

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Конспект лекцій

СУМИ – 2024

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

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Конспект лекцій

**для здобувачів вищої освіти 3 та 1 с.т. курсів
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм навчання
освітнього ступеня «Бакалавр»**

СУМИ – 2024

УДК 621.31
Н 34

Укладачі: Чепіжний А.В., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Лисенко В.В., завідувач навчально-методичного кабінету кафедри енергетики та електротехнічних систем

Н 34 Основи електропостачання : конспект лекцій / укл.: А. В. Чепіжний, В. В. Лисенко – Суми, 2024. – 47 с.

В конспекті лекцій описані різноманітні режими роботи електричних систем, принципи побудови електричних схем та різноманітні положення про електропостачання міських та сільських систем живлення.

Рецензенти:

Лобода В.Б., к.ф.-м.н., професор кафедри охорони праці та фізики;

Сіренко В.Ф., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ

Рекомендовано до видання методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол №2 від «01» жовтня 2024 року

ЗМІСТ

Лекція 1. Вступ. Основні поняття.....	6
Лекція 2: Режим роботи електропостачальної системи.....	10
Лекція 3. Основні положення про три- та чотирипровідні мережі.....	14
Лекція 4. Режим роботи нейтралі.....	20
Лекція 5. Принципи побудови електричних мереж міських і сільських районів.....	25
Лекція 6. Головні положення про електропостачальні системи міських і сільських районів.....	31
Лекція 7. Основне електрообладнання розподільних пунктів.....	35
Лекція 8. Трансформаторні підстанції.....	40

Лекція 1. Вступ. Основні поняття

План

Вступ

1.1. Терміни та визначення основних понять.

1.2. Основні складові частини електропостачальної системи.

1.1. Терміни та визначення основних понять

Основні терміни та визначення встановлені одним із найголовніших нормативних документів, що описує сучасну електротехнічну термінологію, стан і перспективи подальшого удосконалення електроустановок – “Правила устройства электроустановок” (ПУЭ), вони були введені в дію з 1987 р. ще за часів Радянського Союзу і залишаються чинними на території України. Глави 5.4, 5.5, 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.6 ПУЭ з 1 січня 2002 р. мають нову редакцію відповідно до ДНАОП 0.01-1.32-01. ДСТУ 2790-94 установлює терміни та визначення основних понять щодо електропостачальних систем понад 1000 В, а ДСТУ 2791-94 – до 1000 В. Нижче наводяться деякі основні терміни та визначення відповідно до названих нормативних документів.

Електропостачанням називається забезпечення споживачів електричною енергією.

Сукупність електроустановок, що призначені для забезпечення споживачів електричною енергією, називається електропостачальною системою.

Електропостачальною системою напругою до 1000 В називається електропостачальна система, елементи якої розраховано на роботу з напругою до 1000 В.

Електропостачальною системою напругою понад 1000 В називається електропостачальна система, елементи якої розраховано на роботу з напругою понад 1000В.

Електропостачальною системою з глибоким вводом називається електропостачальна система, у якій напруга 35 кВ і вище якомога ближче підводиться до споживача.

Централізованою електропостачальною системою називається електропостачальна система, джерелом енергії якої є енергетична система.

Енергетичною системою (енергосистемою) називається сукупність електростанцій, електричних і теплових мереж, що з'єднані між собою і зв'язані спільністю режимів у безперервному процесі виробництва, перетворення і розподілу електричної енергії і теплоти при загальному керуванні цим процесом.

Електричною частиною енергосистеми називається сукупність електроустановок електричних станцій і електричних мереж енергосистеми.

Електроенергетичною системою називається електрична частина енергосистеми і споживачі електричної енергії, що від неї живляться, які об'єднані спільністю процесів виробництва, перетворення, розподілу і споживання електричної енергії.

Електроустановками називається сукупність машин, апаратів, ліній і допоміжного обладнання, призначених для виробництва, перетворення, трансформації, передачі, розподілу електричної енергії і перетворення її на інший вид енергії. Згідно з ПУЭ електроустановки за умовами електробезпеки поділяють на електроустановки до 1 кВ і електроустановки понад 1 кВ.

Відкритими, або зовнішніми, електроустановками називають електроустановки, що незахищені приміщенням від атмосферних впливів. Електроустановки, які захищені лише навісом, огорожею із сітки і т.п. визначаються як зовнішні.

Закритими, або внутрішніми, електроустановками називаються електроустановки, які розміщені в середині будівлі, що захищає їх від атмосферних впливів.

Електроприміщенням називають приміщення або відгороджені, наприклад, сітками, частини приміщення, що доступні лише для кваліфікованого обслуговуючого персоналу, і в яких розміщені електроустановки.

Електричною мережею називається сукупність електроустановок для пересилання і розподілу електричної енергії, що складається з підстанцій, розподільних пристроїв, струмопроводів, повітряних і кабельних ліній електропередачі, які працюють на певній території.

Низьковольтною електричною мережею називається сукупність електроустановок номінальною напругою до 1000 В, призначених для пересилання та (чи) розподілу електричної енергії.

Приймачем електричної енергії (електроприймачем) називається електричний апарат, агрегат, механізм, призначений для перетворення електричної енергії на інший вид енергії.

Незалежним джерелом живлення електроприймача або групи електроприймачів називається джерело живлення, на якому зберігається напруга в межах, що регламентуються ПУЕ для післяаварійного режиму, при зникненні його на іншому або інших джерелах живлення цих електроприймачів.

До числа незалежних джерел живлення ПУЕ відносить дві секції або систему шин однієї або двох електростанцій і підстанцій при одночасному дотриманні таких двох умов:

1) кожна із секцій або систем шин, у свою чергу, може мати живлення від незалежного джерела живлення;

2) секції (система) шин не зв'язані між собою або мають зв'язок, що автоматично вимикається при порушенні нормальної роботи однієї із секцій (систем) шин.

Лінією електропередачі (ЛЕП) називається елемент електропостачальної системи, призначений для пересилання та розподілу електричної енергії без зміни її параметрів.

ЛЕП поділяються на:

- повітряні, у яких електрична енергія пересилається по проводах, що підтримуються над землею за допомогою опор та ізоляторів;

- кабельні, що виконуються одним або кількома кабелями, прокладеними безпосередньо в землі, у кабельних каналах, трубах, на кабельних конструкціях, а також у воді чи відкрито;

- повітряно-кабельні, що виконані повітряним кабелем – електротехнічною конструкцією, яка складається із скручених між собою ізольованих струмопровідних жил у загальній оболонці чи без неї або яка має додатково линву в середині цієї оболонки або поза нею, чи разом в одному пучку з ізольованими струмопровідними жилами, скрученими відносно линви. Повітряні кабелі підвішуються на опорах полегшеного типу.

ГОСТ 13109-97 встановлює терміни та визначення стосовно енергосистем електропостачання загального призначення:

- електропостачальною системою загального призначення називається сукупність електроустановок та електропристроїв енергопостачальної організації, призначених для

забезпечення електричною енергією споживачів (приймачів електричної енергії); - електричною мережею загального призначення називається електрична мережа енергопостачальної організації, призначена для пересилання електричної енергії різним споживачам (приймачам) електричної енергії;

- споживачем електричної енергії називається юридична або фізична особа, що здійснює використання електричної енергії.

1.2. Основні складові частини електропостачальної системи

Основними складовими частинами електропостачальної системи є: електростанції, підвищувальні та понижувальні підстанції, розподільні мережі.

Аналіз кожної із складових частин проведемо на прикладі рис. 1.1.

На електростанції електроенергія виробляється на генераторній напрузі 10 кВ. Незначна частина цієї енергії використовується споживачами власних потреб електростанцій як високовольтними, так і низьковольтними.

Понижувальна трансформаторна підстанція власних потреб, що встановлена на електростанції, забезпечує пониження генераторної напруги до номінального значення напруги низьковольтних споживачів власних потреб. Високовольтні приймачі власних потреб отримують живлення на генераторній напрузі. Можливі випадки, коли електроенергія на генераторній напрузі пересилається безпосередньо і стороннім споживачам, що знаходяться неподалік від електростанції.

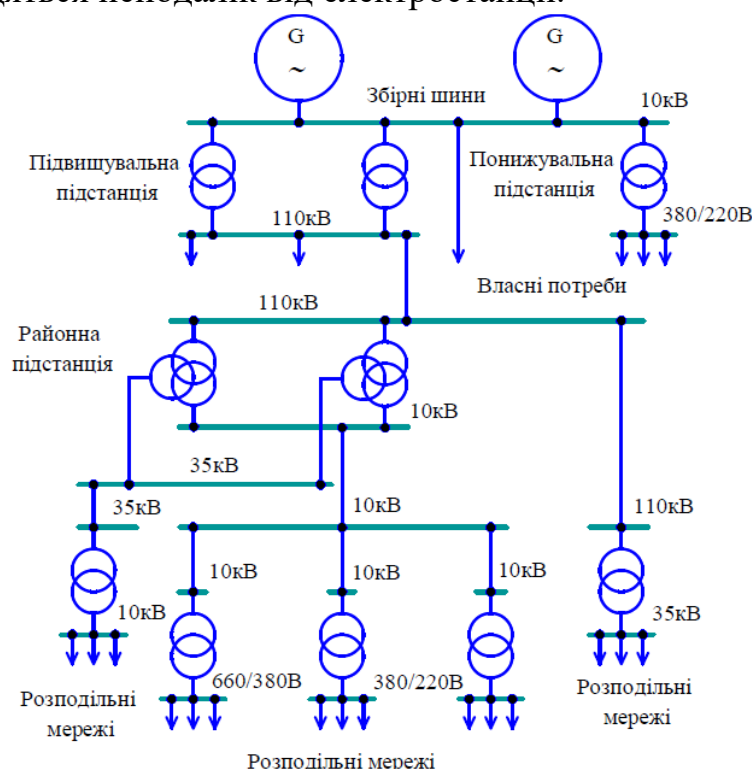


Рисунок 1.1 - Принципова електрична схема виробництва та розподілу електричної енергії

Більша ж частина електроенергії, що виробляється на електростанції, після трансформації на підвищувальних підстанціях передається на напрузі 110 кВ в енергосистему.

Районні понижувальні підстанції забезпечують трансформацію напруги з 110 кВ до 10 і 35 кВ і розподіл електроенергії між населеними пунктами, міськими та сільськими районами, підприємствами і тощо.

Понижувальні підстанції населених пунктів, міських та сільських районів, підприємств і т.п. забезпечують пониження напруги до номінальних значень як окремих високовольтних та 4 низьковольтних приймачів, так і груп приймачів і (чи) споживачів електричної енергії.

Розподільні мережі забезпечують розподіл та пересилання електричної енергії до окремих приймачів та електроспоживачів.

Лекція 2. Режими роботи електропостачальної системи

План

- 2.1. Категорії електроприймачів.
- 2.2. Номінальні напруги.
- 2.3. Режими роботи електропостачальної системи.

2.1. Категорії електроприймачів

Надійність є одним з основних показників роботи електропостачальної системи. Вимоги до цього показника суттєвою мірою залежать від того, які можливі наслідки від перерви в електропостачанні того чи іншого електроприймача можуть бути.

Згідно з ПУЕ розрізняють три категорії електроприймачів з погляду забезпечення надійності електропостачання.

До I категорії належать електроприймачі, перерва в електропостачанні яких може викликати такі наслідки:

- небезпеку для життя людей;
- значні втрати народного господарства;
- пошкодження дорогого обладнання;
- масовий брак продукції або розлад в складному технологічному процесі;
- порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства.

Крім того, у I категорії виділяють особливу групу електроприймачів, безперебійна робота яких необхідна для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрози для життя людей, вибухів, пожеж і пошкодження дорогого обладнання.

У промисловості прикладом електроприймачів I категорії можуть бути робочі машини хімічних, газо- та нафтопереробних підприємств: етилозмішувальні установки, компресори для подачі повітря для пневмотранспорту та циркуляції газових сумішей, сировинні насоси, система санітарно- технічної вентиляції, насоси головного водозабору, зворотного водопостачання та каналізації тощо.

В електропостачальних системах житлових, громадських, адміністративних та побутових будинків прикладом електроприймачів I категорії можуть бути:

- у будинках понад 16 поверхів - протипожежні пристрої (пожежні насоси, системи підпору повітря, димовидалення, пожежної сигналізації й оповіщення про пожежу), ліфти, евакуаційне та аварійне освітлення, вогні світлового огороження;
- у будинках лікувально-профілактичних установ - електроприймачі операційних і родильних блоків, відділення анестезіології, реанімації і інтенсивної терапії, кабінетів лапароскопії, бронхоскопії й ангіографії, протипожежних пристроїв і охоронної сигналізації, евакуаційного освітлення й лікарняних ліфтів;
- у будинках та приміщеннях підприємств громадського харчування - столові, кафе і ресторани з кількістю посадкових місць понад 500;
- у музеях і виставкових залах: комплекс електроприймачів музеїв і виставкових залів державного значення.

Електроприймачі I категорії повинні забезпечуватись електроенергією від двох незалежних джерел живлення, що мають взаємне резервування, і перерва в їх електропостачанні при порушенні електропостачання від одного джерела живлення може

бути допустимою лише на час автоматичного відновлення живлення від іншого джерела живлення.

Згідно з ПУЕ більш жорсткі вимоги передбачені до електропостачання особливої групи електроприймачів І категорії – обов'язкова наявність третього незалежного джерела живлення, що має взаємне резервування. Функцію третього незалежного джерела живлення для особливої групи електроприймачів та другого для інших електроприймачів І категорії можуть виконувати місцеві електростанції, електростанції енергосистем, спеціальні агрегати безперебійного живлення, акумуляторні батареї та ін.

До II категорії відносять електроприймачі, перерва в електропостачанні яких може спричинити такі наслідки:

- масовий недовипуск продукції;
- масові простої робітників, механізмів і промислового транспорту;
- порушення нормальної діяльності значної кількості міських і сільських жителів.

У промисловості прикладом електроприймачів II категорії можуть бути робочі машини целюлозних підприємства, підприємств з виготовлення продуктів лісохімії, аміачної селітри, розбавленої азотної кислоти, та ін.

В електропостачальних системах житлових, громадських, адміністративних та побутових будинків прикладом електроприймачів II категорії можуть бути:

- електроприймачі в житлових будинках понад 5 і до 10 поверхів з плитами на газоподібному або твердому паливі;
- електроприймачі лікувально-профілактичних закладів, крім тих, що були перераховані вище для I категорії;
- електроприймачі закладів освіти, виховання та підготовки кадрів.

Згідно з ПУЕ електропостачання електроприймачів II категорії рекомендується забезпечувати від двох незалежних джерел живлення, що мають взаємне резервування, і перерва в їх електропостачанні при порушенні електропостачання від одного джерела живлення може бути допустимою на час, що необхідний для включення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної бригади.

До III категорії належать всі інші електроприймачі, що не підходять під визначення I і II категорій.

Для електроприймачів III категорії електропостачання може виконуватись від одного джерела живлення за умови, що перерви електропостачання, які необхідні для ремонту або заміни пошкодженого елемента електропостачальної системи, не перевищують однієї доби.

2.2. Номінальні напруги

Переважає більшість вітчизняних електростанцій працює в складі Об'єднаної енергосистеми України. Для забезпечення можливості одночасної злагодженої роботи великої кількості генераторів, трансформаторів та споживачів і досягнення найкращих технічних й економічних показників в роботі такої складної системи висуваються жорсткі вимоги до основних електротехнічних параметрів.

На електростанціях України в основному виробляється електроенергія трифазного змінного струму частотою 50 Гц. Постійний струм отримують, як правило, зі змінного струму з допомогою перетворювачів.

Виробництво електричної енергії на електростанціях і пересилання її до споживачів здійснюються на різних номінальних напругах, значення яких залежать у першу чергу від потужності і відстані, на яку треба передати електроенергію. З метою зменшення втрат при пересиланні електроенергії зі збільшенням потужності і відстані доцільне підвищення номінальної напруги.

Номінальною напругою генераторів, трансформаторів, ЛЕП та електроприймачів називається напруга, на яку вони розраховані підприємством-виробником для роботи в нормальних тривалих умовах роботи і при якій забезпечують найкращі техніко-економічні характеристики. Для забезпечення злагодженої роботи всіх складових частин об'єднаної енергосистеми номінальні значення напруг стандартизовані.

У табл.1.1 згідно з ГОСТ 21128-83 наведені стандартні номінальні значення напруг для електроустановок до 1 кВ, а в табл. 1.2 згідно з ГОСТ 721-77 – для електроустановок понад 1 кВ.

2. Крім зазначених значень номінальних напруг, ГОСТ 21128-83 допускає використовувати й інші номінальні напруги, наприклад, для однофазних та трифазних мереж і електроприймачів:

- 24 В для мереж і приймачів загальнопромислового призначення;
- 42 В для мереж однофазного і трифазного струму;
- 127 В для приймачів, що раніше виготовлялись.

Допустимі відхилення напруги електропостачальної системи, джерел, перетворювачів, мереж і приймачів електричної енергії вибирають із ряду: 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10; 15% номінального значення.

Таблиця 1.1. Номінальні напруги до 1кВ

Струм	Номінальна напруга, В	
	джерело	мережі і приймачі
Постійний	6; 12; 28,5; 42; 62; 115; 230; 460	6; 12; 27; 40; 60; 110; 220; 440
Змінний: - однофазний	6; 12; 28,5; 42; 62; 115; 230	6; 12; 27; 40; 60; 110; 220
	42; 62; 230; 400; 690	40; 60; 220; 380; 660
- трифазний		

Примітки: 1. У таблиці вказані міжфазні значення трифазної напруги.

Таблиця 1.2. Номінальні міжфазні напруги понад 1 кВ

Мережі і приймачі	Генератори і синхронні компенсатори	Трансформатори і автотрансформатори з РПН	
		первинні обмотки	вторинні обмотки
(6)	(6,3)	(6) або (6,3)*	(6,3) або (6,6)
10	10,5	10 або 10,5*	10,5 або 11
20	21,0	20 або 21,0*	- 22,0
35	-	35 або 36,75	- 38,5
110	-	110 або 115	115 або 121
220	-	220 або 230	230 або 242
330	-	330 -	330 -
500	-	500 -	500 -
750	-	750 -	750 -
1150	-	1150 -	- -

Примітки: 1. Знаком «*» вказані напруги для трансформаторів і автотрансформаторів, що приєднані безпосередньо до шин генераторної напруги електричних станцій або до виводів трансформаторів.

2. У дужках подані номінальні значення напруг, що не рекомендуються для мереж, які проектується. Для мереж, що вже діють або розширюються на номінальні напруги 3, 6 і 150 кВ, обладнання повинне виготовлятися.

2.3 Режими роботи електропостачальної системи

Режими роботи електропостачальної системи визначаються великою кількістю показників, головними з яких є:

- значення напруги на виходах джерел та на вході електроприймачів;
- рівень напруги мережі живлення відносно землі;
- величина навантаження по струму джерел, приймачів, пристроїв перетворення та провідників;
- режим роботи нейтралі;
- симетричність фазних та лінійних напруг;
- синусоїдність напруги;
- величина відхилення частоти;
- опір ізоляції між провідниками та відносно землі та ін.

Залежно від величини відхилення зазначених вище перерахованих показників від розрахункових (проектних) значень розрізняють такі основні види режимів роботи:

1. Нормальні режими роботи – режими роботи, за яких відхилення основних показників знаходиться в допустимих межах, що передбачені чинними нормами та правилами або вимогами заводу-виробника відповідного обладнання. У цьому режимі роботи всі складові частини електропостачальної системи можуть працювати тривалий час і забезпечувати надійне електропостачання.

2. Короткочасно допустимі режими роботи – режими роботи, які супроводжуються значними відхиленнями показників від номінальних значень, але ці відхилення або передбачені в проектних розрахунках (наприклад, перевантаження по струму протягом добового максимуму), або допускаються на певний обмежений час і не завдають значного збитку для джерел, мереж і електроприймачів (наприклад, спад напруги на час запуску потужних електроприймачів, пускові струми яких значно більші від номінальних струмів). Частота повторення та тривалість таких режимів обмежені.

3. Аварійні режими роботи – режими роботи, які супроводжуються значними відхиленнями показників і можуть спричинити вихід із ладу як окремих складових частин, так і всієї електропостачальної системи. Факторами, що можуть зумовити появу аварійних режимів роботи, є міжфазні короткі замикання, обрив провідників і замикання їх на землю, погіршення ізоляційних властивостей та ін. Як правило, аварійні режими роботи супроводжуються значним зростанням навантаження по струму, що призводить, навіть при короткочасному протіканні таких струмів, до значного нагрівання провідників, яке може викликати їх перегорання; появою значних механічних навантажень на струмопровідні частини, що зумовлені збільшенням електродинамічних сил; стрибками напруги, порушенням її синусоїдності, симетричності та ін. Такі режими роботи є небажаними, а тому в електропостачальній системі мають бути передбачені засоби та заходи, спрямовані на унеможливлення виникнення таких режимів, а в разі виникнення – вжити заходів зі скорочення тривалості таких режимів роботи.

Лекція 3. Основні положення про три- та чотирипровідні мережі

План

- 3.1. Основні положення про три- та чотирипровідні мережі.
- 3.2. Робота три- та чотирипровідних мереж при симетричному навантаженні.
- 3.3. Робота трифазної чотирипровідної мережі при несиметричному навантаженні.
- 3.4. Робота трифазної трипровідної мережі при несиметричному навантаженні.

3.1. Основні положення про три- та чотирипровідні мережі

При з'єднанні фазних обмоток трифазних генераторів, трансформаторів та приймачів за схемами „зірка“ або „зигзаг“ кінці фазних обмоток (X, Y, Z – для джерел; x, y, z – для приймачів) з'єднуються в одну точку (рис. 1.2), яка називається **нульовою, або нейтральною точкою** (N, n). До початків фазних обмоток (A, B, C, a, b, c) підключаються **фазні провідники** ЛЕП (A-a, B-b, C-c), що на практиці називаються також **лініями**, або **фазами**, A, B, C. Якщо джерело і приймач в електропостачальній системі з'єднані лише **фазними провідниками**, то має місце **трифазна трипровідна мережа** (рис.2.1)

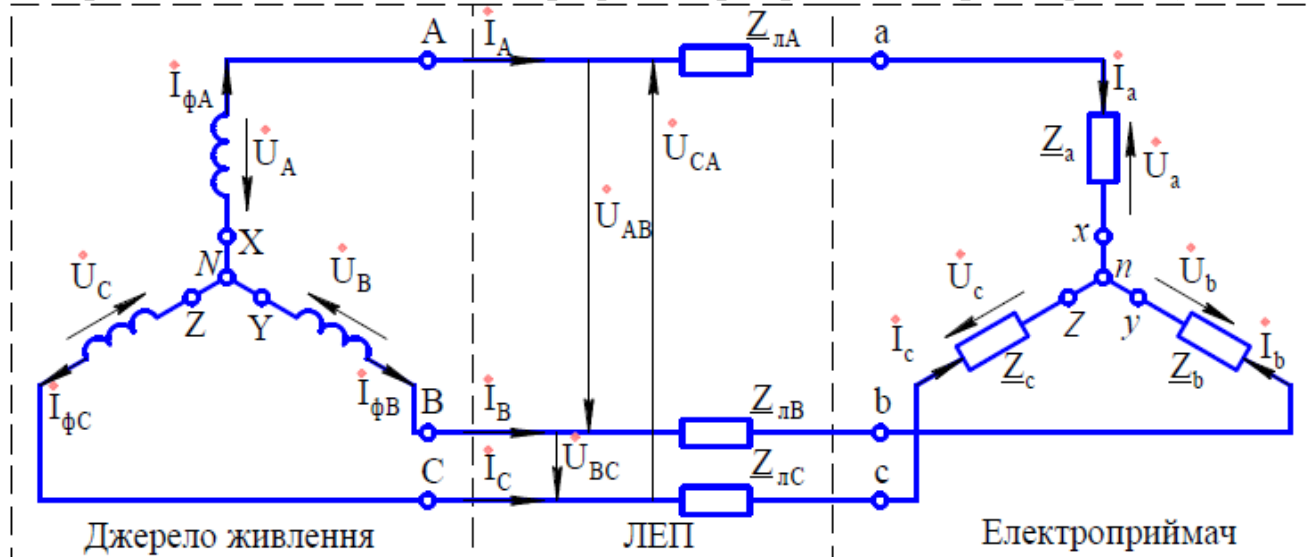


Рисунок 2.1 - Схема трифазної трипровідної мережі

Струми, що протікають у фазах джерела живлення і споживача, називаються **фазними струмами** і позначаються відповідно: для джерела живлення – $I_{\phi A}$, $I_{\phi B}$, $I_{\phi C}$, для споживача – $I_{\phi a}$, $I_{\phi b}$, $I_{\phi c}$.

Струми, що протікають у фазних провідниках (лініях), називають **лінійними струмами** і позначаються I_A , I_B , I_C , за додатний напрямок яких прийнятий напрямок від джерела до приймача.

Лінійні струми ЛЕП при такій схемі з'єднання дорівнюють за величиною фазним струмам джерела живлення і приймача ($I_{\text{л}} = I_{\phi}$). Між проводами ЛЕП у такій системі мають місце лише одні значення напруги – **міжфазної (лінійної) напруги** ($U_{\text{л}} = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$).

Якщо нейтральні точки джерела і приймача з'єднані між собою, то провідник, що їх з'єднує, називається **нульовим, або нейтральним провідником**, а мережа – **трифазною чотири провідною мережею** (рис.2.2). У такій мережі крім струмів, що протікають у фазних провідниках, має місце і струм в нейтральному провідникові I_N , за додатний напрямок якого приймають напрямок від приймача до джерела.

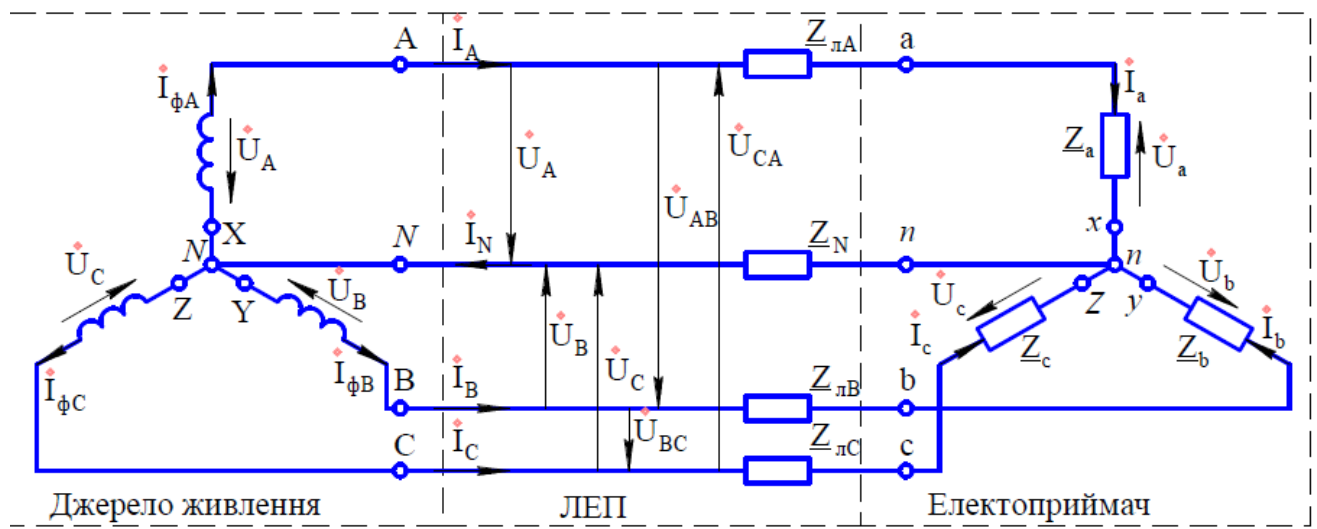


Рисунок 2.2 - Електрична схема трифазної чотирипровідної мережі

Між проводами ЛЕП у такій системі мають місце два значення напруги – **міжфазна (лінійна)** ($U_{\text{л}}=U_{AB}=U_{BC}=U_{CA}$) і **фазна** ($U_{\text{ф}}=U_A=U_B=U_C$). Ці дві напруги співвідносяться таким чином:

$$U_{\text{л}} = 3U_{\text{ф}}$$

Можливість підключення приймачів на різні напруги (лінійну і фазну), є суттєвою перевагою чотирипровідної мережі над трипровідною.

У трифазній мережі, крім опорів, які створюють фазні і нейтральний провідники ($Z_{\text{лA}}, Z_{\text{лB}}, Z_{\text{лC}}, Z_{\text{N}}$), мають місце і опори ізоляції проводів по відношенню до землі, що розподілені вздовж всієї ЛЕП і в загальному випадку мають активну і реактивну складові. Для більшості мереж, особливо напругою вище 1 кВ, реактивний ємнісний зв'язок проводів ЛЕП з землею значно переважає над реактивним індуктивним.

Для порівняння роботи чотирі- і трипровідної мереж останню будемо розглядати як окремий випадок роботи чотирипровідної системи, коли опір нейтрального провідника дорівнює нескінченності (нейтральний провідник від'єднаний від нейтральних точок N, n), і тому схему заміщення три- і чотирипровідної мережі зобразимо так, як показано на рис. 2.3. На цій схемі розподілені вздовж ЛЕП ємність і активні опори ізоляції подані у вигляді зосереджених еквівалентних значень: $C_A, C_B, C_C, C_N, r_A, r_B, r_C, r_N$. Через них протікають струми утікання ($I_{yA}, I_{yB}, I_{yC}, I_{yN}$) та ємнісні струми ($I_{CA}, I_{CB}, I_{CC}, I_{CN}$).

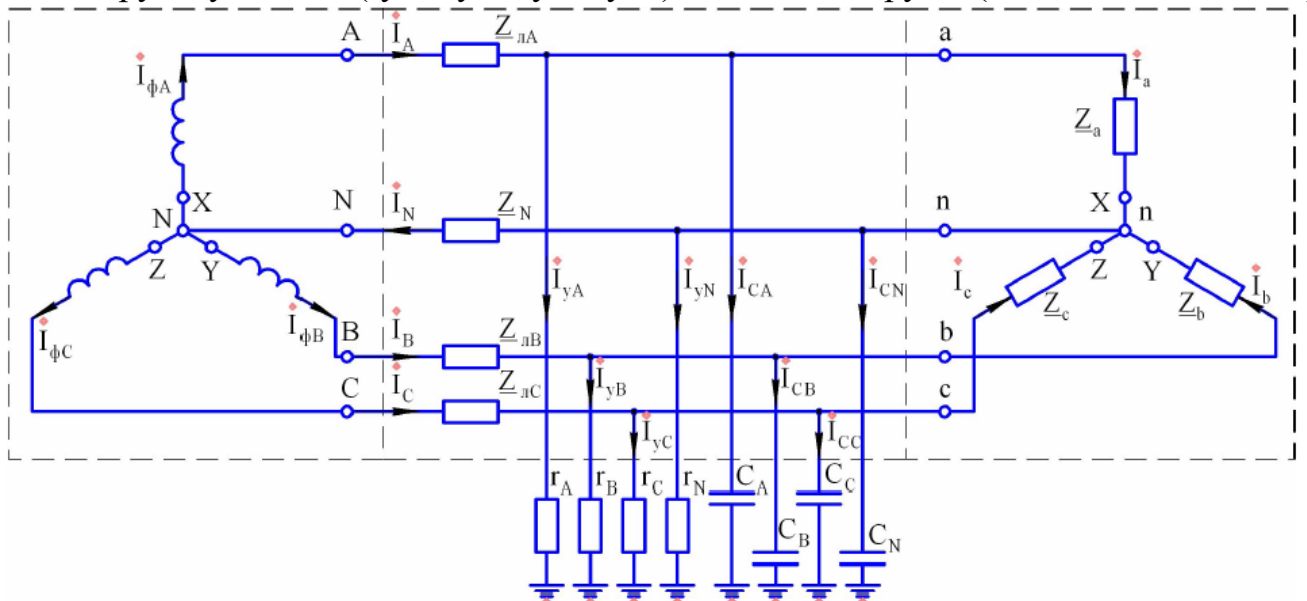


Рисунок 2.3 – Схема заміщення трифазної мережі

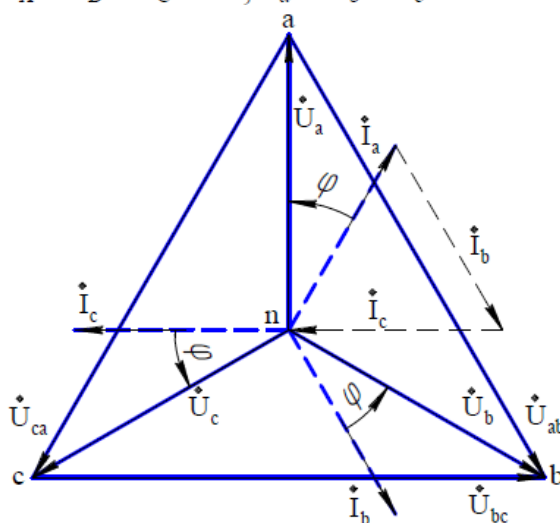
$$\begin{aligned}\underline{Y}_A &= g_A + jb_A \\ \underline{Y}_B &= g_B + jb_B \\ \underline{Y}_C &= g_C + jb_C \\ \underline{Y}_N &= g_N + jb_N\end{aligned}$$

$$\underline{Y}_N = g_N + jb_N$$

$b_A = 1/x_A$, $b_B = 1/x_B$, $b_C = 1/x_C$, $g_N = 1/X_N$ – реактивні складові повної провідності ізоляції провідників відносно землі.

При **симетричному навантаженні**, коли: $\underline{Z}_{\text{HA}}=\underline{Z}_{\text{HB}}=\underline{Z}_{\text{HC}}$, а також за умови, що $\underline{Z}_{\text{ЛА}}=\underline{Z}_{\text{ЛВ}}=\underline{Z}_{\text{ЛС}}$, $g_{\text{A}}=g_{\text{B}}=g_{\text{C}}$, $b_{\text{A}}=b_{\text{B}}=b_{\text{C}}$ напруги між фазними провідниками і землею симетричні, рівні за модулем дорівнюють фазній напрузі ($U_{\text{ф}}=U_{\text{A}}=U_{\text{B}}=U_{\text{C}}$). При цьому в кожній із фаз струми утікання, ємнісні струми, струми у фазних провідниках та у фазах приймача будуть рівні за модулем, а їх векторна сума дорівнює нулю:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0; \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$$



Аналізуючи (2.3) та векторну діаграму (рис.2.4), можна дійти висновків стосовно трифазної чотирипровідної мережі при симетричному навантаженні:

- струм у нейтральному провіднику дорівнює нулю;
- потенціали нульових точок джерела і приймача рівні між собою;
- на електроприймачах має місце симетрична система фазних напруг (модулі фазних напруг рівні: $U_a = U_b = U_c$, а кути зсуву дорівнюють 120°);
- відмінностей у роботі три- і чотирипровідної мережі немає, а тому наявність нейтрального провідника в трифазній мережі при симетричному навантаженні необов'язкова.

При **несиметричному навантаженні** ($Z_a \neq Z_b \neq Z_c$ і/або коли $Z_{ЛA} \neq Z_{ЛB} \neq Z_{ЛC}$, $g_A \neq g_B \neq g_C$, $b_A \neq b_B \neq b_C$) робота приймачів в трифазній три- і чотирипровідній мережах суттєво відрізняється.

3.3. Робота трифазної чотирипровідної мережі при несиметричному навантаженні

У трифазній чотирипровідній мережі при несиметричному навантаженні завдяки наявності нейтрального провідника матиме місце симетрична система фазних напруг на приймачах (рис.2.5). Але в цьому випадку в окремих фазах приймача будуть протікати різні струми ($I_a \neq I_b \neq I_c$), величина діючого значення яких залежить лише від величини опору навантаження в кожній фазі:

$$I_a = U_a / z_a, I_b = U_b / z_b, I_c = U_c / z_c,$$

Характерною ознакою роботи такої мережі є те, що зміна опору навантаження в одній фазі і відповідна зміна струму не впливає на величину струму в інших фазах приймача. Інакше кажучи, кожна фаза приймача працює автономно. Ця властивість системи є дуже важливою особливо для однофазних електроприймачів, які складають значну частину приймачів в електропостачальній системі напругою до 1 кВ. Прикладом таких електроприймачів можуть бути різні прилади та механізми побутового призначення, в яких використовуються однофазні двигуни (пральні й швейні машини, холодильники та ін.), нагрівальні прилади (праски, електроплити та ін.), лампи освітлення тощо. Ці електроприймачі створюють для мережі живлення нерівномірне навантаження, оскільки мають різні потужності, різний характер навантаження (як правило, активний або активно-індуктивний), вмикаються неодноразово, можуть створити режими близькі або такі, що відповідають режиму короткого замикання. Однак завдяки наявності нейтрального провідника, незважаючи на величину несиметрії навантаження, трифазна чотирипровідна мережа завжди забезпечує практично незмінне значення фазних напруг на кожному з однофазних приймачів.

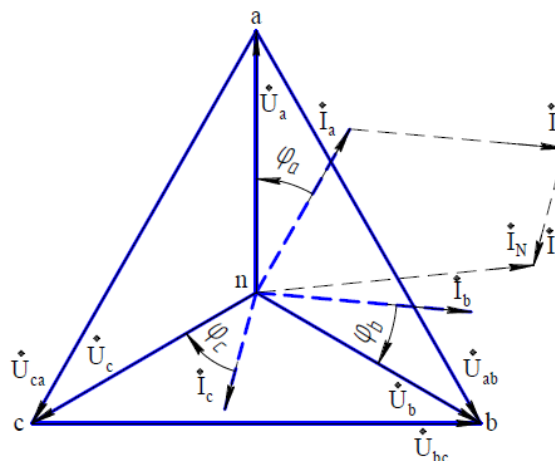


Рисунок 2.5 - Векторна діаграма струмів та напруг у трифазній чотирипровідній мережі при несиметричному навантаженні

Але в трифазній чотирипровідній мережі при несиметричному навантаженні в нейтральному провіднику протікатиме струм, величина якого визначається за формулою:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c$$

3.4. Робота трифазної трипровідної мережі при несиметричному навантаженні

У трифазній трипровідній мережі при несиметричному навантаженні потенціали нульових точок джерела і приймача будуть різними. На векторній діаграмі (рис. 2.6) це відображається зміщенням нейтральної точки n приймача відносно нейтральної точки N джерела. Це явище називається **зміщенням нейтралі**, а величина напруги між нульовими точками джерела і приймача U_{Nn} визначається за формулою:

$$\dot{U}_{Nn} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_A + \dot{U}_B \underline{Y}_B + \dot{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}$$

Фазні напруги споживача будуть різними і значення їх знаходяться за формулами:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{Nn};$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{Nn};$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{Nn}$$

Різними будуть і струми в фазних провідниках і в фазах приймача. Їх значення знаходяться за формулами

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \dot{U}_a / \underline{Z}_a$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_b = \dot{U}_b / \underline{Z}_b;$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_c = \dot{U}_c / \underline{Z}_c;$$

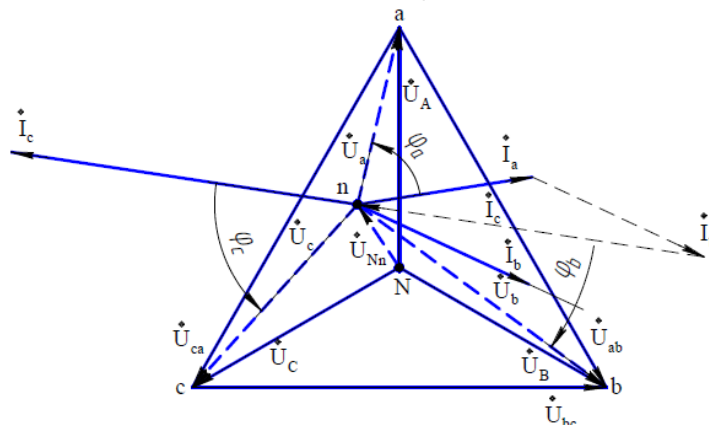


Рисунок 2.6 - Векторна діаграма струмів та напруг у трифазній трипровідній мережі при несиметричному навантаженні

Оскільки нейтральний провідник у такій мережі відсутній, то згідно з векторною діаграмою (рис. 2.6) векторна сума струмів фаз навантаження дорівнює нулю:

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$$

Аналізуючи (2.6), (2.7), (2.8), (2.9) та векторну діаграму (рис. 2.6), можна дійти таких висновків стосовно трифазної трипровідної мережі з несиметричним навантаженням:

- ступінь несиметрії фазних напруг приймачів залежить від ступеня несиметрії навантаження за окремими фазами. Якщо опори електроприймачів будуть відрізнятися суттєво, то суттєво будуть відрізнятися і фазні напруги, а це означає, що напруга на окремих фазних приймачах може бути значно більшою, а на інших - значно меншою від номінальних значень, що може спричинити виникнення аварійних режимів роботи;

- ступінь несиметрії фазних струмів залежить також від ступеня несиметрії навантаження. Причому навіть при рівних значеннях модулів фазних опорів (наприклад,

$z_a = z_b = z_c$) але при різних характерах навантаження (наприклад, $Z_a = r_a$, $Z_b = jx_b$, $Z_c = -jx_c$) ступінь несиметрії фазних струмів може бути також суттєвим;

- фази приймача працюють неавтономно. Зміна навантаження в одній фазі зумовлює зміну напруги і струму не лише в цій фазі, а й у двох інших;

- робота трифазної трипровідної мережі при несиметричному навантаженні може спричинити аварійні режими, а тому в більшості випадків неприпустима. Для забезпечення надійної роботи мережі при несиметричному навантаженні необхідна наявність нейтрального провідника. Причому включення в коло нейтрального провідника електричних апаратів захисту (наприклад, запобіжників) згідно з ПУЕ недопустиме, оскільки перегорання плавкої вставки якого зумовлює розмикання нейтрального провідника і появу небажаних передаварійних або аварійних режимів роботи.

Лекція 4. Режими роботи нейтралі

План

- 4.1. Загальні положення та визначення.
- 4.2. Мережі з ізолюованою нейтраллю.
- 4.3. Мережі з ефективно та глухозаземленою нейтраллю.

4.1. Загальні положення та визначення

Надійність та безпека роботи електричної мережі значною мірою залежать від режиму роботи нейтралі. Це обумовлюється тим, що найбільша кількість аварійних режимів роботи електропостачальних систем зумовлена однофазними короткими замиканнями на землю або випадковим електричним з'єднанням частин електроустановки, що знаходяться під напругою, з її заземленими конструктивними частинами. На величину струму та небезпеку для обслуговуючого персоналу суттєвий вплив має режим роботи нейтралі. Крім того, залежно від режиму роботи нейтралі система по-різному реагує на однофазне коротке замикання. Як буде показано нижче, при виникненні однофазного короткого замикання, залежно від режиму роботи нейтралі, система може й далі працювати в тимчасово допустимому режимі або ж виникає аварійний режим роботи, який потребує негайного вимкнення системи і супроводжується небажаними наслідками.

Згідно з ПУЕ електроустановки в залежності від заходів електробезпеки поділяються на:

- електроустановки понад 1 кВ у мережах з ізолюованою нейтраллю (з малими струмами замикання на землю);
- електроустановки до 1 кВ з ізолюованою нейтраллю;
- електроустановки понад 1 кВ у мережах з ефективно заземленою нейтраллю (з великими струмами замикання на землю);
- електроустановки до 1 кВ із глухозаземленою нейтраллю.

4.2. Мережі з ізолюованою нейтраллю

Ізолюованою нейтраллю називають нейтраль трансформатора або генератора, що не з'єднана з заземлюючим пристроєм, або з'єднана з ним через прилади сигналізації, вимірювання, захисту, заземлювальні дугогасильні реактори і подібні пристрої, що мають великий опір.

Особливостями роботи системи з **повністю ізолюованою нейтраллю** (рис.4.1.) є:

- однофазне замикання на землю не є коротким замиканням, і струми однофазного замикання на землю малі порівняно зі струмами навантаження, а тому є безпечними для системи;
- при однофазному замиканні на землю напруга на непошкоджених фазах відносно землі збільшується до значення міжфазної напруги;
- при однофазному замиканні на землю безперебійність електроприймачів не порушується;

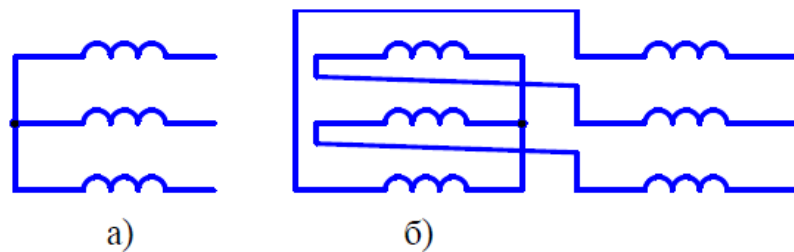


Рисунок 4.1 - Схеми з'єднання обмоток джерела живлення з повністю ізольованою нейтраллю: а – зірка, б – зигзаг

- у режимі однофазного замикання на землю система може працювати протягом тривалого часу (як правило, не більше 2 годин), якого часто буває досить, щоб виявити місце замикання на землю й усунути неполадку;

- надійність та безпека роботи системи значною мірою залежать від стану ізоляції, оскільки пошкодження ізоляції відносно землі або між фазними провідниками може зумовити виникнення дво- або трифазного короткого замикання на землю, яке супроводжується великими значеннями струмів короткого замикання. Тому в системах з ізольованою нейтраллю необхідно передбачувати встановлення пристроїв контролю ізоляції і спеціальні сигнальні або захисні пристрої, що потребує окремих фінансових затрат;

- у місці однофазного замикання на землю можливе виникнення й стале горіння електричної дуги, яка може зумовити пошкодження як ізоляції інших фаз, так і електрообладнання взагалі. Ця особливість є одним з основних недоліків даної системи.

З урахуванням наведеного вище сфера використання систем з ізольованою нейтраллю обмежена.

Прикладами використання таких мереж можуть бути:

- трифазні мережі напругою 6-35 кВ, у яких струми замикання на землю не перевищують допустимих значень;

- трифазні трипровідні мережі напругою до 1 кВ (наприклад, мережі з напругою 220, 380 і 660 В);

- мережі низької напруги (наприклад, мережі з напругою 40 і 60 В), в яких для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу передбачені захисні заходи, не пов'язані з використанням заземлення (наприклад, використання розділювальних трансформаторів).

Для зменшення струмів замикання на землю (і в першу чергу ємнісних струмів) до значення, при якому неможливе стале горіння електричної дуги, у системах з ізольованою нейтраллю нейтральну точку джерела живлення заземлюють через дугогасильні реактори, реактивний індуктивний опір яких приблизно дорівнює реактивному ємнісному опору системи:

$$2\pi fL \approx 1/(2\pi fC),$$

де f – частота мережі, Гц; L – індуктивність заземлюючого дугогасильного реактора, Гн; C – ємність мережі, Ф. В електропостачальних системах найбільшого поширення набули **заземлюючі дугогасильні реактори**, що дозволяють регулювати величину індуктивності зміною кількості витків обмотки реактора або величини зазору в його осерді (рис. 4.2).

Показником ефективності роботи системи з ізольованою нейтраллю в разі наявності заземлюючого дугогасильного реактора є відношення кількості замикань на землю, що не

переходять в короткі замикання, до загальної кількості замикань. Для систем з повністю ізольованою нейтраллю цей показник у середньому становить 0,3, а в разі наявності заземлюючого дугогасильного реактора збільшується до 0,6...0,9, що є підтвердженням доцільності використання цих пристроїв.

Особливістю роботи системи з ізольованою нейтраллю за наявності заземлюючого дугогасильного реактора є:

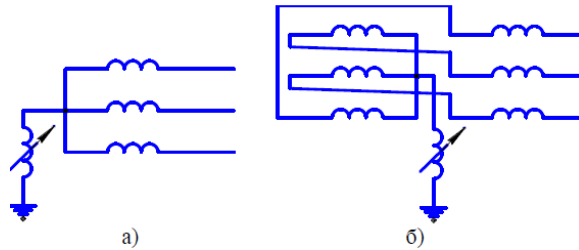


Рисунок 4.2 - Схеми з'єднання обмоток джерел живлення з ізольованою нейтраллю за наявності заземлюючого дугогасильного реактора: а – зірка, б – зигзаг

- при правильному налагодженні реактора (коли виконується умова (4.1) і режим роботи є резонансним або близьким до нього) струми в місці замикання на землю мають значно менші значення, ніж у системі з повністю ізольованою нейтраллю, що забезпечує надійне дугогасіння;

- значно спрощуються вимоги до апаратів захисту. Система, як правило, не потребує релейного захисту від замикань на землю, що діє на відключення, а для отримання інформації про виникнення замикання і прийняття необхідних рішень часто досить встановлення лише відбіркової сигналізації;

- значно збільшується швидкість поновлення напруги на пошкодженій фазі. Тому ймовірність повторного загорання дуги значно зменшується, а, відповідно, і ймовірність переростання однофазного замикання на землю в багатофазне або міжфазне коротке замикання;

- кількість аварійних відключень такої системи значно менша ніж у попередньо розглянутій, а тому безперебійність електропостачання краща;

- вимоги до рівня та стану ізоляції залишаються майже такими самими високими, як і для попередньо розглянутої системи;

- порівняно складною є експлуатація системи, оскільки вона потребує постійного контролю за станом компенсації ємнісних струмів, що пов'язано з необхідністю регулювання індуктивності реактора;

- досить складним є процес виявлення місця пошкодження ізоляції, якщо замикання на землю не переросло в коротке замикання.

На завершення слід зазначити, що використання заземлюючих дугогасильних реакторів зумовлює зростання витрат при створенні та експлуатації системи, і відповідь щодо доцільності її використання можуть дати техніко-економічні розрахунки для конкретної електропостачальної системи.

4.3. Мережі з ефективно та глухозаземленою нейтраллю

Мережі з ефективно заземленою нейтраллю, згідно з ПУЕ - це трифазні електричні мережі напругою вище 1 кВ, у яких коефіцієнт замикання на землю не перевищує 1,4. називають відношення різниці потенціалів між непошкодженою фазою і землею в точці

Коефіцієнтом замикання на землю замикання на землю однієї або двох інших фаз і різницею потенціалів в точці до замикання.

Глухозаземлена нейтраль - нейтраль трансформатора або генератора, що приєднана до заземлюючого пристрою безпосередньо або через малий опір (наприклад, через трансформатор струму).

Головною характерною ознакою систем з ефективно- або глухозаземленою нейтраллю є те, що будь-яке однофазне замикання на землю є обов'язково коротким замиканням, яке супроводжується значним зростанням струму, а тому повинне обов'язково привести до відключення пошкодженої ділянки завдяки спрацюванню пристроїв захисту.

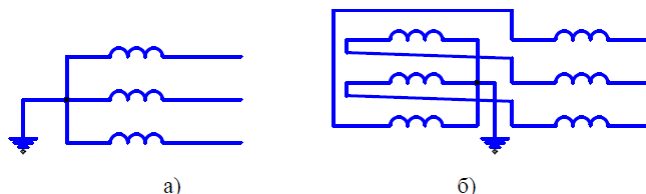


Рисунок 4.3 - Схеми з'єднання обмоток джерел живлення з глухозаземленою нейтраллю: а – зірка, б – зигзаг

Особливостями роботи системи з глухозаземленою нейтраллю (рис. 4.3) є:

- стабілізація напруг фаз відносно землі, унаслідок чого зменшується перенапруга при виникненні однофазних замикань на землю;
- унеможливується поява стійких електричних дуг у місці замикання на землю і пов'язаних з цим явищем негативних наслідків;
- значно полегшуються умови роботи ізоляції в разі однофазних замикань на землю, що дає можливість зниження рівня ізоляції або підвищення надійності роботи завдяки більшому запасу міцності ізоляції;
- створюються гарні умови для забезпечення чіткого, надійного, селективного та швидкодіючого релейного захисту;
- значно простіше створення та експлуатація системи відносно режиму нейтралі;
- однофазні замикання на землю як найбільш поширені зумовлюють відносно часті відключення, а тому для обмеження безструмових пауз у таких системах часто є необхідним використання швидкодіючих пристроїв автоматичного повторного включення і виконанням систем із резервуванням для найбільш відповідальних електроприймачів;
- суттєво зростають динамічні сили, що діють на струмопровідні частини, при виникненні однофазних коротких замикань, оскільки струм однофазного короткого замикання може бути більшим від струму міжфазного короткого замикання;
- значно збільшується вплив на лінії зв'язку, що змушує збільшувати витрати на їх виготовлення та експлуатацію;
- зростає небезпека для обслуговуючого персоналу через великі значення напруги дотикання і напруги кроку;
- великі значення струмів короткого замикання суттєво зменшують синхронізуючий момент, а тому тривалі протікання таких струмів можуть призвести до відключення не лише того генератора, де виникло коротке замикання, але й того, що працює паралельно з ним;

- значно більшими порівняно з попередньо розглянутими системами є витрати на виготовлення та експлуатацію заземлюючих пристроїв.

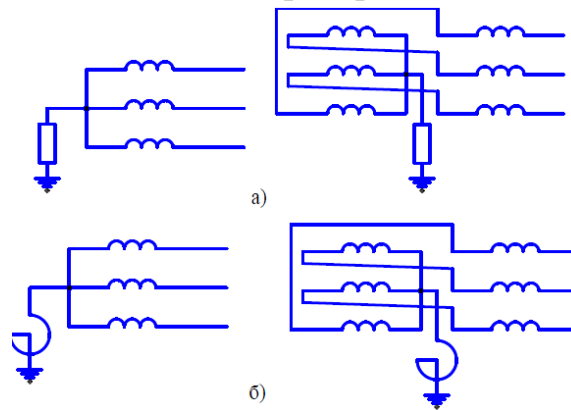


Рисунок 4.4 - Схеми з'єднання обмоток джерел живлення з ефективно заземленою нейтраллю через струмообмежувальні опори: а) активний, б) реактивний

Найчастіше глухе заземлення нейтралі використовують у мережах напругою 110 кВ і вище та в чотири і п'ятипровідних мережах напругою 380/220 В.

З метою зменшення величини струмів однофазного короткого замикання на практиці використовують „розземлення нейтралі“, для чого нейтральну точку деяких трансформаторів системи з'єднують з землею через струмообмежувальні активні (рис. 4.4, а) або індуктивні (рис. 4.4, б) опори.

Величину цього опору вибирають так, щоб струм однофазного короткого замикання не перевищував струму міжфазного короткого замикання, який визначає необхідну вимикаючу здатність вимикачів. У більшості випадків практичне виконання й досягнення необхідної мети зниження величини струму однофазного короткого замикання більш економічно доцільне і простіше в реалізації з допомогою реактивного індуктивного опору (реактора), ніж з допомогою активного опору.

На завершення слід зазначити, що згідно з МЕК системи залежно від режиму роботи нейтралі, класифікують таким чином:

- система з ізолюваною нейтраллю;
- резонансно-заземлена система (нейтраль заземлена через дугогасильний реактор);
- система з ефективно заземленою нейтраллю;
- система з неефективно заземленою нейтраллю.

Лекція 5. Принципи побудови електричних мереж міських і сільських районів

План

- 5.1. Визначення, основні вимоги та класифікація електричних схем.
- 5.2. Особливості побудови мереж живлення 6-10 кВ.
- 5.3. Схеми розподільних мереж.
- 5.4. Особливості побудова розподільної мережі до 1 кВ.

5.1. Визначення, основні вимоги та класифікація електричних схем

Електричні мережі міських і сільських районів складаються із мереж напругою 6-10 кВ і мереж напругою 380/220 В. До свого складу вони включають трансформаторні підстанції, розподільні пристрої, струмопроводи, повітряні, кабельні та повітряно-кабельні лінії електропередачі, що працюють на території певного району.

На практиці використовуються різні схеми електропостачання міських та сільських районів, принцип побудови яких значною мірою залежить від вимог надійності електропостачання споживачів.

Умовно схеми електричних мереж міських та сільських районів можна поділити на три групи.

Перша група. При пошкодженні певного елемента розподільної мережі поновлення живлення споживачів можливе лише після ремонту або заміни цього елемента. До цієї групи належать мережі, що базуються на використанні радіальних або магістральних ліній без резервування. Ці мережі є найбільш дешевими, але забезпечують найнижчу надійність електропостачання, тому відповідно до схем цієї групи може здійснюватись електропостачання електроприймачів III категорії.

Друга група. До неї належать відносяться схеми, в яких поновлення електропостачання при пошкодженні певного елемента розподільної мережі забезпечується введенням в роботу резервних елементів діями оперативного персоналу. До цієї групи, як правило, відносяться мережі, що базуються на використанні петлевих ліній – ліній, що мають живлення з двох боків. У цих схемах, як правило, передбачається часткове резервування трансформаторів через мережу 0,38 кВ. Ця група схем використовується для електропостачання приймачів II категорії і є найбільш поширеною в електропостачальних системах міських і сільських районів;

Третя група. Для цієї групи характерним є використання пристроїв автоматичного включення резервного живлення та обладнання (АВР), які забезпечують введення в роботу резервних елементів в разі порушення нормальних режимів роботи мережі. Такі схеми створюють високу надійність електропостачання споживачів, оскільки час перерви в електропостачанні визначається часом спрацювання АВР і вимірюється секундами або частками секунд. До цієї групи, як правило, належать мережі, що базуються на використанні комбінованих ліній. Ця група схем використовується для електропостачання приймачів I та II категорії і є найбільш складною та дорогою.

Як впливає з наведеного, схеми другої та третьої груп передбачають наявність резервування окремих елементів або ланцюгів мережі. При цьому використовують різні комбінації резервування: трансформатори через розподільну мережу 0,38 кВ, лінії 6-10 кВ і трансформатори через мережу 0,38 кВ, лінії і трансформатори з боку 6-10 кВ та ін.

5.2. Особливості побудови мереж живлення 6-10 кВ

До основних схем побудови мережі живлення 6-10 кВ належать:

- схема з паралельною роботою ліній живлення (рис. 5.1, а). При цій схемі живлення РП здійснюється одночасно по двох паралельних лініях Л1, Л2 від одного джерела живлення (ДЖ). Для забезпечення відбіркового захисту ліній живлення на їх вводах в РП, як правило, передбачається встановлення електричних апаратів максимального спрямованого захисту. Ця схема є найпростішою, потребує найменших витрат на її виконання та експлуатацію, але й забезпечує найменшу надійність електропостачання, оскільки живлення відбувається від одного джерела живлення. Її використовують для електропостачання приймачів ІІІ категорій;

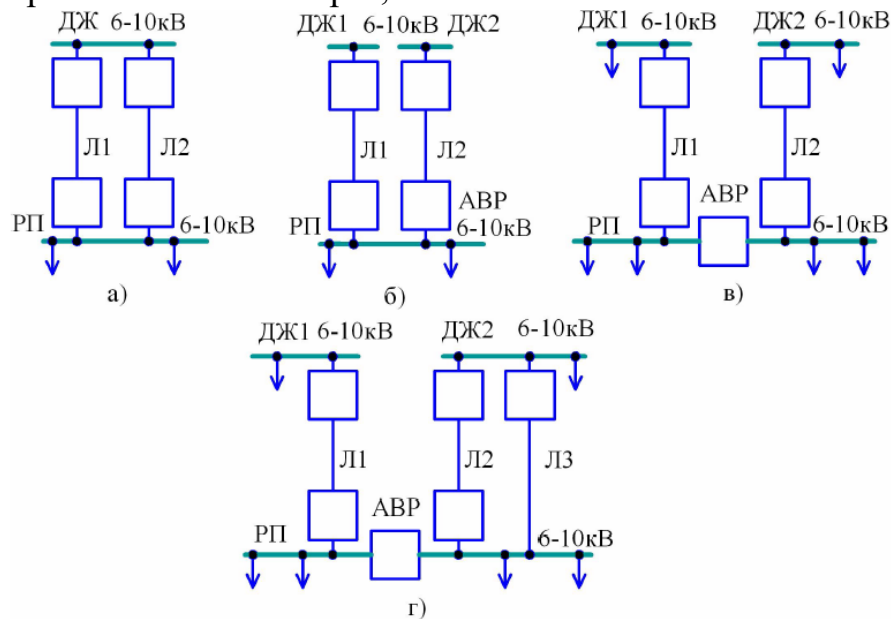


Рисунок 5.1 - Схеми побудови мережі живлення: а) – з паралельною роботою ліній, б, в) – з роздільною роботою ліній та з АВР; г) – комбінована.

- схеми з роздільною роботою ліній та АВР. У цьому випадку можливі два схемні рішення.

Схема на рис.5.1, б передбачає можливість живлення РП від двох джерел (ДЖ1, ДЖ2) по двох рівноцінних лініях (Л1, Л2). У нормальному режимі роботи лінія Л1 знаходиться під навантаженням, а лінія Л2 – в резерві але весь час під напругою. У кінці лінії Л2 на РП встановлюється пристрій АВР, який знаходиться у вимкненому стані в нормальному режимі і вмикається в разі виникнення аварійного режиму роботи або пошкодження лінії Л1.

У схемі на рис.5.1, в живлення РП відбувається також від двох джерел живлення (ДЖ1, ДЖ2) по двох рівноцінних лініях (Л1, Л2), які в нормальному режимі роботи знаходяться під навантаженням.

Шини РП секціоновані пристроєм АВР, який знаходиться у вимкненому стані при роботі в нормальному режимі і вмикається при виникненні аварійного режиму роботи або пошкодженні однієї з ліній. У цьому випадку все навантаження РП перекладається на одну з робочих ліній на весь час до поновлення роботи другої лінії.

- комбінована схема (рис. 5.1 г). Ця схема забезпечує можливість живлення від двох джерел і по трьох лініях, є комбінацією паралельного та роздільного живлення і може бути використаною для живленні електроприймачів І категорії.

Ця схема забезпечує найвищу надійність електропостачання, є типовою для промислових районів великих міст. Але вона потребує і значно більших витрат як при її виконанні, так і в процесі експлуатації.

Переріз жил ліній живлення для кожної із розглянутих схем вибирається за умови забезпечення живлення споживачів у нормальних і аварійних режимах роботи по одній із ліній.

5.3. Схеми розподільних мереж

Схема радіальної мережі (рис.5.2). Найчастіше ця схема використовується для електропостачання невеликих окремо розташованих мікрорайонів, дачних поселень і сел. Ця схема належить до першої групи схем. Характерною її ознакою є одностороннє живлення окремих приймачів або споживачів і відсутність резервних елементів. Для мережі, виконаної згідно з цією схемою робочим є лише нормальний режим роботи. При виході з ладу будь-якого елемента схеми електропостачання порушується на весь час, необхідний для ремонту або заміни цього елемента.

Ці схеми можуть використовуватись лише для електропостачання приймачів III категорії.

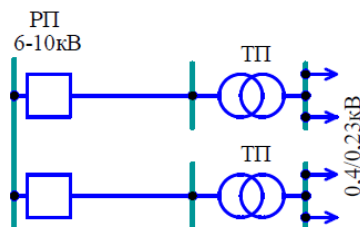


Рисунок 5.2 - Схеми радіальної розподільної мережі

- Схема магістральної мережі (рис.5.3). Ця схема, як правило, використовується для електропостачання декількох окремих силових електроприймачів або невеликих населених пунктів, для яких розподільні мережі 6-10 кВ найчастіше виконуються повітряними лініями.

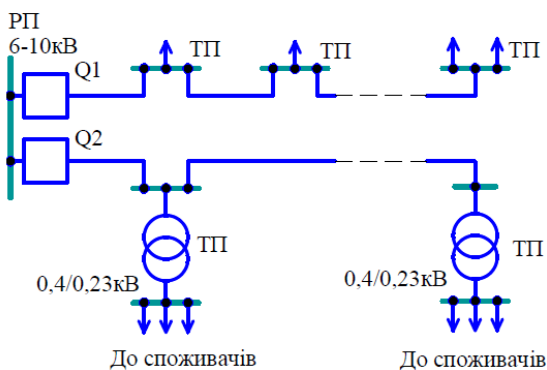


Рисунок 5.3 - Схема магістральної розподільної мережі

Схема магістральної мережі також належить до першої групи схем. Вона, як і попередня схема, характеризується одностороннім живленням окремих приймачів або споживачів та відсутністю резервних елементів. У разі пошкодження будь-якого елемента мережі втрачається електропостачання приймачів тієї ділянки, де знаходиться цей елемент, а також всіх наступних після місця пошкодження на весь час, необхідний для ремонту або заміни цього елемента. Тому ці схеми можуть також використовуватись лише для електропостачання приймачів III категорії.

Перевагою схеми магістральної мережі є те, що для неї капітальні та експлуатаційні витрати значно менші ніж при радіальній схемі.

- Схема петлевої мережі (рис.5.4). Ця схема, як правило, використовується для електропостачання районів великих населених пунктів. Можливість живлення ТП з двох напрямків підвищує надійність електропостачання.

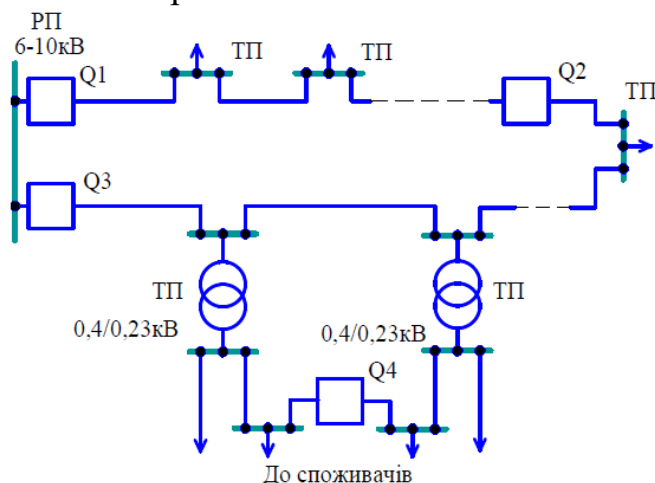


Рисунок 5.4 - Схема петлевої розподільної мережі

Вимикач Q2 знаходиться в місці розділу петлі з боку високої напруги, що дозволяє в нормальному режимі (у разі необхідності) забезпечити роботу схеми в розімкненому стані. Вимикання вимикача Q2 дозволяє також відключати лише частину споживачів для проведення планових чи аварійних робіт на певній ділянці мережі.

Переріз провідників петлевої лінії вибирається за умови одностороннього живлення ТП чи споживачів.

Трансформатори, завдяки наявності міжсекційного вимикача Q4, можуть працювати на мережу 0,4/0,23 кВ як паралельно, так і роздільно. Потужність трансформаторів ТП при цій схемі вибирають із розрахунку, що в аварійному режимі живлення споживачів буде відбуватися від одного трансформатора.

Така схема рекомендується для електропостачання приймачів II і III категорій.

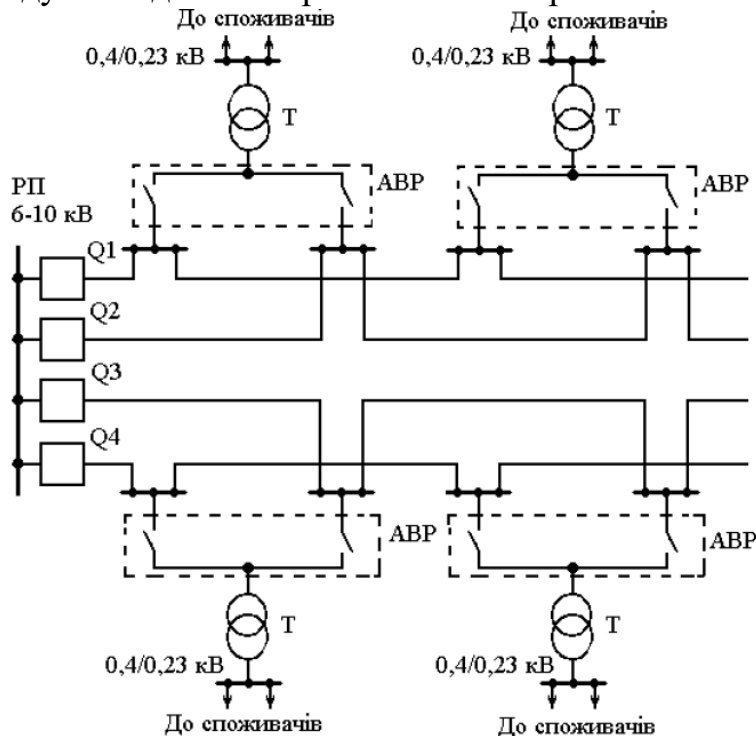


Рисунок 5.5 – Схема автоматизованої двопроменевої мережі з АВР 6-10 кВ
Автоматизована двопроменева схема мережі з АВР 6-10 кВ (рис.5.5).

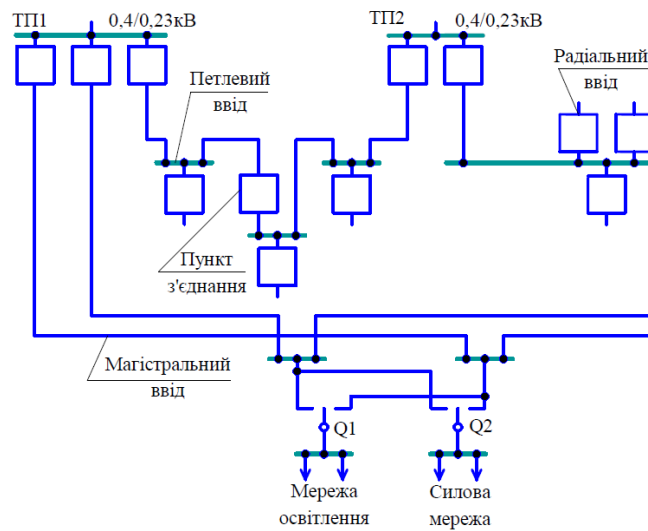


Рисунок .5.7 - Схема розподільної мережі до 1 кВ

Повна схема розподільної мережі електропостачання району населеного пункту, як правило, є досить розгалуженою. На рис.5.7, як приклад, наведена лише частина розподільної мережі живлення споживачів на напрузі 0,4/0,23 кВ. На ній показані збірні шини 0,4/0,23 кВ лише двох ТП. Наявність різних категорій приймачів зумовлює і наявність трьох видів вводу - радіального, петлевого та магістрального.

Як приклад на схемі окремо зображена мережа освітлення і силова мережа. У нормальному режимі роботи живлення цих двох груп споживачів відбувається за окремими лініями. У разі пошкодження елементів однієї з ліній за допомогою перемикачів Q1 та Q2 можливе живлення від одної з двох ліній, які, у свою чергу, можуть бути підключеними до декількох ТП.

Лекція 6. Головні положення про електропостачальні системи міських і сільських районів

План

- 5.1. Складові частини електропостачальної системи.
- 5.2. Розподільні пункти.
- 5.3. Лінії електропередач

6.1. Складові частини електропостачальної системи

Електропостачальна система міських і сільських районів у загальному випадку являє собою сукупність електроустановок з виробництва, трансформації, пересилання, та розподілу електричної енергії. Головними завданнями такої системи є безперебійне забезпечення споживачів електричною енергією. Як правило, розподіл електричної енергії в системі відбувається на напругах 6 – 10 кВ та 380/220 В.

В електропостачальній системі міських і сільських районів можна виділити такі основні складові частини:

- **джерело живлення**, функцію якого може виконувати районна підстанція або електростанція, електрична енергія від якої в систему подається на генераторній напрузі 6 – 10 кВ;
- **лінії електропередачі (ЛЕП)** повітряні, кабельні або повітряно-кабельні;
- **розподільні пункти (РП)** – складова частина електропостачальної системи, призначена для приймання та розподілу електричної енергії на одній напрузі без перетворення;
- **трансформаторні підстанції (ТП)** – складова частина електропостачальної системи, призначена для приймання електричної енергії на напрузі 6-10 кВ, пониження до 0,4 кВ та розподілу на цій напрузі серед споживачів.

6.2. Розподільні пункти

В електропостачальних системах міських і сільських районів напругою 6-10 кВ знайшли використання розподільні пункти, що призначені для виконання таких функцій:

- приймання електричної енергії від джерел живлення по 2-4 лініях живлення;
- розподіл електричної енергії на одній напрузі по великій кількості ліній живлення;
- забезпечення надійного постачання електроенергією споживачів завдяки можливості підключення їх у разі необхідності до кількох ліній;
- захист ліній живлення від аварійних режимів роботи;
- відключення ліній живлення для виконання планових профілактичних і ремонтних робіт, а також при аварійних режимах роботи.

Як правило, РП виконуються у вигляді окремо розміщених будівель. Останнім часом використовуються збірні конструкції РП, складові частини яких невеликі за розмірами, легко транспортуються, мають велику надійність у роботі, безпечні в обслуговуванні, допускають (у разі необхідності) розширення.

Часто РП є вузлом мережі живлення, в якому конструктивно виконане розміщення та з'єднання всіх елементів електричної схеми підведення від джерел живлення та розподілу між окремими споживачами електричної енергії без перетворення на одній напрузі.

На рис.6.1 зображена електрична схема РП з масляними вимикачами. Лінії, що підходять і відходять від РП, зв'язані між собою системою збірних шин, які розділені на дві секції (1 с.ш., 2 с.ш.).

До першої секції шин підключені 1-10 панелі, а до другої 11-18. Секційні масляний вимикач та два роз'єднувачі можуть забезпечити як роздільне, так і паралельне живлення кожної секції від головних джерел живлення (панелі 9 і 18). На кожній із ліній встановлені такі електричні апарати: масляні вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму. У панелях 7 та 12 розміщені вимірювальні трансформатори напруги.

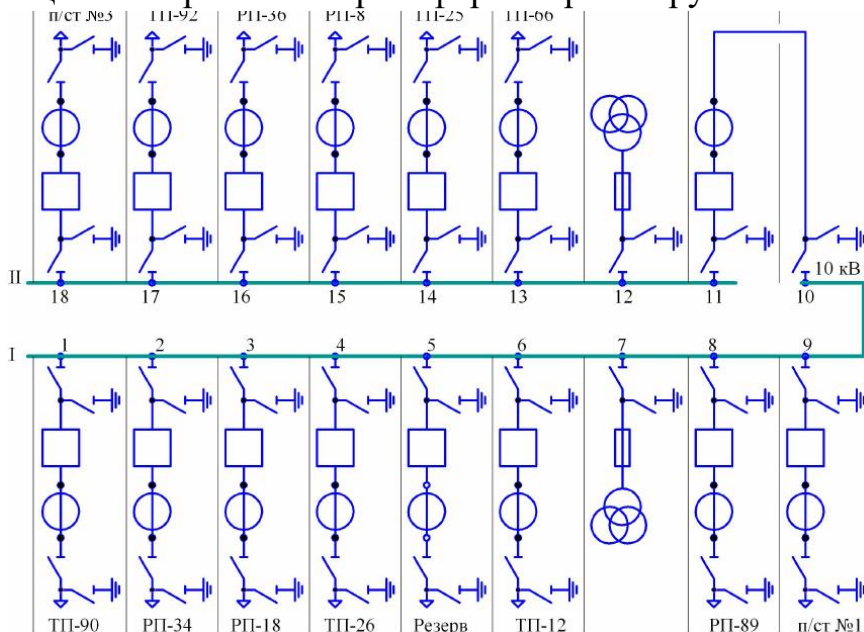


Рисунок 6.1. Електрична схема РП з масляними вимикачами

6.3. Лінії електропередач.

В системах електропостачання використовуються повітряні та кабельні лінії електропередач.

Основними конструктивними елементами повітряних ліній є:

- а) проводи, призначені для передавання і розподілу електричної енергії;
- б) опори, які потрібні для підтримування проводів і тросів на певній відстані від поверхні землі, води або інженерних споруд;
- в) ізолятори, що забезпечують ізоляцію проводів від опор;
- г) арматура, яка потрібна для закріплення проводів на ізоляторах, а ізоляторів – на опорах;
- д) грозозахисні троси, призначені для захисту проводів від розрядів блискавки. Захисні троси монтують на верхній частині опори, над фазними проводами ліній 110 кВ і вище. В електричних мережах напругою 35 кВ і менше захисні троси не використовуються.

Смуга, яка безпосередньо прилягає до повітряної лінії електропередачі, називається *трасою лінії*.

Горизонтальна відстань між сусідніми опорами називається *довжиною проміжного прольоту*, або просто *прольотом*.

Крім проміжного прольоту, у повітряних лініях розрізняють ще *анкерні прольоти* – відстань між двома анкерними опорами.

Відстань між горизонталлю, що проходить через точки кріплення проводів на опорах, і найнижчою точкою проводу в прольоті називається стрілою провисання, а відстань від найнижчої точки проводу до поверхні землі, води або споруди – габаритом, лінії.

Особливості конструктивних елементів повітряних ліній – довжина проміжного і анкерного прольотів, тип опор, габарити і марка проводу та грозозахисних тросів – визначаються напругою і потужністю лінії електропередачі, кліматичними умовами, рельєфом і заселеністю місцевості, якою проходить повітряна лінія, наявністю споруд на трасі лінії електропередачі.

Усі конструктивні елементи повітряних ліній мають протидіяти впливу зовнішніх факторів, головні з яких такі: механічні сили, що створюються вагою елементів самої повітряної лінії, вагою льоду, яким покриваються проводи, троси і опори в ожеледь, тиском вітру на них, а також тяжінням на проводі чи тросі; 2) коливання температури навколишнього середовища протягом доби і сезону; дія хімічних елементів і сполук, які є в навколишньому середовищі (сюди відносять також хімічну і електрохімічну дію вологи).

Найпростішу конструкцію мають повітряні лінії напругою до 1000 В, призначені для приєднання споживачів до трансформаторних пунктів (ТП). З підвищенням напруги конструкція повітряних ліній ускладнюється.

Повітряні лінії напругою 35 кВ використовують як живильні з трансформацією на 10(6) кВ. Останнім часом застосовують глибокий ввід напруги 35 кВ до споживача, тобто безпосередньо трансформацію напруги з 35 кВ на 380 В.

Повітряні лінії напругою 35 і 110 кВ призначені для живлення підстанцій від енергосистем і для зв'язку між підстанціями. Лінії напругою 220 і 330 кВ використовуються для електропостачання великих промислових районів, а також для зв'язку між окремими енергосистемами. Надпотужні енергосистеми об'єднують повітряними лініями напругою 500 і 750 кВ. Такі лінії використовують також для передачі великих потужностей на дуже великі відстані.

Опори в повітряних лініях призначені для підтримування проводів на належній відстані між собою і від поверхні землі, води та різних споруд. Їх виготовляють з дерева, залізобетону і металу.

За призначенням опори повітряних ліній поділяють на *проміжні, анкерні, перехідні, кутові, транспозиційні і спеціальні*.

Проміжні опори використовують для підтримування проводів на прямих ділянках в анкерних прольотах. У разі необірваних проводів ці опори не зазнають дії зусиль уздовж лінії; тому їх виготовляють простішими порівняно з іншими конструкціями опор, а отже, вони дешевші.

Анкерні опори призначені для жорсткого кріплення проводів і мають витримувати однобічний натяг частини проводів (здебільшого двох). У разі обриву проводу однобічний натяг сприймається анкерною опорою і тим самим усувається можливість поломки проміжних опор, не розрахованих на цей натяг.

Різновидністю анкерних опор є *кінцеві* опори, які встановлюють між власне повітряною лінією і розподільними пристроями. Ці опори постійно зазнають дії однобічного натягу, бо натяг проводів від розподільного пристрою завжди незначний.

Ізолятори використовуються для ізолювання проводів повітряних ліній від опори та її конструктивних елементів. На відміну від апаратних і підстанційних ізолятори повітряних ліній називаються *лінійними*.

Лінійні ізолятори виготовляють здебільшого з високоякісного фарфору і загартованого лужного або малолужного скла.

За конструктивним виконанням лінійні ізолятори повітряних ліній поділяють на *штирьові* і *підвісні*. Перші використовують на лініях напругою до 35 кВ включно, другі – на лініях напругою 35 кВ і більше. Тип ізоляторів вибирають залежно від номінальної напруги, матеріалу опори і середовища.

На лініях низької напруги здебільшого використовують фарфорові ізолятори типу РФ, РФО, ТФ або скляні аналогічної будови типу НС (низьковольтний скляний НС-18, НС-16 для гаків або штирів діаметром відповідно 18 і 16 мм). На лініях 6–10 кВ найбільше поширені ізолятори типу ШФ (наприклад, ШФ20-Г) та скляні ізолятори ШС10-А і ШС10-Г (старі позначення ШСС-10 і ШЖБ10-С). На повітряних лініях напругою 20 кВ з дерев'яними опорами використовують ізолятори ШФ-20, а з металевими і залізобетонними – ШФ-35. Між собою вони різняться лише розмірами. Конструкція штирьових ізоляторів для ліній 20–35 кВ подібна до конструкції ізоляторів ШФС і відрізняється лише тим, що тіло ізолятора складається з двох частин, скріплених цементом.

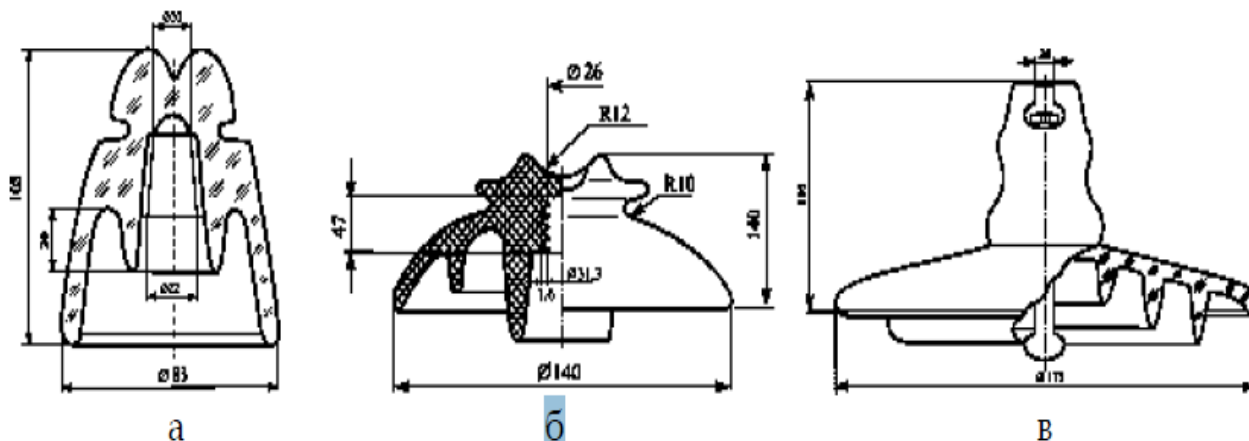


Рисунок. 6.2. Ізолятори повітряних ліній: а – скляний штирьовий НС-18; б – фарфоровий штирьовий високовольтний ШФ-10Г; в – підвісний ПС-40; 1 – фарфорове тіло ізолятора; 2 – "шапка" з ковкового чавуну; 3 – вушко; 4 – стальний стрижень

Залежно від напруги (35, 110, 150, 220, 330 кВ) підвісні ізолятори на лініях з металевими і залізобетонними опорами складають у гірлянді по 3, 7, 9, 13, 17 і більше, а з дерев'яними – по 2, 6, 8, 12, 16. У натяжних гірляндах для ліній напругою 150 кВ і вище беруть таку саму кількість ізоляторів, а для ліній 35–110 кВ – на один більше.

Лінійна арматура використовується для кріплення ізоляторів до опор, а проводів – до ізоляторів, її виготовляють здебільшого із сталі. Номенклатура її досить різноманітна.

Лекція 7. Основне електрообладнання розподільних пунктів

План

- 7.1. Вимикачі навантаження
- 7.2. Вимикач
- 7.3. Масляні вимикачі.
- 7.4. Вакуумні вимикачі.
- 7.5. Роз'єднувачі
- 7.6. Трансформатори струму та напруги
- 7.7. Розрядники та обмежувачі перенапруг

7.1. Вимикачі навантаження

Вимикачі навантаження призначені для включення і відключення електричних кіл під навантаженням у межах номінального струму. Ці електричні апарати не можуть виключати струми короткого замикання, а тому вони, як правило, працюють разом із високовольтними запобіжниками.

Прикладом такого електричного апарата може бути вимикач навантаження типу ВН-16 (рис. 7.2).

Ці електричні апарати комплектуються ручним, наприклад типу ПР-16, або автоматичним, наприклад, типу ПРА-17, приводом. Якщо є необхідність в дистанційному керуванні роботою вимикача, використовують електромагнітний привод.

Вимикачі навантаження типу ВН-16 виготовляються триполюсними. Усі складові частини вимикача розміщуються на металевій рамі 5. Нерухомі 1 та рухомі 2 контакти кріпляться до рами з допомогою опорних ізоляторів 4. Рухомі контакти 2 приводяться в рух з допомогою привода (на рисунку не показаний), що з'єднаний з валом 8, а останній через порцелянові тяги 6 – з рухомими контактами 2. Відключення електричного апарата відбувається під дією пружини 7, що зводиться під час включення.

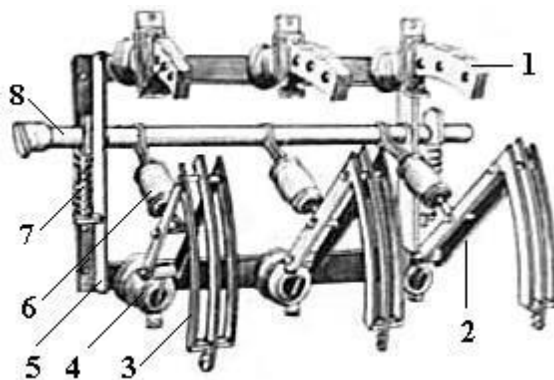


Рис. 7.2. Вимикач навантаження типу ВН-16: 1, 2 – нерухомі та рухомі контакти; 3 – дугогасильна камера; 4 – ізолятор; 5 – рама; 6 – тяга; 7 – пружина; 8 – вал

Гашення електричної дуги, що виникає при комутації електричних кіл під навантаженням, забезпечується з допомогою дугогасильних камер 3. Для гашення електричної дуги використовується газ, що генерується в самій камері завдяки наявності вставок, виготовлених, наприклад, з органічного скла. При вимкненні вимикача запалюється електрична дуга, що супроводжується значним підвищенням температури. Органічне скло при нагріванні виділяє велику кількість газу, струмені якого спрямовуються в зону горіння дуги і зумовлюють її швидке згасання.

7.2. Вимикач

Вимикачі призначені для включення та відключення електричних кіл під навантаження, а також забезпечують автоматичне відключення струмів короткого замикання. Для цих електричних апаратів наявність пристрою дугогасіння є обов'язковою. Залежно від середовища та способу гасіння дуги вимикачі бувають масляними, вакуумними, газовими (повітряні, елегазові) та з електромагнітним

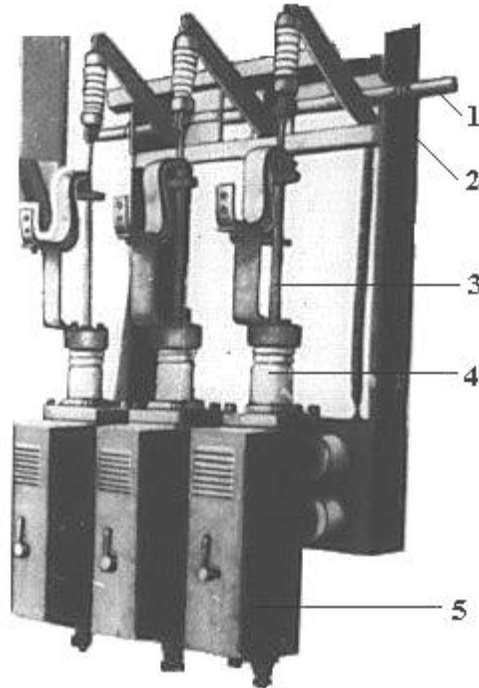


Рис.7.3. Масляний вимикач типу ВМГ-132: 1 – вал, 2 – рама, 3– тяга, 4 – прохідний ізолятор, 5 – бак полюса гашенням дуги.

7.3. Масляні вимикачі

У цих електричних апаратах гасіння електричної дуги відбувається в середовищі трансформаторного масла. Їх електричні контакти розміщуються або в одному баку, або кожний полюс окремо знаходиться в невеликому баку, який часто називають горщком.

Прикладом такого електричного апарата можуть бути масляні вимикачі горщкового типу ВМГ-133 (рис. 7.3.). У цих електричних апаратах контактна система та пристрій дугогасіння для кожного полюсу знаходиться в окремому баку 5, що заповнений маслом. Вони комплектуються приводом типів ПРБА, ППМ, ПП-61 та ін., від якого рух передається до вала 1, а потім з допомогою тяги 3 – до рухомих контактів. Ці електричні апарати розраховані на напругу 6-10 кВ і струм до 1000 А.

7.4. Вакуумні вимикачі

Вакуумні вимикачі. У цих вимикачах розмикання контактів відбувається в середині камери, де тиск повітря не перевищує 10–4 Па. При такому низькому тиску щільність газу надзвичайно мала, а тому умови горіння електричної дуги дуже погані. Прикладом такого електричного апарата може бути вакуумний вимикач типу ВВ/TEL-10-12,5/630-У2, розрахований на номінальну напругу 10 кВ (найбільшу робочу напругу 12,5 кВ) і номінальний струм 630 А.

Вакуумні вимикачі порівняно з масляними мають низку суттєвих переваг, основними з яких є:

- високий механічний та комутаційний ресурс;
- мале власне електроспоживання;
- малі габарити та вага;
- низька трудомісткість виробництва і помірні ціни.

Але для цих вимикачів характерні і певні недоліки, головними з яких є:

- метал контактів розпиляється за час горіння дуги, і питання зносостійкості є одним із головних для цих електричних апаратів;
- контактна система працює в дуже важких умовах, оскільки наявність вакууму в місці контакту значно погіршують умови тепловідведення.

7.5. Роз'єднувачі

Роз'єднувачі призначені для розмикання та замикання електричних кіл, що знаходяться під напругою але без навантаження, і створення видимого розриву між контактами. Вони забезпечують необхідні переключення для отримання потрібних схем з'єднання або ж відключення певних ділянок, ліній чи окремого електрообладнання для їх огляду чи ремонту та заземлення.

Прикладом такого електричного апарата є триполюсний роз'єднувач для внутрішньої установки типу РВ на напругу 10 кВ і струм 400 А (рис. 4.4). Керування роботою такого роз'єднувача здійснюється за допомогою ручного привода, наприклад, типу ПР-2.

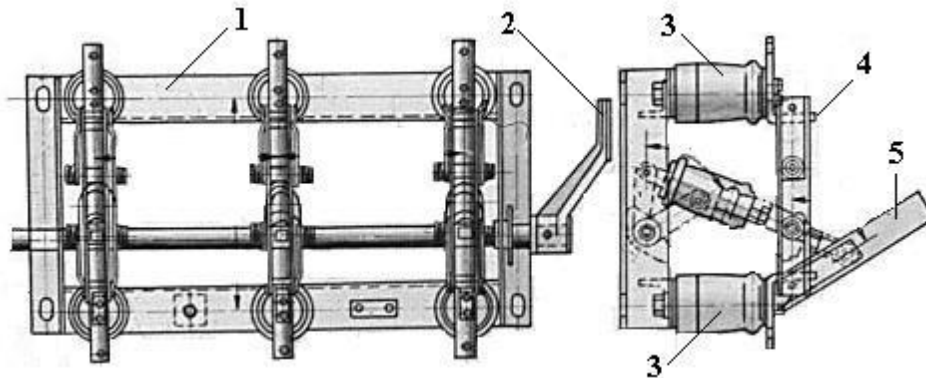


Рисунок 7.4. Роз'єднувач типу РВ: 1-рама, 2 – рукоятка привода, 3 – опорні ізолятори, 4 – нерухомі контакти, 5 – рухомі контакти

Роз'єднувачі є одним із простих і найбільш поширених електричних апаратів. Від надійності їх роботи значною мірою залежить надійність роботи всієї електропостачальної системи. Головними причинами ненадійності в роботі більшості типів роз'єднувачів є динамічна і термічна стійкості при проходженні через їх контакти струмів короткого замикання, а також неможливість відключення електричних кіл під навантаженням. У більшості сучасних конструкцій роз'єднувачів передбачені різні види блокування, що унеможливають розмикання електричних кіл під навантаженням.

7.6. Трансформатори струму та напруги

Трансформатори струму призначені для розширення межі виміру таких вимірювальних приладів, як амперметри та ватметри, живлення обмоток струму лічильників електричної енергії та котушок електричних апаратів захисту і контролю по струму та ін.

Прикладом такого електричного апарату може бути трансформатор струму типу ТПОЛ-10 (рис.4.5). Даний трансформатор струму є прохідним одновитковим. Функцію

первинної обмотки в ньому виконує струмопровідна шина 1. Витки вторинної обмотки знаходяться всередині литого ізолятора 2.

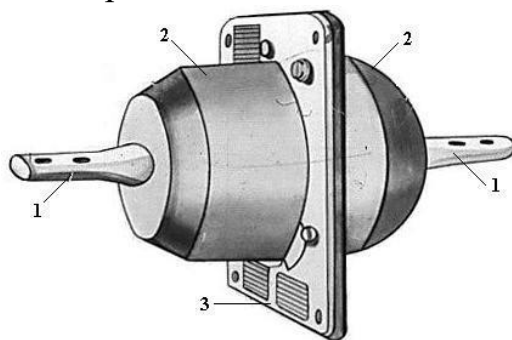


Рис.7.5. Трансформатор струму типу ТПОЛ-10: 1 – струмопровідна шина, 2 – ізолятор, 3 – панель кріплення

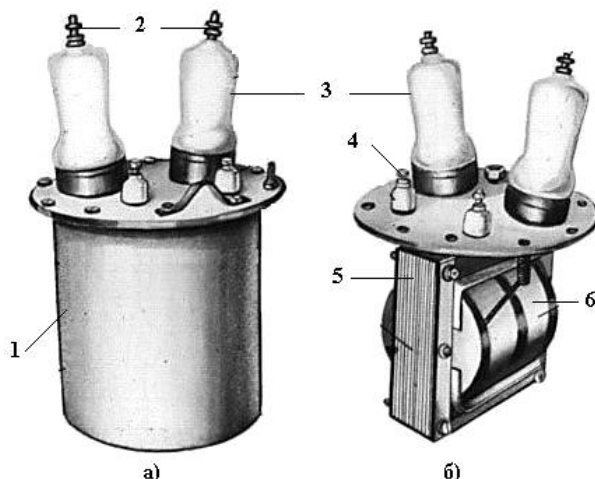


Рис. 7.6. Вимірювальний трансформатор напруги типу НОМ-10: а – у зібраному стані, б – без бака: 1 – бак, 2 – вводи високої напруги, 3 – ізолятори вводів високої напруги 4 – вводи низької напруги, 5 – осердя, 6 – обмотки

Трансформатори напруги призначені для розширення межі виміру таких вимірювальних приладів, як вольтметри та ватметри, живлення обмоток напруги лічильників електричної енергії, та котушок електричних апаратів захисту і контролю по напрузі та ін. Прикладом даного приладу може бути трифазний трансформатор типу НОМ-10 (рис. 7.6). Цей трансформатор напруги є однофазним.

Його осердя 5 з первиною та вторинною обмотками 6 розміщуються в середині бака 1, який заповнюється оливою.

7.6. Високовольтні запобіжники

Високовольтні запобіжники призначені для захисту від струмів короткого замикання та довготривалих перевантажень по струму. Прикладом такого електричного апарата може бути запобіжник плавкий типу ПКТ (рис.7.7), що призначений для захисту трансформаторів напруги.

Основним елементом запобіжника типу ПКТ є плавкі вставки 3, що розміщуються в середині порцелянового корпусу 2.

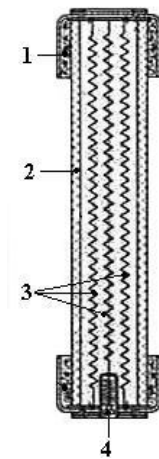


Рис.7.7. Високовольтний запобіжник типу ПКТ: 1- контакт, 2 – порцеляновий корпус, 3 – плавкі вставки, 4 – показник спрацювання

При перевантаженнях або при протіканні струму короткого замикання відбувається перегорання плавкої вставки, про що свідчить висунуте положення показника спрацювання 4. Для прискорення гашення дуги та покращення умов відведення тепла порцеляновий корпус заповнюється кварцевим піском.

7.7.Розрядники та обмежувачі перенапруг

Розрядники та обмежувачі перенапруг призначені для захисту від комутаційних та грозових перенапруг. Завдяки їх використанню вдається знизити міцність електричної ізоляції електричних апаратів та обладнання, а відповідно, і їх вартість.

В електропостачальних системах міських і сільських районів широко використовуються трубчаті та вентильні розрядники.

Більш сучасними й перспективними є обмежувачі перенапруг, які все ширше використовуються замість трубчатих та вентильних розрядників при проектуванні, технічному переозброєнні та реконструкції електроустановок. Прикладом такого електричного апарата можуть бути обмежувачі перенапруг серії ОПН/TEL. Обмежувачі типу ОПН-КР/TEL призначені для захисту електрообладнання напругою 6-10 кВ, а обмежувачі типу ОПН-РТ/TEL – для захисту найбільш відповідального електрообладнання напругою 6-10 кВ з ізолюваною або компенсованою нейтраллю.

Конструктивно електричні апарати двох типів виготовлені однаково і відрізняються лише завеличиною струму утікання.

Основною складовою частиною обмежувача перенапруг серії ОПН/TEL є послідовно з'єднані металооксидні резистори, що знаходяться всередині ізоляційного корпусу. Високолінійна вольт-амперна характеристика резисторів дозволяє безперервне знаходження електричного апарата під напругою.

При роботі обмежувача перенапруг в нормальному режимі через електроди та резистори протікає незначний ємнісний струм, що складає частки міліампер. При виникненні перенапруги резистори миттєво переходять в струмопровідний стан і обмежують подальше наростання напруги до рівня, що є небезпечним для ізоляції обладнання, яке обмежувач напруги має захищати. Коли перенапруга знижується, опір резисторів обмежувача миттєво зростає, і вони повертаються в непровідний стан.

Лекція 8. Трансформаторні підстанції

План

- 8.1. Головні складові частини та класифікація.
- 8.2. Збірні та стаціонарні трансформаторні підстанції.
- 8.3. Комплектні трансформаторні підстанції.
- 8.4. Основне електрообладнання трансформаторних підстанцій.

8.1. Головні складові частини та класифікація

На відміну від РП на ТП міських і сільських районів крім функцій, пов'язаних з прийманням та розподілом електричної енергії, покладається і функція трансформації напруги, як правило, з 6–10 кВ на 0,4 кВ. Розподіл електричної енергії на ТП може відбуватися або лише на напрузі 0,38/0,22 кВ (тупикові ТП), або як на напрузі 0,38/0,22 кВ, так і на напрузі 6–10 кВ (прохідні ТП).

Головні складові частини ТП:

- 1) розподільна установка (РУ) з боку високої напруги;
- 2) один або два силових трансформатори;
- 3) РУ з боку низької напруги.

8.2. Збірні та стаціонарні трансформаторні підстанції

Збірні трансформаторні підстанції являють собою споруду з металобетонних елементів, із яких три нижні створюють фундамент і підпілля, а з трьох верхніх споруджуються приміщення, де озміщується обладнання РУ і трансформатори.

Стаціонарні трансформаторні підстанції є окремою спорудою, або спорудою, прибудованою чи вбудованою до/в споруди комунального або житлового призначення.

У міських районах використовуються переважно ТП, побудовані згідно з типовим проектам єдиної серії, розробленої ще за часів Радянського Союзу. Нижче наводяться схеми й короткі характеристики найбільш поширених ТП єдиної серії:

Схема №1 типу К–31– 630 (рис. 8.1):

- має кабельні вводи;
- живлення здійснюється по лінії 1, комутація в якій відбувається за допомогою роз'єднувача типу РВ;
- лінії 2 і 3 є ті, що відходять. Комутація в них відбувається з допомогою вимикачів навантаження типу ВН–16;
- має один силовий трансформатор потужністю 100–630 кВА;
- використовуються в петлевих розподільних мережах. 6 - 10 к В

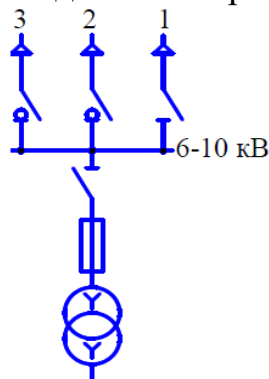
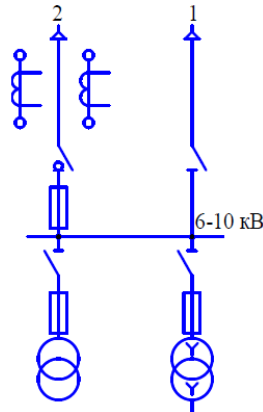


Рисунок 8.1. Схема №1 типу К-31-630

Схема №2 типу К-31-630 (рис.8.2):

- має кабельні вводи; нюється по лінії 1, комутація в якій відбувається за допомогою роз'єднувача типу РВ;
- лінії 2 є та, що відходить, і по ній можливе живлення самостійного споживача. Комутація в лінії відбувається за допомогою вимикача навантаження типу ВНП-16;
- облік електричної енергії забезпечується завдяки використанню трансформаторів струму типу ТПЛ і напруги типу НТМК;
- ТП має один силовий трансформатор потужністю 100-630 кВА;
- використовується в радіальних схемах живлення.



Риунок.8.2. Схема № 2 типу К-31-630

Схема №1 типу В-41-400 (рис. 8.3):

- має повітряні вводи;
- живлення здійснюється по лінії 1, комутація в якій відбувається за допомогою роз'єднувача типу РВ;
- лінії 2, 3 і 4 є ті, що відходять. Комутація в них відбувається з допомогою вимикачів навантаження типу ВН-16;
- захист від перенапруг з боку високої напруги здійснюється за допомогою розрядника типу РВП;
- має один силовий трансформатор потужністю 100–400 кВА; - використовується в петлевих розподільних мережах.

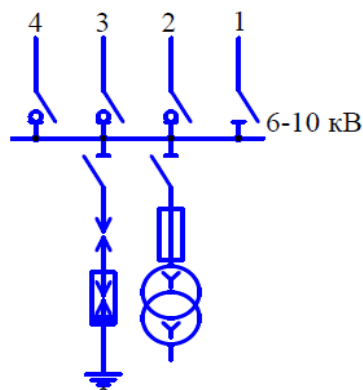


Рисунок 8.3. Схема № 1 типу В-41-400

Схема №2 типу В-41-400 (рис. 8.4):

- має повітряні вводи;
- живлення здійснюється по лінії 1, а лінії 2 і 3 є ті, що відходять. Комутація в лініях відбувається за допомогою вимикачів навантаження типу ВНП-16;
- захист від перенапруг з боку високої напруги здійснюється за допомогою розрядника типу РВП;

- облік електричної енергії забезпечується завдяки використанню трансформаторів струму типу ТПЛ і напруги типу НТМК;
- має один силовий трансформатор потужністю 100-400 кВА;
- використовується в петлевих розподільних мережах.

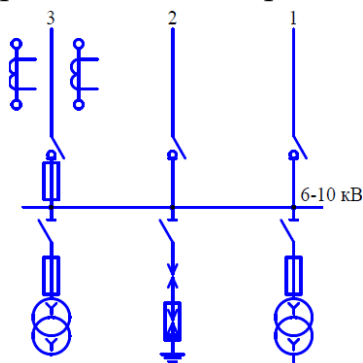


Рисунок 8.4. Схема № 2 типу В-41-400

Схема №1 типу К-32-400 (рис. 8.5):

- має кабельні вводи;
- живлення здійснюється по лінії 1, комутація в якій відбувається з допомогою роз'єднувача типу РВ;
- лінії 2 і 3 є ті, що відходять. Комутація в лініях відбувається з допомогою вимикачів навантаження типу ВН-16;
- має два силових трансформатори потужністю 100-400 кВА, один із яких використовується для живлення мережі загального призначення, а інший— для самостійного споживача;
- для захисту трансформаторів призначені запобіжники типу ПК;
- використовується в петлевих розподільних мережах.

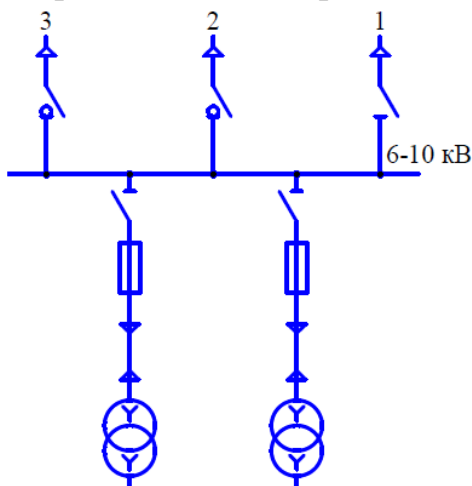


Рисунок 8.5. Схема № 1 типу К-32-400

Схема №2 типу К-32-630 (рис. 8.6):

- має кабельні вводи;
- живлення здійснюється по лінії 1, комутація в якій відбувається за допомогою роз'єднувача типу РВ;
- лінія 2 є та, що відходить. Комутація в ній відбувається з допомогою вимикача навантаження типу ВНП-16, а облік електроенергії здійснюється з використанням трансформатора струму типу ТПЛ;
- має два силових трансформатори потужністю 100-630 кВА;
- для захисту трансформаторів і лінії, що відходить, призначені запобіжники типу ПК;

- використовується в радіальних розподільних мережах.

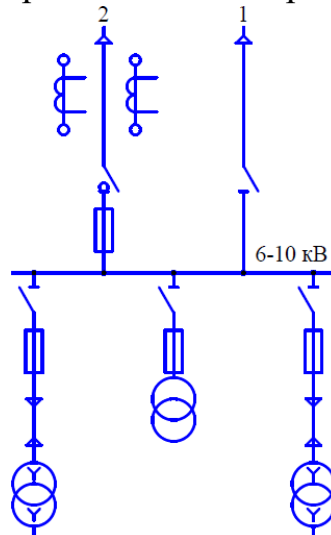


Рисунок 8.6. Схема №2 типу К-32-630

На рис. 8.7 наведена принципова електрична схема первинних з'єднань ТП єдиної серії, схема №1 типу К-32-630. Живлення ТП здійснюється від ТП-137. До ліній, що відходять, підключені ТП-237 і РП-23.

РУ-0,4 кВ має дві секції шин, що з'єднані секційним роз'єднувачем. Кожна із ліній з боку низької напруги має роз'єднувач типу РВ-400 і запобіжник типу ПН-2. Номінальні значення струмів плавкої вставки запобіжників вказані поряд з умовними позначеннями елементів.

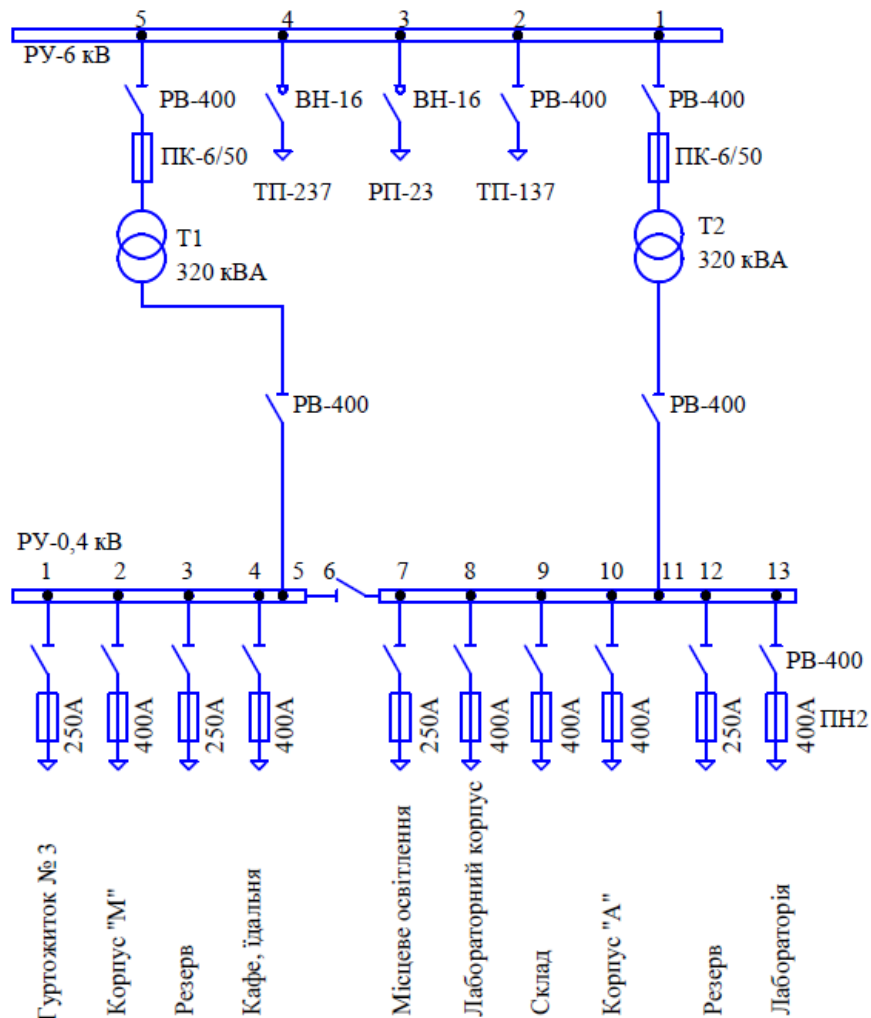


Рисунок 8.7. Принципова електрична схема ТП

8.3. Комплектні трансформаторні підстанції

Прикладом комплектної трансформаторної підстанції є КТП-25-250/10/0,4 (далі – КТП) являє собою однострансформаторну тупикову підстанцію зовнішньої установки стовпового типу. Назва типу пов'язана зі способом установки її складових частин на опорах з залізобетону – стовпах (рис. 8.8). Вони призначені для електропостачання сільських споживачів, окремих населених пунктів і невеликих підприємств, мають два види кліматичного виконання (У1 і Т1) і виготовляються на потужності: 25, 40, 63, 100, 160, 250 кВА.

Основні складові частини КТП:

- установка з боку високої напруги;
- трансформатор силовий зовнішньої установки;
- розподільна установка (РУ) з боку низької напруги.



Рисунок 8.8. Зовнішній вигляд КТП-250\10\0,4-У1: 1 – трансформатор, 2 – РУ з боку низької напруги, 3 – установка з боку високої напруги

Більшість високовольтних електричних апаратів КТП знаходяться в верхній металевій шафі установки 3 з боку високої напруги (рис.8.8). Лише високовольтні розрядники закріплені зовні на шафі, а роз'єднувач – на останній опорі високовольтної ЛЕП. Низьковольтні електричні апарати і вимірювальні прилади знаходяться в середині шафи РУ з боку низької напруги 2. Силовий трансформатор 1 розміщується позаду шафи РУ з боку низької напруги. Зверху на кронштейні розміщуються металеві штирі з ізоляторами для закріплення дротів низьковольтних повітряних ЛЕП.

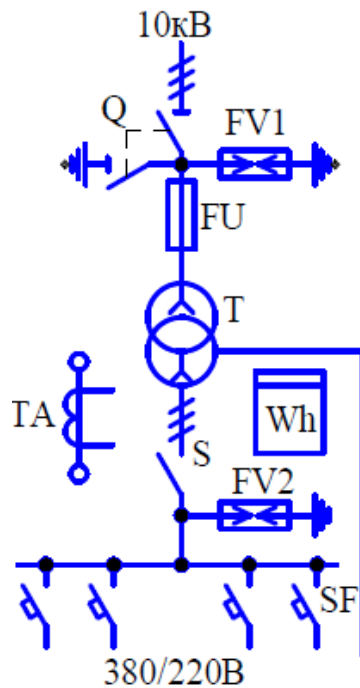


Рисунок 8.9. Однолінійна схема первинних з'єднань КТП-25-250\10\0,4-U1

На рис.8.9 наведена однолінійна спрощена електрична схема первинних з'єднань КТП, яка дає інформацію лише про її основні складові частини (Q – роз'єднувач, FV1, FV2 – розрядники, FU – запобіжники, Т – силовий трансформатор, ТА - трансформатори струму, Wh – лічильник активної енергії, SF – автоматичні вимикачі) та зв'язок між ними.

8.4. Основне електрообладнання трансформаторних підстанцій

До основного електрообладнання ТП належать;

- обладнання РУ з боку високої напруги;
- силові трансформатори;
- обладнання РУ з боку низької напруги.

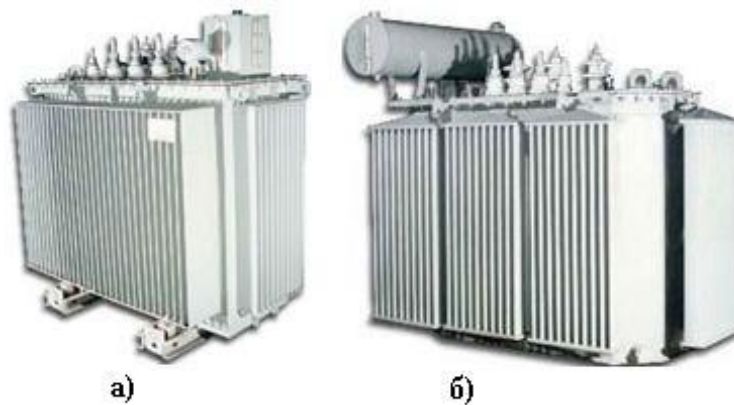


Рисунок 8.10.Масляні трансформатори: а) типу ТМГ,б) типу ТМ

8.4.1. Електрообладнання РУ з боку високої напруги

До основного електрообладнання РУ з боку високої напруги ТП відносять високовольтні електричні апарати: вимикачі навантаження, вимикачі, роз'єднувачі, вимірювальні трансформатори струму та напруги, запобіжники, розрядники, та ін. Ці високовольтні електричні апарати за призначенням та конструктивним виконанням не відрізняються від тих, що використовуються в РП.

8.4.2. Силові трансформатори

На ТП електропостачальних систем міських і сільських районів використовуються сухі або масляні силові трансформатори. Сухі трансформатори використовуються значно рідше, як правило, на невеликі потужності 10 – 100 кВА, у мережах, що захищені від атмосферних перенапруг. Більш широке використання отримали масляні трансформатори. Прикладом таких трансформаторів можуть бути трифазні масляні трансформатори герметичного виконання серії ТМГ (рис.8.10, а) та з розширювачем серії ТМ (рис.8.10, б).

8.4.3. Електрообладнання розподільних установок з боку низької напруги

До основного електрообладнання РУ з боку низької напруги ТП належать низьковольтні електричні апарати та вимірювальні прилади: рубильники, автоматичні вимикачі, перемикачі, магнітні пускачі, запобіжники, розрядники, трансформатори струму та напруги, лічильники тощо.

У збірних та стаціонарних ТП електрообладнання РУ з боку низької напруги, як правило, розміщується в комплектних розподільних установках, які виготовляються у вигляді окремих панелей (комірок), і з них на місці встановлення РУ комплектуються щити керування. У КТП електрообладнання РУ з боку низької напруги розміщується в окремих металевих шафах.

Чепіжний Андрій Володимирович
Лисенко Віта Василівна

Основи електропостачання

Конспект лекцій

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

Підписано до друку _____ 2024 р. Формат А5; Гарнітура Times New Roman

Тираж ____ примірників Замовлення _____ Ум. Друк. арк
