

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни  
**«Системи електропостачання»**  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого рівня вищої освіти

**Електромеханіка**

**за темою № 1 – Загальні питання електропостачання.**

**Харків 2021**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 23.09.2021 № 8

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою Кременчуцького  
льотного коледжу  
Протокол від 22.09.2021 № 2

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 30.08.2021 № 1.

**Розробник:**

1. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, Волканін Є.Є.

**Рецензенти:**

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.

2. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, к.т.н., професор Гаврилюк Ю.М.

### **План лекції:**

1. Вступ.
2. Енергетична система і її основні частини.
3. Споживачі електроенергії.
4. Категорії електроприймачів по безперебійності живлення.
5. Основні вимоги до систем електропостачання.
6. Режим роботи нейтралі електричних мереж.
7. Принципи побудови систем електропостачання.
8. Схеми розподілу електроенергії.
9. Схеми зовнішнього електропостачання.
10. Схеми внутрішнього електропостачання.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

1. Шкрабець Ф. П. Основи електропостачання: Навч. посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2012.
2. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Разумний Ю.Т., Заїка В.Т., Степаненко Ю.В. Енергозбереження: Навч.посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2005.
4. Перехідні процеси в системах електропостачання / Півняк Г.Г., Винославський В.Н., Рибалко А.Я., Несен Л.И. и др. – Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000.
5. Васи́лега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. –Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 415 с.

#### **Допоміжна література:**

1. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД „Університетська книга“, 2006. -153 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД „Університетська книга“, 2007. - 280 с.
3. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електропостачання>
2. <https://www.ukrnafta.com/sistema-elektropostachannya>
3. <https://www.pronet.ua/sistemi-elektropostachannya/>
4. <http://web.kpi.kharkov.ua/elmarsh/wp-content/uploads/sites/108/2017/04/Elektropostachannya-promislovih-pidpriyemstv.-Pidruchnik.Milih-V.I-Pavlenko-T.P.2016.pdf>
5. <https://avenston.com/solutions/mep-systems/power-supply-systems/>

## Текст лекції

### 1. Вступ.

Завдання електропостачання промислових підприємств виникло одночасно із широким впровадженням електропривода як рушійної сили різних машин і механізмів і будівництвом електростанцій.

Системи електропостачання промислових підприємств створюються для забезпечення живлення електроенергією промислових приймачів, до яких ставляться електродвигуни різних машин і механізмів, електричні печі, електролізні установки, апарати й машини для електричного зварювання, освітлювальні установки й ін. У міру розвитку електроспоживання ускладнюються й системи електропостачання промислових підприємств. Виникає необхідність впроваджувати автоматизацію систем електропостачання промислових підприємств, здійснювати в широких масштабах диспетчеризацію процесів виробництва із застосуванням телесигналізації й телекерування й вести активну роботу з економії електроенергії.

Важливою особливістю систем електропостачання є неможливість створення запасів основного використовуваного продукту електроенергії. Вся одержувана електроенергія негайно споживається. При непередбачених коливаннях навантаження необхідна точна й негайна реакція системи керування, що компенсує виниклий дефіцит.

Системі електропостачання великого підприємства притаманна наявність глибоких внутрішніх зв'язків, що не дозволяють розчленовувати системний, комплексний підхід, що враховує взаємовплив факторів, і урахування їхньої динамічності. Під впливом різноманітних збурювань відбувається безперервна зміна стану системи.

Головною проблемою в найближчому майбутньому з'явиться створення раціональних систем електропостачання промислових підприємств, що зв'язано з наступним:

1) вибором і застосуванням раціонального числа трансформацій. Застосування на промислових підприємствах раціональних систем електропостачання приведе до скорочення числа трансформацій до двох-трьох. У цьому випадку економія електроенергії складе не менш 10-15% усього її витрати (споживання) промисловим підприємством.

2) вибором і застосуванням раціональних напруг. Застосування раціональних напруг у системах електропостачання промислових підприємств дає значну економію у втратах електроенергії. Нераціональні рішення в цьому напрямку приводять до того, що в експлуатації перебувають системи електропостачання, у яких втрати електроенергії доходять до 35-40%.

3) правильним вибором місця розміщення цехових і головних розподільних (знижувальних) підстанцій. Розташування живильних підстанцій у відповідних центрах електричних навантажень забезпечує

мінімальні річні наведені витрати. Усякий зсув живильної підстанції із центра електричних навантажень веде до збільшення цих витрат і підвищень витрат електроенергії.

4) подальшим удосконалюванням методики визначення електричних навантажень. Правильне визначення очікуваних навантажень сприяє рішенню загального завдання оптимізації побудови систем внутрішньозаводського електропостачання.

5) раціональним вибором числа й потужності трансформаторів, а також схем електропостачання і їхніх параметрів, що веде до скорочення втрат електроенергії, підвищенню надійності й сприяє здійсненню загального завдання оптимізації побудови систем електропостачання;

6) принципово новою постановкою для рішення таких завдань, як, наприклад, вирівнювання електричних навантажень.

Підтримка напруги, близької до номінальної, звичайно провадиться за рахунок регулювання напруги різними додатковими пристроями. При цьому особливо в умовах глибокого регулювання напруги мають місце додаткові втрати електроенергії. У таких випадках ефективніше застосовувати підвищення номінальної напруги, що набагато вигідніше економічно.

Загальне завдання оптимізації систем промислового електропостачання крім зазначених вище положень включає також раціональні рішення на вибір перетинів проводів і жили кабелів, способів компенсації реактивної потужності, автоматизації, диспетчеризації й ін.

## **2. Енергетична система і її основні частини.**

У загальному випадку під енергетичною системою (енергосистемою) мають на увазі сукупність електростанцій, ліній електропередачі, підстанцій і теплових мереж, зв'язаних в одне ціле спільністю режиму і безупинного процесу виробництва і розподілу електричної і теплової енергії.

Окремі енергетичні системи, зв'язані між собою електричними мережами, називаються об'єднаною енергетичною системою. Далі наводяться основні визначення, що характеризують структуру електропостачання промислових підприємств. Ці визначення прийняті відповідно до діючих стандартів і Правил пристрою електроустановок (ППЕ).

Електроустановками називаються установки, у яких виробляється, перетворюється, передається, розподіляється і споживається електрична енергія. Електроустановки розділяються на установки напругою до 1000 В і установки вище 1000 В.

Приймачем електричної енергії (електроприймачем) називається електроустаткування (трансформатор, електродвигун, перетворювач, світильник тощо), що споживає чи перетворює електроенергію.

Електричною системою називається частина енергосистеми, яка складається з генераторів, розподільних пристроїв, електричних мереж і

електроприймачів. Таким чином, електрична система виробляє, розподіляє і перетворює електричну енергію.

Системою електропостачання називається сукупність пристроїв для виробництва і розподілу електричної енергії. Система електропостачання забезпечує живлення електроенергією споживачів якогонебудь підприємства, групи підприємств тощо. Таким чином, електропостачання являє собою одну частину електрифікації народного господарства, а споживання і використання електричної енергії – іншу.

Електричні мережі – це елемент системи електропостачання, призначений для передачі і розподілу електричної енергії. Вони складаються з ліній електропередачі, підстанцій, розподільних і перемикальних пунктів, що працюють на визначеній території.

Лінії електропередачі – система проводів, що служать для передачі електроенергії від генераторів електростанцій до місць споживання і для розподілу її між електроприймачами.

Теплові мережі — сукупність трубопроводів і допоміжних пристроїв, що служать для передачі і розподілу теплової енергії (пара, гаряча вода) від теплоелектроцентралі до споживачів.

Підстанцією називається електроустановка, яка призначена для перетворення і розподілу електроенергії і складається з трансформаторів та інших перетворювачів енергії, розподільних пристроїв, пристроїв керування тощо.

Розподільним пристроєм (РП) називається електроустановка, яка служить для прийому і розподілу електроенергії та складається з комутаційних апаратів, пристроїв захисту й автоматики, збірних і сполучних шин і допоміжних пристроїв.

Підстанції і розподільні пристрої можуть бути відкритими і закритими.

Електропідстанції або підвищують напругу, яка підводиться (підвищувальні), або знижують її (знижувальні). Підстанції є тими елементами системи, через які приєднуються станції до мереж і з'єднуються між собою мережі різних напруг.

Роль енергетичних систем в економіці країни надзвичайно велика. Це визначається тим, що електричний привод є основним видом привода в промисловості, а потреби в теплі в основному забезпечуються електричними станціями, які працюють у складі енергетичної системи. У цьому зв'язку необхідна надійна робота енергосистем, а також їх висока економічна ефективність.

Енергетичні системи можна розрізнати по ряду ознак: по виду ресурсів, що використовуються, по складу споживачів енергії і по взаємному географічному розташуванню джерел енергетичних ресурсів, а також електричних станцій і споживачів енергії. Вони можуть класифікуватися також по потужності, структурі потужностей, що генерують, щільності навантаження, конфігурації схеми електричних мереж.

### 3. Споживачі електроенергії.

Приймачем електроенергії (те ж — електроприймачем, струмприймачем) називається електрична частина виробничої установки, що одержує електроенергію від джерела та перетворює її в механічну, теплову, хімічну, світлову енергію, в енергію електростатичного та електромагнітного поля.

За технологічним призначенням приймачі електроенергії класифікуються залежно від виду енергії, у який даний приймач перетворює електричну енергію: електродвигуни приводів машин і механізмів; електротермічні установки; електрохімічні установки; установки електроосвітлення; установки електростатичного та електромагнітного поля, електрофільтри; пристрої іскрової обробки, пристрої контролю та випробування виробів (рентгенівські апарати, установки ультразвуку і т.п.).

Сукупність електроприймачів виробничих установок цеху, корпусу, підприємства, приєднаних за допомогою електричних мереж до загального пункту електроживлення, називається електроспоживачем.

Розглянемо основні види електроприймачів різного технологічного призначення, електроспоживачів різних галузей промисловості, характер їхніх навантажень і особливості режимів роботи.

Електродвигуни застосовуються в приводах різних виробничих механізмів на всіх промислових підприємствах. Електропривод це комплекс електричних машин, апаратів і систем керування, у якому електродвигуни конструктивно пов'язані з виконавчим механізмом і перетворюють електричну енергію в механічну роботу. Електропостачання приводів виконується з урахуванням їх параметрів, процесу роботи та виробничих умов.

Виконавчі виробничі механізми вимагають постійної та регульованої частоти обертання. Ця вимога є визначальною при виборі типу електродвигуна. В установках, що не потребують регулювання швидкості в процесі роботи, застосовуються винятково електроприводи змінного струму (асинхронні та синхронні двигуни).

Для нерегульованих приводів техніко-економічним порівнянням за умовами електропостачання та вартості привода встановлена найбільш економічна область застосування асинхронних і синхронних електродвигунів залежно від напруги.

Таким чином, нерегульовані електродвигуни змінного струму — основний вид електроприймачів у промисловості, на частку якого доводиться близько 2/3 сумарної потужності. При необхідності широкої, плавної зміни швидкості застосовують в основному приводи постійного струму.

Перетворення електричної енергії змінного струму в постійний струм для відповідних електроприймачів вимагає капітальних витрат на установку перетворювальних агрегатів і апаратури керування, на будівництво приміщень для них, а також експлуатаційних витрат на їхнє обслуговування та на втрати електроенергії. Тому система електропостачання та питома

вартість електроенергії на постійному струмі вище, ніж на змінному. Двигуни постійного струму коштують дорожче, ніж асинхронні або синхронні двигуни. Але регульовані приводи постійного струму є технологічно ефективними в таких випадках, коли потрібна швидка зміна частоти обертання або реверсування двигуна, наприклад прокатні стани на металургійних заводах. Для живлення двигунів постійного струму на промислових підприємствах передбачаються перетворювальні установки.

Електротермія, електрозварювання, електроліз, електроосвітлення та інші споживачі становлять близько  $1/3$  сумарного промислового навантаження.

Електротермічні приймачі відповідно до методів нагрівання діляться на наступні групи: дугові електропечі для плавки чорних і кольорових металів, установки індукційного нагрівання для плавки та термообробки металів і сплавів, електричні печі опору, електрозварювальні установки, термічні комунально-побутові прилади.

Електрозварювальні установки змінного струму дугового та контактного зварювання представляють собою однофазне нерівномірне та несинусоїдальне навантаження з низьким коефіцієнтом потужності:  $0,3$  для дугового зварювання та  $0,7$  для контактної. Зварювальні трансформатори та апарати малої потужності підключаються до мережі  $380/220$  В, могутніші - до мережі  $6-10$  кВ.

Електрохімічні та електролізні установки (електролітичні ванни для електролізу води, розчинів, розплавів кольорових металів; установки електрохімічних процесів у газі; ванни для гальванічних покриттів: омедніння, нікелювання, хромування, оцинкування і т.п.) працюють на постійному струмі, що одержують від перетворювальних підстанцій, що випрямляють трифазний змінний струм. Електролітичний процес вимагає сталості випрямленого струму, для чого необхідне регулювання напруги. Коефіцієнт потужності установок  $0,8-0,9$ .

Установки електричного освітлення з лампами накаливання, люмінесцентними, дуговими, ртутними, натрієвими, ксеноновими лампами застосовуються на всіх підприємствах для внутрішнього та зовнішнього висвітлення. Питома щільність навантаження електроосвітлення у виробничих цехах залежить від рівня нормованої освітленості та звичайно становить у цехах металообробки, лиття, у котельних і термічних цехах  $10-12$  Вт/м<sup>2</sup>. в інструментальних, шліфувальних цехах і цехах точної обробки  $13-20$  Вт/м<sup>2</sup>.

#### **4. Категорії електроприймачів по безперебійності живлення.**

На промислових підприємствах можуть бути електроприймачі, перерви в електропостачанні яких неприпустимі навіть на порівняно короткий проміжок часу, необхідний черговому персоналу на оперативні переключення, які зв'язані з відновленням живлення після аварійного відключення ушкодженої ділянки мережі. При цьому одні й ті ж самі за своїм



характером і призначенню електроприймачі на одних підприємствах можуть зовсім не припускати перерв живлення, а на інші – припускати їх на деякий термін без збитку для виробництва.

Перерва в електропостачанні може приводити до різних несприятливих наслідків. Так, наприклад, на металургійних або хімічних виробництвах, а також на деяких шахтах перерва в електропостачанні приводить до розладів безупинних технологічних процесів, до виходу з ладу основного технологічного устаткування, а в інших випадках – до утворення вибухонебезпечних концентрацій газів при припиненні вентиляції, що загрожують життю людей. Деякі ж виробництва при перервах в електропостачанні несуть тільки витрати від недовипуску продукції.

Відповідно до характеру збитку, що може бути нанесений окремому підприємству або народному господарству при раптових перервах електропостачання, усім електроприймачам привласнюють визначену категорію у відношенні забезпечення надійності їхнього електропостачання. Різноманіття споживачів електроенергії Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) умовно підрозділяють на три основні категорії по безперебійності живлення:

I – електроприймачі, порушення електропостачання яких спричиняє небезпеку для життя людей, значний збиток народному господарству, ушкодження устаткування, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу, порушення особливо важливих елементів народного господарства;

II – електроприймачі, перерва в електропостачанні яких зв'язана з масовою недовідпусткою продукції, простоем робітників, механізмів і промислового транспорту, порушенням нормальної діяльності значної кількості міських жителів;

III – всі інші електроприймачі, які не підходять під визначення I і II категорій, що допускають перерви в електропостачанні без істотного збитку для споживачів протягом часу, необхідного для ремонту чи заміни електроустаткування, що вийшло з ладу.

Електроприймачі I категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних джерел живлення (наприклад, від різних секцій збірних шин підстанції, що нормально працюють роздільно).

Перерва в живленні може бути припущена лише на час автоматичного введення резервного живлення (кілька секунд), або повинно бути не менш двох агрегатів однакового призначення, що одержують живлення від незалежних джерел.

Незалежними джерелами є:

- а) дві електростанції;
- б) дві підстанції енергосистеми;

в) дві секції збірних шин електростанції або підстанції енергосистеми за умови, що кожна із секцій у свою чергу одержує живлення від

незалежного джерела і секції не зв'язані між собою чи мають зв'язок, що відключається автоматично при порушенні нормальної роботи однієї секції.

Для живлення електроприймачів особливої групи крім двох основних джерел живлення електроприймачів I-ї категорії повинно передбачатися третє незалежне джерело, достатнє для безаварійної зупинки виробництва. В якості таких джерел можуть бути використані дизельні електростанції, акумуляторні батареї тощо, які включаються автоматично при зникненні напруги на обох основних джерелах живлення. При виході з роботи одного з двох основних джерел живлення незалежне джерело живлення переводиться в режим гарячого резерву. Потужність третього незалежного джерела повинна бути мінімальною, що забезпечує живлення тільки електроприймачів особливої групи, необхідної для безаварійної зупинки виробництва.

Для електроприймачів II категорії припустима перерва електропостачання на час, необхідний для включення резервного живлення черговим персоналом чи виїзною оперативною бригадою. Припускається живлення приймачів II категорії одним трансформатором.

Для споживачів III категорії припускаються перерви, необхідні для ремонту чи заміни електроустаткування, але не більш доби.

Віднесення споживачів до I категорії спричиняє підвищення вимог у відношенні резервування і, як наслідок, збільшення капітальних витрат на електроустаткування. Внаслідок цього в кожному окремому випадку необхідно ретельно аргументувати віднесення споживачів до тієї чи іншої категорії по безперервності живлення.

## **5. Основні вимоги до систем електропостачання.**

Вимоги, пропоновані до схем електропостачання, залежать від багатьох факторів, сутність основних з них зводиться до наступного:

1. Джерела живлення необхідно максимально наближати до електроустановок споживачів.

2. Система електропостачання повинна забезпечувати необхідну надійність живлення підприємства й окремих споживачів відповідно до їхньої категорії за ступенем відповідальності.

3. Схеми електропостачання, як правило, повинні будуватися таким чином, щоб усі їхні елементи постійно знаходилися під напругою.

4. Робота всіх елементів схеми (ліній, трансформаторів) повинна передбачатися, як правило, роздільна, тому що при паралельній роботі збільшуються струми короткого замикання й ускладнюються пристрої релейного захисту.

5. При побудові схем електропостачання необхідно застосовувати глибоке секціонування шин у всіх ланках системи розподілу енергії, починаючи від вузлової підстанції і закінчуючи шинами підстанцій нижчої напруги.

6. Повинні передбачатися заходи щодо забезпечення необхідних показників якості електроенергії (зокрема стабільність, мінімум коливань і припустимі величини відхилень напруги в нормальних, аварійних і післяаварійних режимах).

7. Система електропостачання як у схемній, так і в конструктивній частині повинна передбачати і забезпечувати можливість зростання електричних навантажень на найближчі 10 років.

8. Система електропостачання підприємства повинна задовольняти економічності, що відповідає мінімуму розрахункових витрат, простоті, зручності і безпеці експлуатації.

Такі найголовніші вимоги до систем електропостачання на всіх її ступенях.

## **6. Режим роботи нейтралі електричних мереж.**

Надійність роботи електроустановок і систем електропостачання в цілому значною мірою залежить від режиму нейтралі джерел і приймачів трифазного струму. Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) по режиму роботи нейтралі всі електроустановки й електричні мережі поділяються на наступні основні групи — із глухозаземленою, з ізольованою і з ефективно заземленою нейтраллю. Мережею з глухозаземленою нейтраллю називається мережа, у якій нейтралі трансформаторів чи генераторів приєднані до пристрою, що заземлює, чи безпосередньо через малий опір (наприклад, через трансформатори струму). Мережею з ізольованою нейтраллю називається мережа, нейтраль, у якій нейтралі трансформаторів чи генераторів не приєднані до пристрою, що заземлює, чи приєднані до нього через прилади сигналізації, виміру, дугогасні реактори і подібні їм пристрої, що мають великий опір. Мережею з ефективно заземленою нейтраллю називається трифазна електрична мережа напругою вище 1 кВ, у якій коефіцієнт замикання на землю не перевищує 1,4.

Коефіцієнтом замикання на землю в трифазній електричній мережі називається відношення значень різниці потенціалів між неушкодженою фазою і землею в точці замикання на землю іншої фази і різниці потенціалів між фазою і землею в цій точці до замикання.

Електричні мережі напругою до 1000 В працюють як з ізольованою, так і з заземленою нейтраллю. При виборі режиму роботи нейтралі керуються міркуваннями економії, надійності й електробезпечності.

Якщо є однофазні електроприймачі (наприклад, освітлювальні), які включаються на фазну напругу, застосовують чотирьохпроводні мережі. Сполучене живлення силового й освітлювального навантажень від загальних силових трансформаторів привело до широкого поширення чотирьохпроводної мережі напругою 380/220 В. У цих мережах дуже важко забезпечити гарну ізоляцію, у зв'язку з чим ПУЕ рекомендує виконувати їх із глухозаземленою нейтраллю. Трьохпроводні мережі напругою до 1000 В з заземленою нейтраллю практично не застосовуються. У підземних

виробленнях за умовами електробезпеки заборонене застосування установок із заземленою нейтраллю. Не застосовується заземлена нейтраль при напрузі 660 В поза залежністю від місця установки в зв'язку зі збільшенням напруги дотику.

Електричні мережі напругою 6 – 35 кВ виконуються з ізольованою нейтраллю чи з нейтраллю, заземленою через апарати, що компенсують ємнісний струм (дугогасні реактори). Компенсація ємнісного струму, значення якого пропорційно напрузі і довжині (ємності) електрично зв'язаних ліній, застосовується при значеннях струму замикання на землю, що перевищують 30 А в мережах напругою 6 кВ, 20 А в мережах напругою 10 кВ і 10 А в мережах напругою 35 кВ.

При струмах замикання на землю 50 А й більш рекомендується встановлювати не менш двох дугогасних реакторів.

Мережі напругою 110 кВ і вище, як правило, виконуються з глухозаземленою чи ефективно заземленою нейтраллю. У зв'язку з цим захист (реле і трансформатори струму) необхідно встановлювати в трьох фазах, що приводить до деякого подорожчання. Дорожче обходяться і пристрої, що заземлюють. Але, тому що таких установок значно менше, ніж на напругу 6 – 35 кВ, а вартість ізоляції зменшується і надійність роботи (релейний захист) збільшується, застосування глухозаземленої нейтралі в таких мережах себе цілком виправдує.

## **7. Принципи побудови систем електропостачання.**

Основними джерелами електропостачання переважної більшості сучасних підприємств є районні енергетичні системи і тільки у відносно рідких випадках – місцеві електростанції. Останні можуть бути доцільними й економічними тільки в тому випадку, коли вони служать для комбінованого постачання підприємств електроенергією і теплом, і тільки в районах, вилучених від існуючих енергосистем.

В даний час, коли електрогосподарство потужних промислових підприємств незмірно виросло, а їхні потужності і території різко зросли, для живильних мереж широко застосовують напруги не тільки 35, але і 110 – 220 кВ. Типова схема електропостачання промислового району має звичайно кілька джерел живлення, зв'язаних між собою підстанціями і лініями електропередачі. Число джерел живлення залежить від категорії споживачів і вирішується в залежності від збитків (збитку) виробництва при припиненні електропостачання. Джерела живлення вважаються незалежними, якщо порушення режиму чи ушкодження одного з них не спричиняє порушення чи припинення роботи іншого.

Навантаження між джерелами живлення підприємства розподіляється в залежності від їхньої потужності, віддаленості, економічності і сезонності роботи. Джерела малопотужні, неекономічні чи вилучені звичайно використовуються тільки для резервування.

Кількість приймальних пунктів на підприємстві визначається загальною схемою електропостачання, величиною необхідної потужності, територіальним розміщенням навантажень, необхідним ступенем безперебійності, а також наявністю чи відсутністю власного джерела живлення. Тип приймального пункту залежить від потужності, яка підводиться, і величини живильної напруги. Усі пункти прийому електроенергії від системи повинні бути також зв'язані між собою і з власними електростанціями кабельними чи повітряними лініями або ж токопроводами.

Електропостачання підприємств прийняте розділяти на зовнішнє і внутрішнє. При цьому під зовнішнім електропостачанням мається на увазі комплекс споруджень, що забезпечують передачу електроенергії від обраної крапки приєднання до енергосистеми до прийомних підстанцій підприємства. Внутрішнє електропостачання – це комплекс мереж і підстанцій, розташованих на території підприємства. Схема електропостачання підприємства виконується з урахуванням особливостей режиму роботи окремих споживачів, можливостей подальшого розширення виробництва, зручності обслуговування тощо; вона визначається величиною навантажень і категоріями споживачів, залежить від характеру розміщення навантажень, а також від планування окремих об'єктів на генплані підприємства, від числа і потужності підстанцій, наявності окремих великих електроприймачів і тісно зв'язана з технологією виробництва.

Схема електропостачання є комплексом взаємозалежних елементів, тому розподіл її на зовнішню і внутрішню не завжди можливий, тим більше, що застосування сучасних систем електропостачання робить такий розподіл умовним. У залежності від багатьох факторів, що визначають схему електропостачання, вона може бути виконана в декількох варіантах. Головною задачею при її створенні є визначення оптимального варіанта. При виборі варіантів перевагу необхідно віддавати підвищеній напрузі, що забезпечує перспективу розвитку, і найпростішим схемам з мінімальною кількістю комутаційної та іншої апаратури.

Як правило, схеми електропостачання підприємств мають ступеневу побудову. Число ступіней залежить від потужності підприємства і характеру розміщення електричних навантажень на його території.

У більшості випадків застосовуються дві – три ступіні, тому що багатоступеневі схеми ускладнюють захист і експлуатацію.

На першій ступіні розподілу електроенергії (зовнішнє електропостачання) можуть застосовуватися дві системи:

- а) повітряні чи кабельні лінії напругою 35 – 220 кВ;
- б) жорсткі чи гнучкі токопроводи напругою 6, 10 і 35 кВ.

При цьому під першою ступінню розподілу енергії мається на увазі мережна ланка між джерелом живлення підприємства і підстанціями глибоких вводу (ПГВ), якщо розподіл виробляється при напрузі 35 – 220 кВ, або між головною знижувальною підстанцією (ГЗП) і високовольтним

розподільним пунктом (ВРП), якщо розподіл виробляється при напрузі 6 – 10 кВ.

Під другою ступінню розподілу енергії (внутрішнє високовольтне електропостачання) мається на увазі мережна ланка між ВРП чи розподільним пристроєм (РП) вторинної напруги ПГВ і трансформаторними підстанціями (ТП) чи ж окремими електроприймачами напругою 6 — 10 кВ: електродвигунами, перетворювачами тощо.

Під третьою ступінню розподілу енергії (внутрішнє низьковольтне електропостачання) мається на увазі мережна ланка між ТП і споживачами електроенергії напругою до 1000 В.

## **8. Схеми розподілу електроенергії.**

Схеми розподілу електроенергії на рівнях зовнішнього і внутрішнього електропостачання на сучасних підприємствах реалізують східчастий принцип побудови з однократною, двох- трьох- і більш кратною трансформацією напруги.

Електроустановку, через яку електроенергія надходить у ланку схеми з даною робочою напругою, будемо називати джерелом живлення (ДЖ), а електроустановку, що одержує електроенергію від цієї ланки,— приймачем (П). Джерелами живлення для першої ланки схеми електропостачання є приймальні пункти, на які електроенергія надходить від енергосистеми, а приймачами — споживачі електроенергії (знижувальні підстанції, двигуни, які працюють на напрузі, що підводиться від енергосистеми). Для другої ланки джерелами живлення є знижувальні підстанції, через які електроенергія надходить з першої в другу ланку, а приймачами — знижувальні підстанції, на яких виробляється подальше зниження напруги для подачі електроенергії в третю ланку, і двигуни, які працюють при напрузі другої ланки.

Схеми в окремих ланках системи електропостачання можуть бути радіальними, магістральними (з однобічним живленням, із двостороннім живленням і кільцевими) і змішаними.

Радіальними називають схеми, у яких відсутні відгалуження за довжиною живильної лінії (рис. 1). Радіальна система доцільна головним чином там, де маються великі зосереджені навантаження, розташовані в різних напрямках від джерела живлення. При різкозмінних навантаженнях, що викликають значні коливання напруги, застосування радіального живлення дозволяє зменшити їхній вплив на роботу інших електроприймачів. Радіальна система живлення має велику гнучкість і зручності в експлуатації, тому що ушкодження чи ремонт однієї лінії відбивається на роботі тільки одного споживача.

Магістральними називають схеми, у яких від однієї лінії живляться кілька споживачів, розташованих уздовж її протягу (рис. 2).

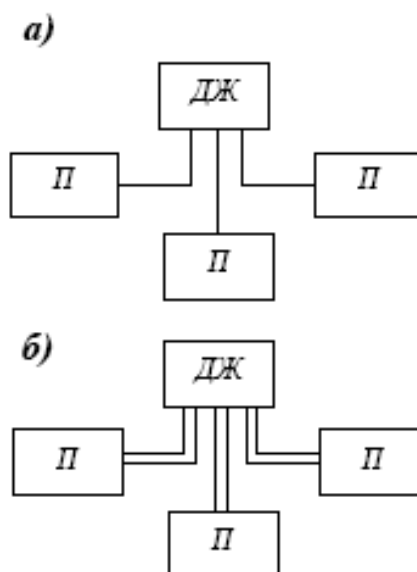


Рисунок - 1. Радіальні схеми розподілу електроенергії:  
а – одиночна; б – подвійна

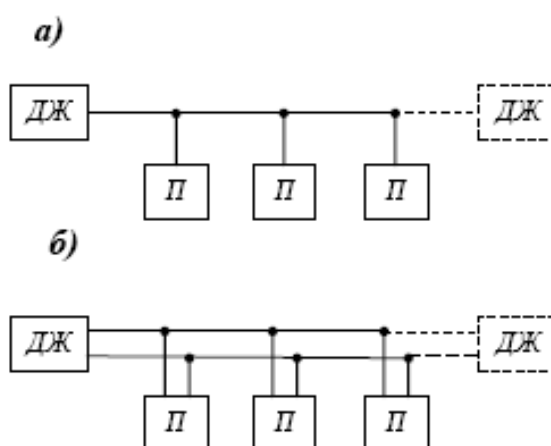


Рисунок - 2. Магістральні схеми розподілу електроенергії з глухими відпайками:  
а – одиночна; б – подвійна

Вибір тієї чи іншої схеми визначається територіальним розміщенням навантажень, їхніми величинами, необхідним ступенем надійності живлення та інших характерних рис підприємства.

У залежності від необхідного ступеня надійності електропостачання споживачів схеми виконують одиночними (див. рис. 1, а і 2, а) чи подвійними (див. рис. 1, б і 2, б). Одиночні схеми застосовують для живлення споживачів 3-ї категорії, а також споживачів 2-ї категорії, якщо припинення роботи останніх не зв'язано з порушенням нормального функціонування виробництва і не спричиняє значного економічного збитку. Для живлення споживачів 1-ї категорії, а також споживачів 2-ї категорії, припинення роботи яких зв'язано з порушенням нормального функціонування чи виробництва спричиняє значний економічний збиток, застосовують подвійні схеми.

Радіальні схеми (див. рис. 1.1) застосовують для подачі електроенергії до відособлених споживачів чи групи споживачів, розміщених осторонь від інших споживачів.

Магістральні схеми з однобічним живленням широко застосовують при розташуванні споживачів уздовж одного напрямку, для групи технологічно зв'язаних споживачів, а також у всіх випадках, коли вони мають техніко-економічні переваги в порівнянні з іншими схемами. При повітряних лініях застосовують в основному магістральні схеми з глухими відпайками (див. рис. 1.2). При кабельних лініях застосовують в основному ланцюжкові схеми з заводом магістральної лінії на розподільний пункт або до споживача (рис. 1.3).

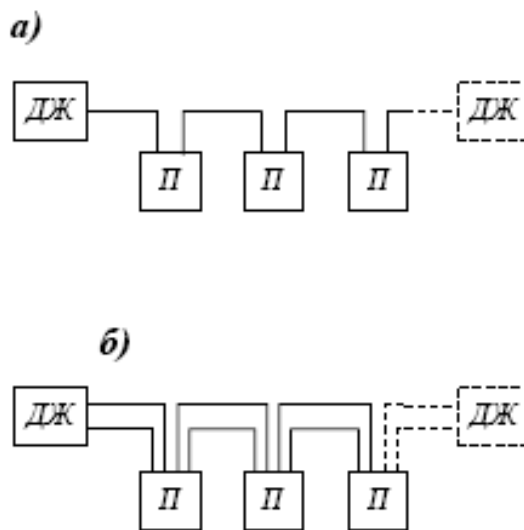


Рисунок - 3. Ланцюжкові магістральні схеми розподілу електроенергії:  
а – одиночна; б – подвійна

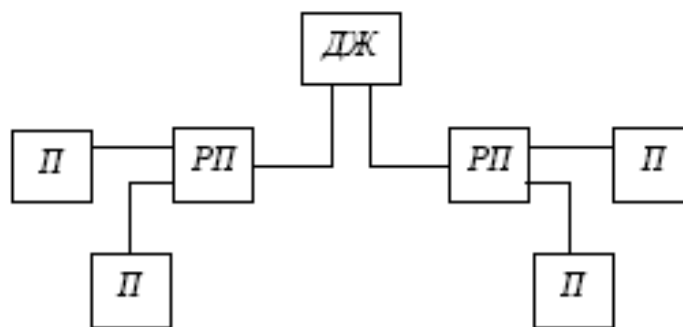


Рисунок - 4. Радіальна двоступенева схема розподілу електроенергії

Радіальні і магістральні схеми з однобічним живленням можуть виконуватися одноступеневими та двоступеневими (рис. 4). В останньому випадку на першій ступені електроенергія підводиться від джерела живлення до розподільних пунктів, а на другій - від розподільних пунктів безпосередньо до споживачів. При цьому в ряді випадків може виявитися доцільним сполучення радіальної схеми на першій ступені з магістральною на другій ступені (рис. 5) чи навпаки (рис. 6). На будь-якій ступені можливо



також живлення однієї частини споживачів за радіальною схемою, а іншої — за магістральною. Одноступеневі схеми застосовують, як правило, на малих підприємствах, а також для живлення великих зосереджених навантажень на середніх і великих підприємствах. Двоступеневі схеми застосовують для живлення через РП вилучених відособлених груп споживачів. Схеми з числом ступіней більш двох допускаються при розвитку підприємства у випадку їхньої техніко-економічної доцільності. Одиночні та подвійні магістралі з двостороннім живленням застосовують при необхідності живлення від двох незалежних джерел за умовами надійності електропостачання, а також у випадках, коли розташування групи споживачів між двома джерелами живлення створює економічні переваги незалежно від необхідної надійності живлення. На рис. 2 і 3 друге джерело живлення показане пунктиром.

Кільцеві магістралі, що є окремим випадком одиночної магістралі з двостороннім живленням, застосовують при такому розташуванні споживачів, яке робить доцільним охоплення їхньої однією кільцевою лінією (рис. 7).

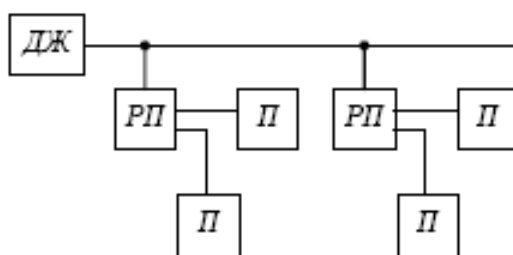


Рисунок - 5. Сполука радіальної схеми розподілу електроенергії на першому ступені з магістральною на другому ступені

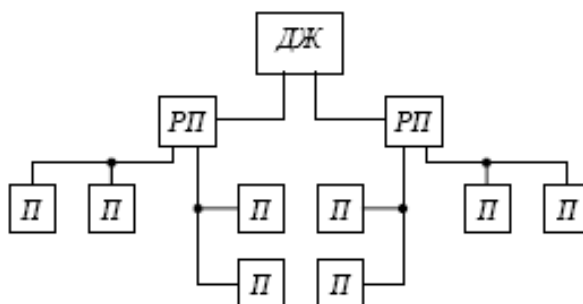


Рисунок - 6. Сполука магістральної схеми розподілу електроенергії на першому ступені з радіальною на другому ступені

Через складність виконання захисту магістральних ліній із двостороннім живленням і кільцевими лініями напругою до 10 кВ ці лінії в нормальному режимі працюють розімкнутими, тобто як магістральні лінії з однібічним живленням. Можливість двостороннього від'єднання будь-якої ділянки лінії при його ушкодженні та подачі електроенергії до всіх споживачів, які приєднані до неушкоджених ділянок, забезпечує підвищену

надійність електропостачання. У режимі двостороннього живлення магістральні лінії працюють тільки при напругах від 20 кВ і вище.

Звичайний розподіл електроенергії на промисловому підприємстві здійснюється не за тою чи іншою схемою в її чистому вигляді, а за змішаною схемою, складеною з окремих основних схем. Змішані схеми живлення, що сполучають принципи радіальних і магістральних систем розподілу енергії, знаходять найбільше застосування на великих підприємствах, що мають різні групи як за потужностями та характером графіка навантаження, так і за вимогами до надійності електропостачання.

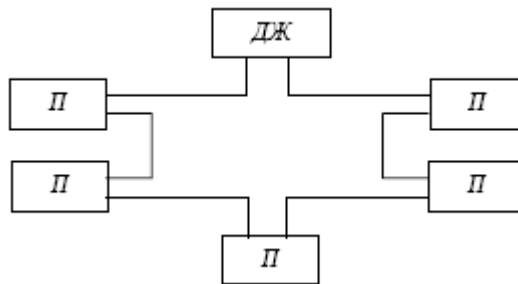


Рисунок - 7. Магістральна кільцева схема розподілу електроенергії

Усі три види схем мають багато різновидів і модифікацій по ступеню надійності живлення, і при правильному їхньому виборі кожна з них може бути застосована для живлення електроприймачів будь-якої категорії. Остаточний вибір типу схеми здійснюється на основі техніко-економічного порівняння варіантів.

## 9. Схеми зовнішнього електропостачання.

Як правило, зовнішнє електропостачання потужних енергоємних підприємств рекомендується виконувати за системою глибокого вводу з мінімальною кількістю ступенів трансформації, тобто за умови максимального наближення високої напруги до споживачів. Зовнішні схеми живлення підприємства можуть у загальному випадку виконуватися по радіальних або магістральних, повітряних або кабельних лініях напругою 6 - 220 кВ із живленням від вузлової розподільної підстанції (ВРП) або від підстанції електросистеми, або від власної ТЕЦ, або від декількох джерел живлення. Однак відзначимо, що на сучасних підприємствах навіть при наявності власної ТЕЦ основним джерелом живлення в більшості випадків є енергосистема.

Глибоким вводом називається система електропостачання з наближенням вищої напруги до електроустановок споживачів з найменшою кількістю ступіней проміжної трансформації й апаратів.

Глибокий ввід живильних ліній на території підприємств і відпайки від ліній системи, що проходять, стають основними способами живлення підприємств, при яких відбувається органічне злиття живильних мереж з розподільними мережами першого ступеню розподілу енергії. В даний час ця

прогресивна система міцно ввійшла в повсякденну практику. Під глибоким вводом тепер практично маються на увазі лінії напругою 35, 110, 150, 220 кВ, що проходять по території підприємства з відпайками від них до найбільш великих пунктів споживання енергії. Відбувається дроблення знижувальних підстанцій напругою 35 - 220 кВ і децентралізація (розосередження) прийому і розподілу електроенергії на першому ступені електропостачання.

Система глибокого вводу та дроблення підстанцій має наступні переваги: скорочуються розподільні мережі вторинної напруги 6 - 10кВ, що приводить до зменшення втрат електроенергії в них приблизно на 1,5 — 2,0% і скороченню витрат кольорових металів на 10 — 15%; підвищується надійність електропостачання в зв'язку з різким скороченням зони аварії та зменшенням ймовірності помилкових комутаційних переключень; зменшуються робочі струми і струми короткого замикання (КЗ) на вторинній напрузі, тому що потужність трансформаторів менше, ніж на великих головних знижувальних підстанціях (ГЗП). Це в ряді випадків дозволяє відмовитися від реактування та від громіздких дорогих вимикачів; полегшується задача регулювання напруги на розукрупнених ПГВ, тому що немає такої різниці в ступені різномірності і різновіддаленності споживачів, як на великих підстанціях напругою 110 - 220 кВ; істотно спрощується проблема розвитку електропостачання шляхом спорудження нових підстанцій у центрах знову виникаючих електронавантажень, не торкаючись діючих підстанцій і мереж; значно спрощується й стає дешевшим розвиток системи електропостачання чергами; спрощені підстанції напругою 35 - 220 кВ, що виконуються без вимикачів і без збірних шин на первинній напрузі, дають економію дорогих вимикачів, а також зменшення займаної площі, що дуже важливо в умовах стиснутої території підприємства.

Електричні мережі глибокого вводу виконують за двома схемами:

а) у вигляді магістральних повітряних ліній, що проходять в зоні основних навантажень і живлять декілька розукрупнених підстанцій напругою 35 - 220 кВ, що приєднуються до лінії за спрощеними схемами (рис. 8, а);

б) у вигляді радіальних кабельних чи повітряних ліній, що живлять розукрупнені підстанції напругою 35 - 220 кВ за схемою блоку лінія — трансформатор (рис. 8, б).

Магістральні глибокі вводи економічно доцільні та припустимі при нормальному чи мало забрудненому навколишньому середовищі та при можливості проходження повітряних ліній та розміщення підстанцій напругою 110 - 220 кВ на території підприємства біля відповідних груп електроприймачів. Магістральні схеми мають наступні недоліки: при ушкодженні будь-якого трансформатора відключаються короткочасно всі інші трансформатори, підключені до даної магістральної лінії, на час дії автоматики; іноді приходится прибігати до дворазового автоматичного повторного включення (АПВ), що ускладнює пристрій АПВ; ускладнюється захист і автоматика при наявності на вторинній напрузі (6 - 10 кВ) могутніх

синхронних електродвигунів, синхронних компенсаторів, зв'язків із ТЕЦ, що дають підживлення при замиканні в мережі первинної напруги.

Радіальні глибокі вводи, кабельні чи повітряні, переважно застосовуються при забрудненому навколишньому середовищі та відповідному розташуванні підстанцій. У ряді випадків застосування їх може виявитися доцільним і при нормальному середовищі. Кабельні радіальні вводи, крім того, доцільні при стиснутій території. Принциповою перевагою радіальних схем є простота, що підвищує надійність їхньої роботи, а також те, що аварії на живильній лінії або в трансформаторі не відбиваються на роботі інших підстанцій. Але застосування радіальних глибоких вводів може викликати подорожчання живильних ліній та апаратів на живильних підстанціях.

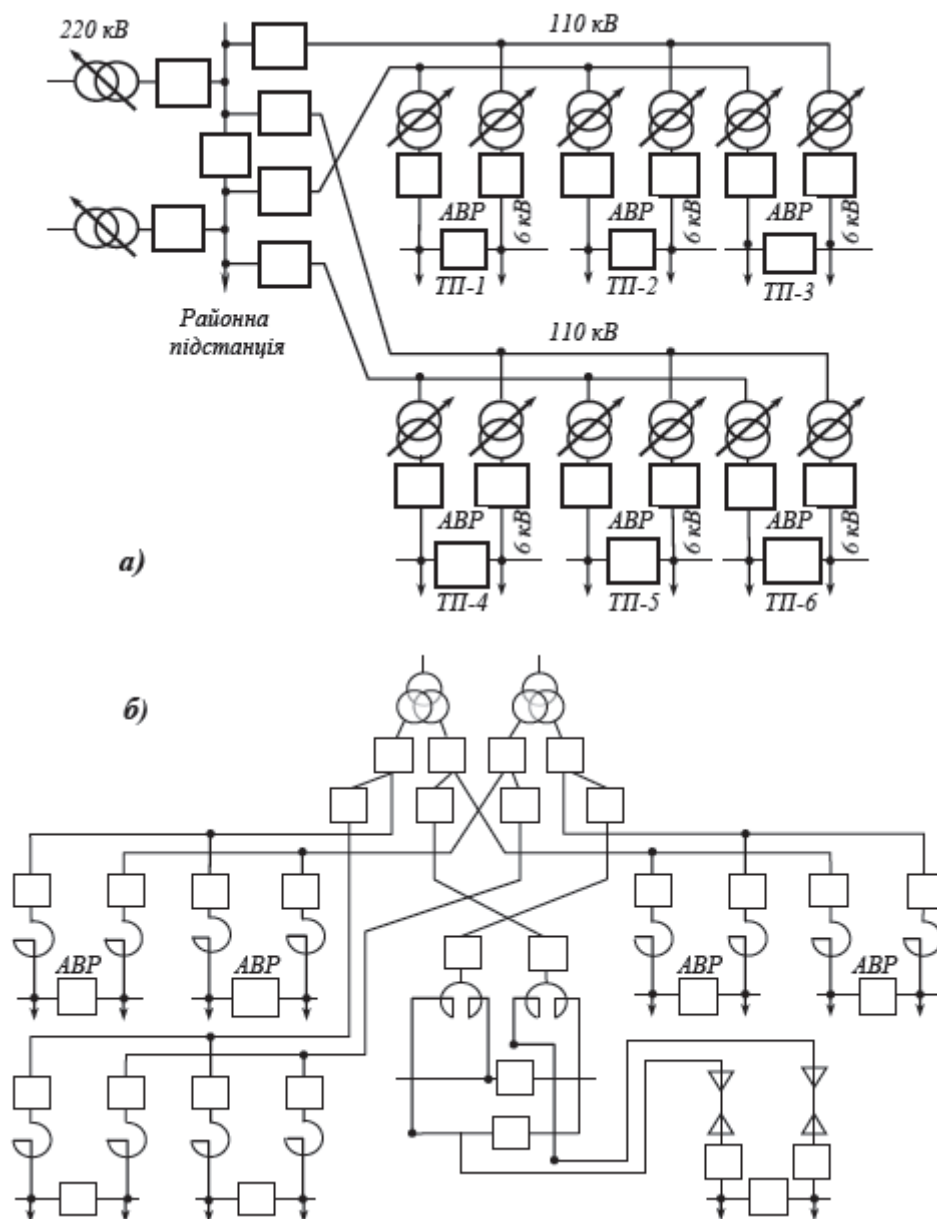


Рисунок - 8. Основні типи схем глибоких введень:

а – магістральна повітряна лінія електропередачі; б – змішана повітряна та кабельна

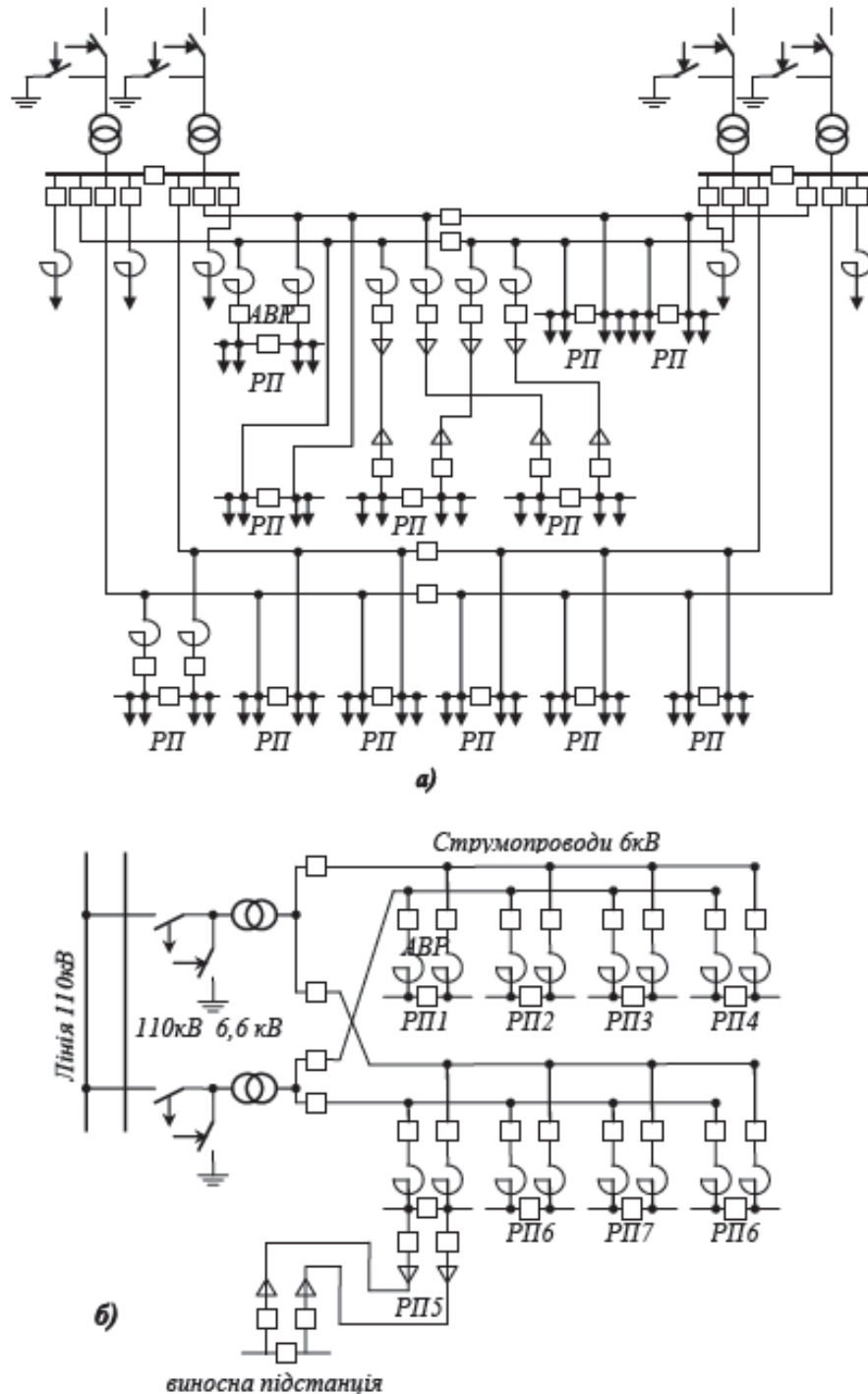


Рисунок - 9. Схеми електропостачання з потужними магістральними струмопроводами:

а - двонитковий струмопровід; б – блок трансформатор – струмопровід

Схема електропостачання зі застосуванням могутніх струмопроводів є другою прогресивною системою розподілу енергії на першому ступені. Її застосовують в основному при тривалому використанні максимуму навантажень, високих питомих густинах навантажень чи концентрованому розташуванні основних споживачів, сприятливому для здійснення магістрального живлення, тобто в тих випадках, коли число напрямків

основних потоків енергії мінімально. У більшості випадків застосовуються схеми з подвійними двонитковими магістральними струмопроводами (рис. 9, а), що необхідно як для збільшення їхньої пропускної здатності, так і для забезпечення надійного живлення споживачів. Якщо вся енергія розподіляється по токопроводам, то застосовують схему блоку трансформатор - токопровод без збірних шин на первинній і вторинній напругах (рис. 9, б).

Схеми з магістральними струмопроводами придатні для споживачів будь-якої категорії електроприймачів, тому що вони забезпечують надійність і безперебійність живлення. З метою підвищення економічності струмопроводів необхідно таке проходження їхньої траси, щоб забезпечувалося живлення від струмопроводов приблизно 70 -75% всіх електричних навантажень підприємства.

### **10. Схеми внутрішнього електропостачання.**

Внутрішнє електропостачання підприємств здійснюється з використанням тих же принципових схем живлення та з урахуванням тих же особливостей цих схем, що і зовнішнє електропостачання.

На другому ступіні електропостачання розподіл енергії роблять за радіальною, магістральною чи змішаною схемами в залежності від територіального розміщення навантажень, їхніх величин, необхідного ступеня надійності живлення та інших характерних рис проєктованого об'єкта. Схеми електропостачання на цьому ступіні, як і на першому, будуються відповідно до вимог, згаданих вище.

На третьому ступіні електропостачання розподіл енергії роблять так само, як і на другому, тобто за радіальною, магістральною чи змішаною схемою (рис. 10). Мережі напругою до 1000 В на підприємствах здійснюють розподіл електроенергії усередині об'єктів і безпосереднє живлення переважаючої більшості електроприймачів.

При виборі внутрішніх мереж першою умовою є необхідність забезпечення необхідного ступеня надійності електропостачання. Виходячи з цього, приймають рівну надійність живильної лінії зі всіма апаратами та електроприймача, що одержують живлення по цій лінії.

Тому уникають приймати живлення одного електродвигуна по двох заємно резервованих лініях.

При виборі мереж низької напруги, крім зазначеної умови, повинні враховуватися безпека, зручність експлуатації та гігієна виробництва з забезпеченням мінімуму капітальних витрат, щорічних експлуатаційних витрат, провідникових та інших матеріалів.

В даний час для живлення електроенергією великої кількості електроприймачів порівняно невеликої потужності широко використовуються шинні магістралі низької напруги. Застосування магістральних схем дозволяє відмовитися від громіздкого та дорогого розподільного пристрою чи щита низької напруги. У цьому випадку можливе

застосування схеми блоку трансформатор - магістраль, де як лінію використовують струмопроводи. Це поліпшує технічні показники електричних мереж, підвищує надійність, сприяє індустріальному виконанню електромонтажних робіт, зводить до мінімуму переробки мереж при можливих переплануваннях технологічного устаткування тощо. Такі мережі називають гнучкими чи універсальними. Застосовуються схеми з двома видами магістральних ліній: живильними і розподільними. Живильні чи головні магістралі підключаються до шин шаф ТП (рис. 10, а).

Розподільні магістралі, до яких безпосередньо підключаються електроприймачі, одержують живлення від головних живильних магістралей чи безпосередньо від шин ТП, якщо головні магістралі не застосовуються (рис. 10, б). До головних магістралей приєднується якнайменше індивідуальних електроприймачів, щоб забезпечити підвищену надійність усієї системи живлення.

Тролейні (контактні) лінії, призначені для живлення пересувних механізмів і піднімальних кранів, як правило, підключаються до головних живильних магістралей чи до шин ТП (див. рис. 10, а, б).

При магістральній схемі живлення резервування за низькою напругою здійснюється значно простіше і дешевше, ніж при радіальній схемі за допомогою кабельних перемичок. Воно виконується за допомогою змикання хвостових ділянок магістралей низької напруги від сусідніх підстанцій короткою перемичкою, що облаштована нормально розімкнутими роз'єднувачами. Перевага магістральних мереж, особливо виконаних струмопроводами, дозволяє рекомендувати їхнє застосування у всіх випадках, коли цьому не перешкоджають якінебудь місцеві умови. При цьому перевагу необхідно віддавати схемам блоків трансформатор - магістраль, по можливості без розподільних пристроїв низької напруги й без розподільних щитів.

Радіальна схема живлення безпосередньо потужних електроприймачів і окремих розподільних пунктів, від яких самостійними лініями живляться більш дрібні електроприймачі, показана на рис. 10, в. Ці схеми забезпечують високу надійність живлення окремих споживачів, тому що аварії локалізуються дією автоматичного вимикача ушкодженої лінії та не торкаються інші лінії. Радіальні схеми живильних мереж з розподільними щитами на підстанціях варто застосовувати тільки при живленні потужних електроприймачів і цехових силових розподільних пунктів, якщо застосуванню магістральних схем перешкоджають територіальне розташування навантажень, умови середовища чи техніко-економічні дані.

У чистому виді радіальні чи магістральні схеми застосовують рідко. Найбільше поширення на практиці знаходять змішані схеми.

На рис. 10, г показана схема магістрального живлення з взаємним резервуванням живлення окремих магістралей.

Така схема дозволяє виводити в ремонт чи у ревізію один із трансформаторів і одночасно забезпечує живлення окремих споживачів даної

магістралі. Схеми з взаємним резервуванням живлення магістралей або із двотрансформаторними підстанціями при радіальному

живленні (рис. 10, д) забезпечують можливість відключення незавантажених трансформаторів, що дозволяє зменшити втрати електроенергії за рахунок більш раціонального завантаження трансформаторів. Змішані схеми живлення дозволяють найбільш раціонально використовувати переваги як магістральних, так і радіальних схем.

При підземній розробці родовищ корисних копалин головну знижувальну підстанцію (ГЗП) чи центральний розподільний пункт (ЦРП) розташовують в безпосередній близькості від енергоємних приймачів.



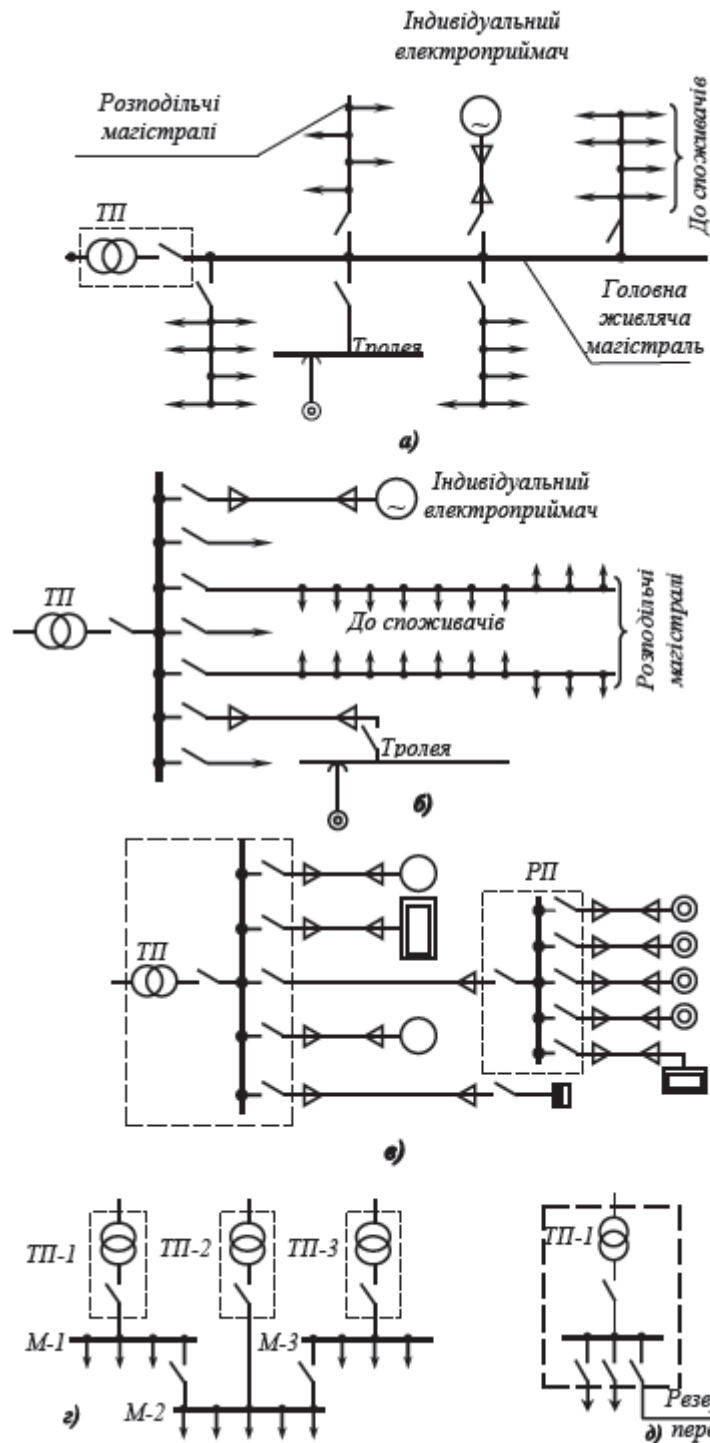


Рисунок - 10. Внутрішні схеми електропостачання напругою до 1000 В

### Контрольні питання

1. Що зветься системою електропостачання?
2. Яким вимогам повинна задовольняти система електропостачання?
3. Як здійснюється глибокий ввід?
4. Які схеми зовнішнього електропостачання можуть використовуватися для потужних підприємств?
5. Які існують джерела живлення для підприємств?

6. Які фактори впливають на вибір напруги зовнішнього електропостачання?
7. У чому суть розкрупнення ГПП?
8. Як можна реконструювати схему зовнішнього електропостачання при зростанні електричних навантажень?
9. У чому особливості вибору напруг живильних ліній?
10. За якими ознаками класифікуються споживачі?
11. Які основні типи електроприймачів застосовують на промислових підприємствах, їх характеристики?
12. У яких режимах можуть працювати споживачі електроенергії?