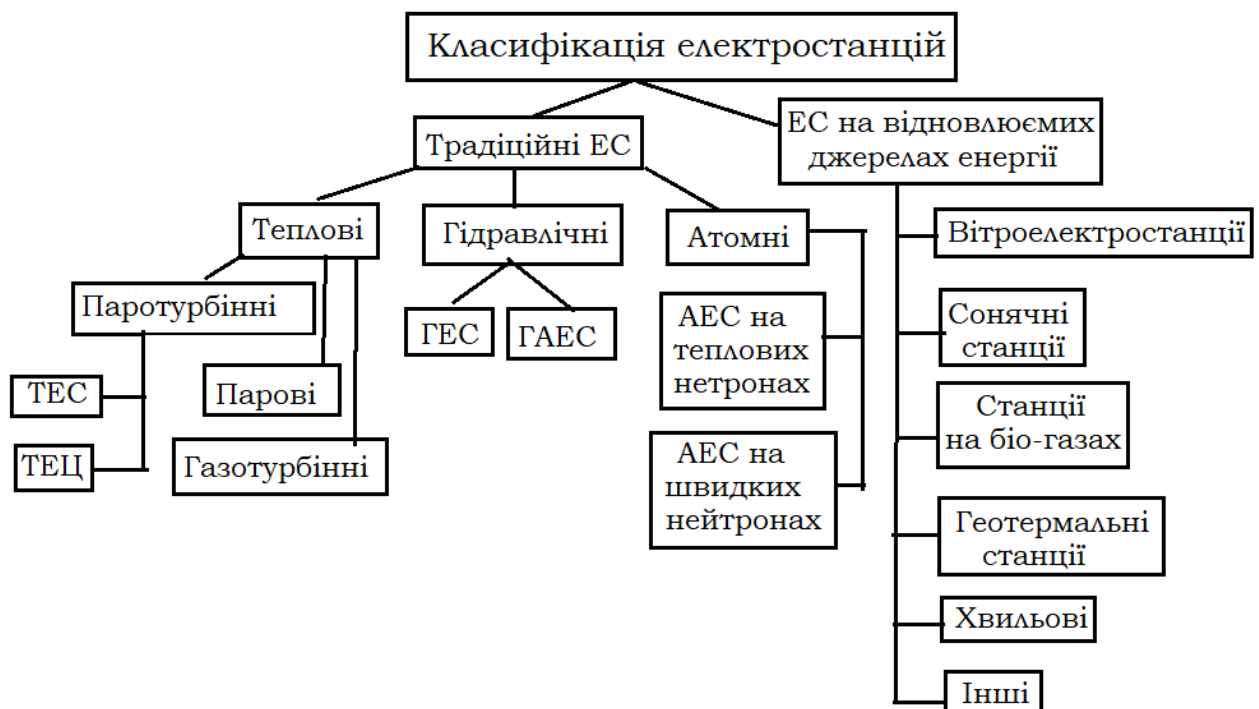


Рисунок 5 – Класифікація електростанцій

- класичні (традиційні) електростанції: атомні електростанції (АЕС), теплові електростанції (ТЕС та ТЕЦ), гідроелектростанції ГЕС та ГАЕС.
- електростанції, що працюють від відновлюваних джерел.

Електроенергія є ключовою для людської цивілізації. Завдяки ній вдається налагодити серійне виробництво товарів, роботу двигунів та побутових приладів тощо. Зі зростанням попиту на електроенергію сформувалася градація споживачів за умовною важливості, яка отримала назву категорій надійності енергопостачання. Тобто усіх споживачів електроенергії можна розділити на категорії, відповідно до необхідної надійності їх забезпечення електроенергією. У табл. 2 наведено необхідна кількість каналів резервного електропостачання споживачів та допустимий час включення резервного каналу електропостачання в залежності від категорії надійності електропостачання.

До першої категорії належать споживачі енергії, припинення електропостачання яких може спричинити травми або загибель людей, нанести шкоду державній безпеці, зупинити систему життєзабезпечення населених пунктів, призведе до аварії серйозного масштабу, призведе до порушення складного технологічного процесу, до серйозних матеріальних збитків, до великих фінансових втрат. Щоб забезпечити усіх споживачів електроенергії 1-ої категорії, для них передбачаються альтернативні системи електроживлення та комунікацій, резервування генераторів та модулі автоматичного перемикачів – АВР (автоматичне введення резерву).

Таблиця 2 – Дані для електроприймачів різних категорій надійності

Категорія	Кількість каналів (джерел) резервування	Допустимий час перерви електропостачання	Коефіцієнт допустимого завантаження трансформаторів в залежності від категорії надійності
1-а	два	На час автоматичного ввімкнення резерву (АВР)	0,60-0,65
1-а особа	три		0,50-0,60
2-а	один	1 година (бажано АВР)	0,7-0,80
3-я	Не передбачається	24 години	0,85-0,90

Перша особлива категорія – це електроприймачі, перебої в електропостачанні яких може визвати масові людські жертви, вибухи, пожежі на великих територіях. До електроприймачів першої особливої категорії надійності електропостачання відноситься електрообладнання АЕС, прискорювачів, Токамаків, складних хімічних виробництв.

До другої категорії (важливі електроприймачі) відносяться споживачі електроенергії, для яких раптове відключення електроенергії може призвести до масового браку виробництва, тривалого простою дорогого устаткування, порушення нормального режиму життєдіяльності великих колективів.

До 2-ї категорії відноситься основна маса різноманітних промислових і адміністративних будівель.

До третьої категорії належать усі інші споживачі.

1.3.4. Методичні вказівки до вирішення задачі. Розрахунок енергетичних параметрів трифазного трансформатора

У табл. 1 виберіть дані для свого трансформатора відповідно до ваших параметрів.

Трансформатор – це електромагнітний пристрій, який зазвичай має дві (інколи одну або більше двох) індуктивно зв'язані обмотки і призначений для перетворення однієї системи змінного струму в іншу. Найбільше застосування отримали силові трансформатори, за допомогою яких змінюють величину змінної напруги і струму біля електростанцій перед передачею електроенергії до споживачів, на великі відстані.

Слід пам'ятати, що трансформатор не є електричною машиною. Електрична машина – це електромеханічний перетворювач. Але трансформатори вивчаються в дисципліні «Електричні машини», оскільки фізичні процеси в трансформаторі та математичний апарат, який використовується при його вивченні, схожі з фізичними процесами та математичним апаратом електричних машин (зокрема, асинхронних двигунів).

Це означає, що в електричній машині енергія змінює свою форму:

– якщо до електричної машини подається електрична енергія, то машина перетворює її в механічну. Це двигун (мотор);

– якщо до електричної машини подати механічну енергію, машина перетворить її в електричну енергію. Це генератор.

Це називається «принципом оборотності електричних машин»: будь-яка електрична машина може бути генератором і двигуном.

Найпростіший силовий трансформатор складається з шихтованого магнітопроводу з електротехнічної сталі і двох обмоток, розташованих на його стрижнях (див. рис. 1). Одна з обмоток, яка називається первинною, підключається до джерела змінного струму з напругою U_p . До вторинної обмотки підключений електроприймач.

Розрахуйте номінальні значення фазних напруг трансформатора первинної U_{pN} та вторинної обмотки U_{sN} по значенням лінійних напруг (U_{pNl} і U_{sNl} відповідно), що наведені в табл.1, з врахуванням схеми з'єднання обмоток.

Якщо обмотка трансформатора з'єднана в «зірку», то фазне значення напруги, В:

$$U_N = \frac{U_{Nl}}{\sqrt{3}}$$

Якщо обмотка трансформатора з'єднана в «трикутник», то фазна напруга дорівнює лінійній $U_N = U_{Nl}$ і вам не потрібно перераховувати напругу.

У подальших розрахунках використовувати тільки значення фазних напруг. Визначить кількість витків первинної обмотки трансформатора:

$$N_p = \frac{N_s \cdot U_{pN}}{U_{sN}}$$

Пам'ятайте, що кількість витків має бути цілим числом.

Визначить струм намагнічування трансформатора (повний струм неробочого ходу первинної обмотки трансформатора), А:

$$I_{p0} = i_0 \cdot I_{pN},$$

де i_0 – значення струму намагнічування (з табл. 1, в розрахунках використовується у в.о.);

I_{pN} – номінальний струм первинної обмотки, А:

$$I_{pN} = \frac{S_N}{m \cdot U_{pN}};$$

Магнітні втрати в осерді трансформатора (разом основні і додаткові), Вт:

$$P_{mag} = (1 + k_{ad}) \cdot m \cdot U_{pN} \cdot I_{p0} \cdot \cos\varphi_{p0}$$

де k_{ad} – коефіцієнт додаткових втрат (P_{ad}). Цей коефіцієнт змінюється в межах $k_{ad} = 0,1-0,15$.

ККД трансформатора при номінальному навантаженні, в.о.:

$$\eta_N = 1 - \frac{P_0 + \beta_{Is}^2 \cdot P_k}{\beta_{Is} \cdot S_N \cdot \cos\varphi_N + P_0 + \beta_{Is}^2 \cdot P_k}$$

де P_0 – втрати в режимі неробочого ходу, які являють собою магнітні втрати в магнітопроводі трансформатора. Магнітні втрати постійні, не залежать від навантаження, Вт:

$$P_0 = P_{mag};$$

β_{Is} – коефіцієнт навантаження трансформатора, в.о.:

$$\beta_{Is} = \frac{I_p}{I_{pN}}$$

При номінальному навантаженні $\beta_{Is} = \beta_{IsN} = 1$;

I_p – струм первинної обмотки трансформатора, А;

I_{pN} – номінальний струм первинної обмотки трансформатора, А.

Іноді в технічній літературі і в прайс-листах ККД вказується у відсотках (%). Але в розрахунках завжди слід використовувати значення ККД у відносних одиницях (в.о.).

Максимальне значення ККД трансформатора досягається, коли постійні втрати дорівнюють змінним. В трансформаторах є два види втрат: магнітні (основні і додаткові) P_0 і електричні втрати (втрати в обмотках трансформатора).

Примітка. У всіх типах електрообладнання максимальний ККД буде, коли постійні втрати дорівнюють змінним втратам. Але в електричних машинах, крім магнітних і електричних втрат, є ще механічні і додаткові втрати. Це також постійні втрати.

Електричні втрати є змінними. На підприємствах і електростанціях їх визначають під час лабораторного експерименту КЗ. Визначення втрат в даному

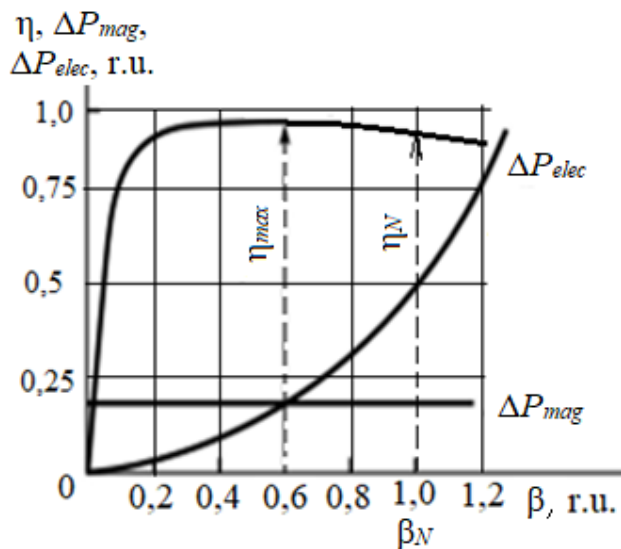


Рисунок 6 – ККД трансформатора:

ΔP_{elec} – електричні втрати в трансформаторі; ΔP_{mag} – магнітні втрати в магнітопроводі трансформатора

досліді проводиться при номінальному значенні струму. Отже, втрати лабораторного експерименту КЗ є електричними втратами в номінальному режимі. Їх значення ($P_{el} = P_k$) наведено в табл. 1.

Значення коефіцієнта навантаження, при якому ККД трансформатора максимальний:

$$\beta_{Ismax} = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}}$$

На рис. 6 показана ККД трансформатора і вказане його максимальне значення. Розрахуйте максимальне значення ККД трансформатора:

$$\eta_N = 1 - \frac{P_0 + \beta_{Ismax}^2 \cdot P_k}{\beta_{Ismax} \cdot S_N \cdot \cos\varphi_N + P_0 + \beta_{Ismax}^2 \cdot P_k}$$

Порівняйте номінальний і максимальний ККД трансформатора.

Поясніть недоцільність проектування трансформаторів з максимальним ККД при номінальному навантаженні ($\beta_{Is} = 1$).

ЛІТЕРАТУРА і ІНТЕРНЕТ-ДЖЕРЕЛА

1. Основні поняття про енергозбереження при виборі схем та елементів систем електропостачання. [Електронний ресурс]. Адреса доступу: <https://patriot-nrg.com/content/osnovni-ponyattya-pro-energozberezhennya-pry-vybori-shem-ta-elementiv-system>
2. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення. [Електронний ресурс]. Адреса доступу: <http://www.loe.ant.lviv.ua/home/dokumenti/gost-dstu>
3. ДСТУ Б В.2.6-194:2013. Опори повітряних ліній електропередавання, відкриті розподільні пристрої, лінії контактних мереж транспорту, антенні споруди зв'язку, річкові гідротехнічні споруди, балки з гнучкою або перфорованою стінкою (34039). [Електронний ресурс]. Адреса доступу: https://dnaop.com/html/34039/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_%D0%91_%D0%92.2.6-194_2013
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Схвалено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145-р. [Електронний ресурс]. Адреса доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-%D1%80>
5. Закон України «Про альтернативні джерела енергії». [Електронний ресурс]. Адреса доступу: <http://consultant.parus.ua/?doc=0ANL03A4CC>
6. Задорожна І. П. Основи енергоефективності: навчально-методичний посібник для ПТНЗ.– Львів, 2011. – 78 с. [Електронний ресурс]. Адреса доступу: <https://is.gd/bOy73Z>
7. Наймасштабніші радіаційні аварії світу. [Електронний ресурс]. Адреса доступу: <https://kosatka.media/category/blog/news/samye-masshtabnye-radiacionnye-avarii-mira>
8. Проект Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Енергетична безпека». – Національна рада з відновлення України від наслідків війни, 2022. – 164 с. Адреса доступу: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>
9. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. – Київ, 2017. – 617 с. Адреса доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

Приклад титульного аркуша розрахункових робіт

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

Кафедра електричних машин

**РОЗРАХУНКОВА РОБОТА З ДИСЦИПЛІНИ
«ОСНОВИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ»**

студента першого курсу

групи _____

(ПБ студента)

Назва розділу	Дата виконання (підпис викладача)
1.1 Теоретичні завдання	
1.2 Задача. Розрахунок енергетичних параметрів трифазного трансформатора	

Kharkiv – 20__ р.

Навчальне видання

**ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ
І ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ**

Контрольні питання, розрахункові завдання
методичні вказівки з дисципліни
«Основи електроенергетики»

для студентів за фахом 141 «Електроенергетика, електротехніка
і електромеханіка» за спеціалізацією Електричні машини

Укладачі: ШЕВЧЕНКО Валентина Володимирівна
ДУНСВ Олексій Олександрович

Відповідальний за випуск проф. В. І. Мілих
Роботу до видання рекомендував проф. Б. Г. Любарський

В авторській редакції

План 2023 р., поз.

Підп. до друку

Гарнітура *Times New Roman*. Обсяг – 1,37 др. арк.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2