

Волинський національний університет імені Лесі Українки
Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

**Кафедра експериментальної фізики,
інформаційних та освітніх технологій**

Андрій Кевшин, Володимир Галян

СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Луцьк

2026

УДК 539.2
К-33

Рекомендовано до друку науково–методичною радою Волинського національного університету імені Лесі Українки (протокол № 6 від 48 лютого 2026 р.).

Рецензенти: *Шигорін П. П.* – канд. фіз.-мат. наук, доцент, кафедра теоретичної та комп’ютерної фізики імені А. В. Свідзинського, ВНУ імені Лесі Українки.

К-33 Кевшин А. Г., Галян В. В. **Споживачі електричної енергії** : конспект лекцій. Луцьк, 2026. 82 с.

Даний конспект лекцій – складова комплексу робочих матеріалів написаних на українській мові, створених для забезпечення якісної практичної підготовки фахівців вищої освіти різних спеціальностей, які обрали освітній компонент «Споживачі електричної енергії» як вибірккову дисципліну.

Навчально-методичне видання поєднує технічні, економічні, екологічні та соціальні аспекти споживання електроенергії, що робить його актуальним для широкого кола спеціальностей – від інженерних до екологічних, економічних і суспільних наук.

УДК 539.2
© Кевшин А. Г., Галян В. В., 2026
© Луцьк, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ЛЕКЦІЯ №1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ	6
1.1. Поняття та призначення електричних мереж.	6
1.2. Принципи функціонування електричних мереж.	7
1.3. Основні критерії класифікації електричних мереж.	8
ЛЕКЦІЯ №2. КЛАСИФІКАЦІЯ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	12
2.1. Загальна характеристика та критерії класифікації.	12
2.2. Класифікація за галузевою приналежністю та призначенням.	13
2.3. Класифікація за вимогами до надійності електропостачання.	14
2.4. Класифікація за характером споживання та режимами роботи.	15
ЛЕКЦІЯ №3. ПРИЙМАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МІСТ ТА НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ. РЕЖИМИ РОБОТИ СПОЖИВАЧІВ ЕЕ	17
3.1. Класифікація приймачів електроенергії в містах та населених пунктах.	17
3.2. Характеристики та параметри приймачів електроенергії.	18
3.3. Режими роботи споживачів електричної енергії	19
3.4. Вплив приймачів електроенергії на електричні мережі та якість електроенергії.	20
ЛЕКЦІЯ №4. РОЗПОДІЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ І ГРОМАДСЬКИХ СПОРУДАХ. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ БУДИНКІВ	22
4.1. Джерела електропостачання та вхід у будівлю: Забезпечення енергетичної незалежності та безпеки.	22
4.2. Внутрішній розподіл електроенергії.	24
4.3. Заземлення та нульовий захист.	25
ЛЕКЦІЯ №5. ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В УМОВАХ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. ОСНОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	27
5.1. Поняття енергоспоживання та енергозбереження.	27
5.2. Сучасний стан енергоспоживання в Україні та світі.	27
5.3. Принципи та методи енергозбереження.	28
5.4. Раціональне використання електроенергії як елемент екологічної та громадянської свідомості.	30
ЛЕКЦІЯ № 6. ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ЯК ПРИЙМАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	32
6.1. Загальна характеристика електричних машин як приймачів енергії.	32

6.2. Класифікація електричних машин за типом струму.	32
6.3. Особливості роботи електричних машин у режимі приймання енергії.	34
ЛЕКЦІЯ 7. ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ НАГРІВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ	36
7.1. Класифікація електроприймачів нагрівального призначення.	36
7.2. Принцип дії та будова основних видів нагрівальних елементів.	36
7.3. Технічні характеристики та параметри роботи електронагрівального обладнання.	38
ЛЕКЦІЯ 8. ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ ОСВІТЛЮВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ	40
8.1. Загальні відомості про приймачі електроосвітлювального устаткування та їхні параметри.	40
8.2. Монтаж електропроводки і освітлення.	41
ЛЕКЦІЯ №9. ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	48
9.1. Загальна характеристика та класифікація електроприймачів спеціального призначення.	48
9.2. Типи електроприймачів спеціального призначення та їх застосування.	49
9.3. Енергоспоживання електроприймачів спеціального призначення.	51
ЛЕКЦІЯ 10. СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	53
10.1. Особливості енергоспоживання у системах з відновлюваними джерелами.	53
10.2. Інтелектуальні системи керування споживанням.	54
10.3. Перспективи і виклики інтеграції споживачів в енергосистему майбутнього.	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57

Вступ

Світ, в якому ми живемо, неможливо уявити без електричної енергії. Вона є рушійною силою економіки, забезпечує комфорт у наших домівках і створює можливості для інновацій. Незалежно від вашої майбутньої професії – чи то інженерія, архітектура, ІТ, економіка, менеджмент, чи будь-яка інша сфера – розуміння того, як електрична енергія виробляється, розподіляється та, найголовніше, споживається, є не просто корисним, а життєво важливим.

Цей курс розроблений спеціально для здобувачів освіти різних спеціальностей, які обрали «Споживачі електричної енергії» як вибірковий освітній компонент. Він не вимагає глибоких знань з електротехніки, але надасть вам фундаментальне розуміння принципів функціонування електричних мереж, особливостей споживання різних типів пристроїв та основ раціонального використання енергії.

Метою цього курсу є формування у здобувачів освіти комплексного розуміння ролі споживачів в сучасній та майбутній енергетичній системі, а також надання практичних знань і навичок для ефективного та безпечного використання електричної енергії.

Після вивчення цього курсу студенти знатимуть:

- Основні принципи функціонування електричних мереж та їхнє призначення в енергосистемі.
- Критерії та класифікації споживачів електричної енергії за різними ознаками (галузева приналежність, призначення, вимоги до надійності, характер споживання).
- Особливості приймачів електроенергії в містах, населених пунктах, житлових будинках та громадських спорудах, а також їхній вплив на якість електроенергії.
- Принципи побудови внутрішніх електричних мереж будівель, включаючи питання заземлення та захисту.
- Поняття енергозбереження та раціонального використання електроенергії, а також сучасний стан цих питань в Україні та світі.
- Загальні характеристики та принципи роботи різних типів електроприймачів, таких як електричні машини, нагрівальне та освітлювальне обладнання, а також пристрої спеціального призначення.
- Особливості енергоспоживання в системах з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) та роль інтелектуальних систем керування споживанням (Smart Grid).
- Перспективи та ключові виклики інтеграції споживачів (зокрема, просьюмерів) в енергосистему майбутнього.

Після вивчення цього курсу студенти вмітимуть:

- Розрізняти різні категорії споживачів електричної енергії та розуміти їхні специфічні вимоги.

- Аналізувати базові схеми розподілу електроенергії у побутових та громадських будівлях.
- Визначати основні фактори, що впливають на якість електроенергії, та розуміти їхній вплив.
- Застосовувати принципи енергозбереження у повсякденному житті та майбутній професійній діяльності для раціонального використання електроенергії.
- Ідентифікувати різні типи електроприймачів та розуміти їхнє призначення та основні характеристики.
- Оцінювати роль та вплив споживачів на стабільність та ефективність енергетичної системи, зокрема в контексті ВДЕ та Smart Grid.
- Формулювати пропозиції щодо підвищення енергоефективності та зниження споживання електричної енергії на прикладі конкретних об'єктів.

ЛЕКЦІЯ №1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

1.1. Поняття та призначення електричних мереж.

Електричні мережі є складними інфраструктурними комплексами, призначеними для передачі та розподілу електричної енергії від виробників до кінцевих споживачів. Їхнє основне призначення полягає у забезпеченні надійного, безпечного та економічно ефективного постачання електроенергії для задоволення потреб промисловості, сільського господарства, транспорту, комунального господарства та населення.

Основними поняттями, що лежать в основі функціонування електричних мереж, є генерація, передача, розподіл та споживання електричної енергії. Генерація відбувається на електростанціях різного типу (теплові, гідроелектричні, атомні, вітрові, сонячні тощо), де первинні джерела енергії перетворюються на електричну. Отримана електрична енергія потім передається на значні відстані за допомогою високовольтних ліній електропередачі (ЛЕП). Висока напруга дозволяє зменшити втрати енергії під час передачі завдяки зниженню сили струму при незмінній потужності:

$$P=UI,$$

де P – потужність, U – напруга, I – сила струму. При меншому значенні I будуть менші втрати на нагрівання провідників, які пропорційні квадрату сили струму:

$$P_{\text{втрат}}=I^2R,$$

де R – опір провідника.

Після передачі високовольтна електроенергія надходить на підстанції, де її напруга знижується до середнього рівня для подальшого розподілу між окремими районами міст та населених пунктів (рис. 1.1). Далі, за допомогою розподільних мереж середньої та низької напруги, електроенергія доставляється безпосередньо до споживачів. Низьковольтні мережі забезпечують живлення житлових будинків, офісів, невеликих підприємств та інших об'єктів.

Важливими елементами електричних мереж є трансформатори, які використовуються для підвищення або зниження напруги; комутаційні апарати (вимикачі, роз'єднувачі), призначені для керування потоками електроенергії та захисту обладнання; пристрої захисту (реле, запобіжники), що забезпечують безпеку роботи мережі та запобігають виникненню аварійних ситуацій; а також лінії електропередачі різних класів напруги та конструкцій (повітряні та кабельні).

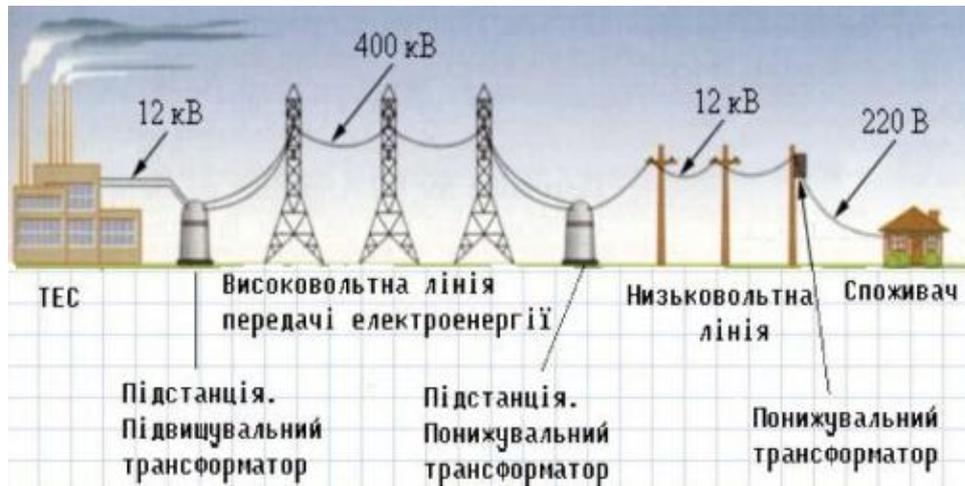


Рис. 1.1. Передача та розподіл електроенергії.

Сучасні електричні мережі все більше інтегруються з системами моніторингу та управління, що дозволяє підвищити їхню надійність, ефективність та керованість. Впровадження технологій Smart Grid (розумні мережі) сприяє оптимізації режимів роботи, інтеграції відновлюваних джерел енергії, активному управлінню попитом та покращенню якості електропостачання для споживачів.

Таким чином, електричні мережі є життєво важливою інфраструктурою, що забезпечує функціонування сучасного суспільства. Їхнє постійне вдосконалення та розвиток є ключовим фактором сталого економічного зростання та підвищення якості життя.

1.2. Принципи функціонування електричних мереж.

Принципи функціонування електричних мереж визначаються їх основним призначенням – забезпеченням безперервного, надійного та економічно доцільного передавання і розподілу електричної енергії від джерел її виробництва до споживачів із дотриманням необхідних технічних параметрів. Електричні мережі функціонують за комплексом фізичних, технічних та організаційних принципів, що дозволяють ефективно підтримувати роботу всієї енергосистеми.

1. *Принцип безперервності постачання електроенергії.* Один з головних принципів – забезпечення безперебійного електропостачання. Системи повинні бути сконструйовані таким чином, щоб навіть у разі виходу з ладу окремого елемента (лінії, трансформатора чи підстанції) постачання не припинялося або мало мінімальні перерви. Це досягається шляхом резервування, застосування кільцевих схем та автоматичних систем перемикання живлення.

2. *Принцип надійності.* Надійність електричної мережі – це її здатність зберігати функціональність в умовах зовнішніх або внутрішніх впливів: змін погодних умов, коротких

замикань, перевантажень, пошкоджень тощо. Для цього використовуються елементи захисту (автомати, реле, запобіжники), дублювання ключових вузлів і автоматизація процесів.

3. *Принцип енергетичної ефективності.* Мережі повинні передавати енергію з мінімальними втратами. Це досягається шляхом вибору оптимального рівня напруги (вища напруга – менші втрати), використання якісних провідників, сучасного обладнання, систем компенсації реактивної потужності тощо. Енергоефективність безпосередньо впливає на економіку споживання та тарифну політику.

4. *Принцип централізованого та децентралізованого управління.* Функціонування сучасних електричних мереж передбачає можливість централізованого диспетчерського керування (через енергетичні компанії та операторів системи передачі/розподілу), а також децентралізованих рішень – наприклад, автоматичне перемикання на резервне джерело живлення на місцевому рівні. Зростаючу роль відіграють інтелектуальні системи управління (Smart Grid).

5. *Принцип відповідності параметрам якості електроенергії.* Електричні мережі повинні забезпечувати подачу електроенергії з параметрами, що відповідають встановленим стандартам (наприклад, напруга в межах $\pm 10\%$ від номіналу, частота – 50 Гц з допустимим відхиленням $\pm 0,1$ Гц). Від цього залежить справність і довговічність електроприладів, а також стабільність роботи технологічного обладнання.

6. *Принцип масштабованості та гнучкості.* Електричні мережі повинні мати можливість розширення та модернізації без суттєвого впливу на загальну систему. Це особливо важливо в умовах розвитку відновлюваної енергетики, зростання споживання енергії, електрифікації транспорту тощо.

7. *Принцип інтеграції різних джерел енергії.* Сучасні мережі інтегрують як централізовані (теплові, атомні, гідроелектростанції), так і децентралізовані (сонячні, вітрові, біоенергетичні установки) джерела енергії. Мережа повинна бути готовою до приймання та балансування енергії з цих різномірних джерел, враховуючи їхню нестабільну генерацію.

8. *Принцип захисту та безпеки.* Усі елементи мережі мають бути обладнані засобами захисту від коротких замикань, перенапруг, перевантажень. Також важливою є електробезпека для персоналу та населення: заземлення, ізоляція провідників, захисне відключення тощо.

9. *Принцип балансування виробництва та споживання.* Оскільки електроенергію складно зберігати у великих масштабах, виробництво має відповідати поточному споживанню. Це досягається завдяки оперативному диспетчерському управлінню генерацією, накопичувачами енергії, маневреними потужностями та системами прогнозування.

10. *Принцип екологічної відповідальності.* Завдання енергетичних мереж – не лише передавання енергії, а й забезпечення сталого розвитку. Зниження втрат, впровадження

зеленої енергетики, зменшення викидів парникових газів – усе це включається у сучасне розуміння ефективної енергосистеми.

Таким чином, принципи функціонування електричних мереж відображають поєднання технічної складності, безпеки, економічності та відповідальності перед суспільством. Вони забезпечують стабільну роботу всієї енергетичної інфраструктури та сприяють її адаптації до викликів сучасного світу.

1.3. Основні критерії класифікації електричних мереж.

Енергетична система – це сукупність усіх ланок ланцюжка одержання, перетворення, розподілу і використання теплової й електричної енергії. Схематично енергетична система представлена на рис. 1.2.

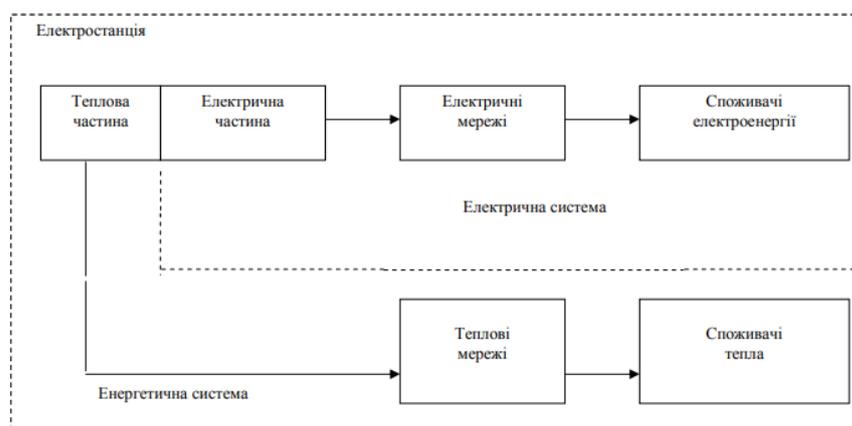


Рис. 1.2. Умовне позначення енергетичної й електричної систем

Електроенергетична або електрична система являє собою частину енергетичної системи. З її виключаються теплові мережі і теплові споживачі. Електроенергетична система (ЕЕС) – це сукупність електричних частин електростанцій, електричних мереж і споживачів електроенергії, зв'язаних спільністю режиму і безперервністю процесу виробництва, розподілу і споживання електроенергії.

Електрична мережа – це сукупність електроустановок для розподілу електричної енергії. Вона складається з підстанцій, розподільних пристроїв, повітряних і кабельних ліній електропередач.

Лінія електропередачі (ЛЕП) – це електроустановка, призначена для передачі електроенергії.

Електричні мережі характеризуються досить складною структурою та конфігурацією, мають різні номінальні напруги, різне призначення, охоплюють різну територію, мають різні за своїм характером споживачі електроенергії. За величиною номінальної напруги розрізняють

електричні мережі напругою до 1 кВ та вище 1кВ. Електричні мережі напругою вище 1 кВ можна умовно розділити на мережі середньої СН, високої ВН та надвисокої НВН напруги.

За розмірами території, що охоплюється, розрізняють місцеві електричні мережі напругою до 35 кВ, районні – напругою 110...220 кВ і регіональні – напругою 330 кВ і вище, що служать для зв'язку між собою окремих ЕЕС.

За характером споживачів розрізняють промислові, міські та сільськогосподарські мережі. Сільськогосподарські мережі характеризуються значною протяжністю та невисокою густиною навантаження. Промислові мережі мають незначну протяжність та більшу густину навантаження. Проміжне положення займають міські електричні мережі, що живлять комунально-побутових споживачів та промислові підприємства середньої та малої потужності.

За конфігурацією електричні мережі поділяються на розімкнені та замкнуті. У розімкнених мережах кожен споживач отримує живлення з одного боку, а у замкнутих не менше ніж з двох сторін.

За конструктивним виконанням електричні мережі діляться на повітряні, кабельні, струмопроводи та електропроводки. Повітряні лінії електропередач виконуються на весь спектр освоєних напруг, кабельні лінії – на напругу до 500 кВ включно.

За родом струму електричні мережі поділяються на мережі змінного та постійного струму. У більшості електричних мереж використовується змінний струм. Мережі постійного струму використовуються для деяких технологічних процесів у промисловості, зокрема, для електролізних та гальванічних установок кольорової металургії та хімічної промисловості.

Вироблення, передача та споживання електроенергії виконується при різних напругах: генерування – при напрузі до 30 кВ, передача – при напрузі 35 кВ та вище, споживання – при напрузі сотні та тисячі вольт.

Номінальною напругою елементів електричної мережі (електроприймачів, генераторів, трансформаторів) називається та напруга, на якій ці елементи мають найкращі технічні та економічні характеристики.

Передача електроенергії повітряною лінією електропередачі (ПЛ) здійснюється по проводах, які знаходяться на відкритому повітрі і підтримуються над землею на опорах за допомогою спеціальних кріплень (траверс), ізоляторів та інших пристроїв, що використовуються для кріплення, з'єднання та відгалуження проводів. Всі ці пристрої називають лінійною арматурою повітряних ліній електропередачі. Такі лінії класифікують за призначенням.

1) Надалекі ПЛ напругою 500 кВ і вище (призначені для зв'язку окремих енергосистем, рис. 1.3).



Рис. 1.3. Наддалека ПЛ напругою 500 кВ і вище.

2) Магістральні ПЛ напругою 220 та 330 кВ (призначені для передачі енергії від потужних електростанцій, а також для зв'язку енергосистем та об'єднання електростанцій усередині енергосистем – наприклад, з'єднують електростанції з розподільчими пунктами, рис. 1.4).

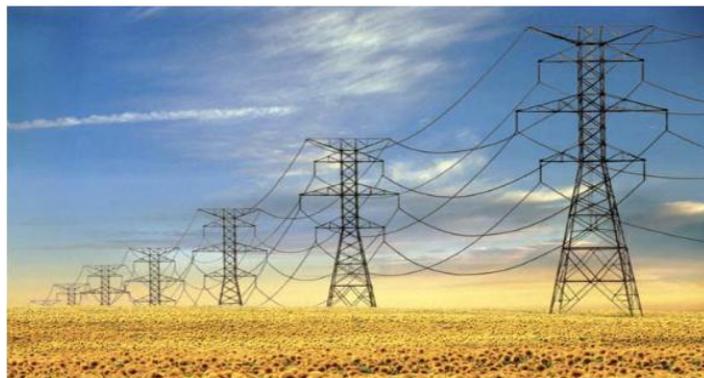


Рис. 1.4. Магістральні ПЛ напругою 220 та 330 кВ.

3) Розподільчі ПЛ напругою 35, 110 та 150 кВ (призначені для електропостачання підприємств та населених пунктів великих районів, рис. 1.5).



Рис. 1.5. Розподільчі ПЛ напругою 110 кВ.

- 4) 10 кВ і нижче, що підводять електроенергію до споживачів (рис. 1.6).



Рис. 1.6. ПЛ напругою 10 кВ.

На повітряних лініях змінного трифазного струму підвішують три проводи, що становлять одне коло, а на повітряних лініях постійного струму – два проводи.

Кабельні лінії прокладають там, де будівництво ПЛ неможливе через стиснуту територію, у зв'язку з умовами техніки безпеки, недоцільно за економічними, архітектурно-планувальними показниками та іншими вимогами. Кабельна лінія (КЛ) – лінія для передачі електроенергії, що складається з одного або декількох паралельних кабелів. Кабель складається з двох і більше струмопровідних жил, кожна жила має ізолюючий покрив, а всі жили загалом закриті зовнішньою ізолюючою оболонкою.

Силові кабелі напругою до 35 кВ включно виготовляють головним чином з ізоляцією із щільного паперу, просоченого спеціальною кабельною масою (компаундом). Застосовують також кабелі з гумовою та пластмасовою ізоляцією.

Найбільшого поширення мають кабельні лінії 6-10 кВ, рідше 35 кВ. Кабельні лінії 110 і 220 кВ не отримали поки широкого застосування, що в основному пояснюється значно більшою вартістю кабельних ліній порівняно з повітряними. Кабельні лінії 6-35 кВ у 2-3 рази дорожчі за повітряні, а кабельні лінії 110 кВ дорожчі за повітряні в 5-8 разів.

Контрольні запитання до лекції №1.

1. Яке основне призначення електричних мереж згідно з текстом і які галузі вони забезпечують електроенергією?
2. Назвіть чотири основні поняття, що лежать в основі функціонування електричних мереж, та коротко поясніть кожне.

3. Чому висока напруга використовується для передачі електроенергії на значні відстані, і як це пов'язано з втратами енергії? Наведіть відповідні формули з тексту.
4. Яку роль відіграють підстанції в процесі передачі та розподілу електроенергії?
5. Назвіть та опишіть три важливі елементи електричних мереж, крім ліній електропередачі.
6. Які технології впроваджуються в сучасні електричні мережі для підвищення їх надійності, ефективності та керованості?
7. Опишіть принцип безперервності постачання електроенергії та яким чином він досягається.
8. Як принцип енергетичної ефективності реалізується в електричних мережах, і який вплив він має на економіку споживання?
9. Назвіть п'ять основних критеріїв класифікації електричних мереж, згідно з текстом.
10. У чому основна відмінність між повітряними та кабельними лініями електропередачі з точки зору їх використання та вартості?

ЛЕКЦІЯ 2. КЛАСИФІКАЦІЯ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1. Загальна характеристика та критерії класифікації.

Споживач електричної енергії – це юридична або фізична особа, яка використовує електричну енергію для власних потреб на підставі договору з постачальником електричної енергії. Простіше кажучи, це будь-хто, хто підключений до електромережі та оплачує споживання електроенергії. До споживачів відносяться як промислові підприємства, так і домогосподарства, сільськогосподарські об'єкти, об'єкти соціальної сфери тощо.

Споживачі електричної енергії можуть бути класифіковані за різними критеріями, що відображають їхні унікальні потреби та характеристики споживання. Можна виділити наступні основні критерії класифікації.

1) За родом діяльності.

Промислові споживачі. Заводи, фабрики, гірничодобувні підприємства тощо. Характеризуються значними обсягами споживання, часто мають специфічні режими роботи (наприклад, позмінна робота).

Сільськогосподарські споживачі. Фермерські господарства, тваринницькі комплекси. Їхнє споживання може бути сезонним або залежним від технологічних процесів.

Побутові споживачі. Квартири, приватні будинки. Мають відносно невелике, але досить рівномірне добове споживання, з піками вранці та ввечері.

Комунально-побутові споживачі. Об'єкти соціальної сфери (школи, лікарні), магазини, офіси. Характеризуються різноманітними режимами споживання залежно від призначення.

Транспортні споживачі. Об'єкти залізничного, міського електричного транспорту (трамваї, тролейбуси).

2) За потужністю.

Дрібні споживачі. Переважно побутові та невеликі комерційні об'єкти з невеликою приєднаною потужністю.

Середні споживачі. Зазвичай це малі та середні підприємства, багатоквартирні будинки.

Великі споживачі. Промислові гіганти, великі торговельні центри, що потребують значних обсягів електричної енергії та мають велику приєднану потужність.

3) За характером навантаження (графіком споживання).

Рівномірні споживачі. Мають відносно стабільний графік споживання протягом доби.

Нерівномірні споживачі. Характеризуються значними коливаннями споживання, з яскраво вираженими піками та провалами. Це можуть бути, наприклад, підприємства з циклічним виробництвом.

Сезонні споживачі. Їхнє споживання суттєво змінюється залежно від пори року (наприклад, системи опалення або кондиціонування).

4) За вимогами до надійності електропостачання. Цей критерій є одним з найважливіших і визначає необхідність резервування та ступінь стійкості до перебоїв. Зазвичай виділяють три категорії надійності:

I категорія. Споживачі, перерва в електропостачанні яких може призвести до загрози життю людей, значної шкоди для виробництва, пошкодження дорогого обладнання, масового браку продукції, розладу складних технологічних процесів, порушення функціонування особливо важливих елементів міського господарства (наприклад, лікарні, системи водопостачання, зв'язку, диспетчерські пункти). Для них передбачається два незалежні джерела живлення, що взаємно резервують одне одного, та додаткове аварійне живлення.

II категорія. Споживачі, перерва в електропостачанні яких призводить до значних збитків, масового недовипуску продукції, простою робітників (наприклад, більшість промислових підприємств, великі торговельні центри). Для них передбачається два незалежні джерела живлення, причому одне з них може бути резервним.

III категорія. Всі інші споживачі, для яких перерви в електропостачанні не спричиняють таких серйозних наслідків (наприклад, побутові споживачі, невеликі офіси). Для них достатньо одного джерела живлення.

2.2. Класифікація за галузевою приналежністю та призначенням.

Класифікація споживачів електричної енергії за їх галузевою приналежністю та призначенням є ключовою для розуміння їхніх унікальних вимог до електропостачання та ефективного управління енергосистемою. Можна виділити наступні основні категорії.

1) Промислові споживачі.

Промислові споживачі – це великі підприємства, що використовують електроенергію для виробничих потреб. Ці споживачі потребують значних обсягів електроенергії для забезпечення безперебійної роботи обладнання. Споживання електроенергії тісно пов'язане з конкретними виробничими циклами та устаткуванням. При запуску потужних двигунів та машин виникають короткочасні, але дуже великі стрибки струму, що вимагає відповідної стійкості мережі.

2) Комунально-побутові (міські) споживачі.

Комунально-побутові (міські) споживачі охоплюють широкий спектр об'єктів у населених пунктах. Можна виділити наступні їхні особливості.

Нерівномірність навантаження протягом доби/тижня. Піки споживання спостерігаються вранці та ввечері, коли люди активно користуються побутовими приладами, а також у вихідні дні.

Освітлення. Значна частка споживання припадає на системи освітлення (як внутрішнього, так і зовнішнього).

Побутова техніка. Великий вплив мають численні побутові прилади (холодильники, телевізори, пральні машини, кондиціонери).

3) *Сільськогосподарські споживачі.*

Сільськогосподарські споживачі – це об'єкти, пов'язані з агропромисловим комплексом. Їхня специфіка включає наступне.

Сезонність. Споживання електроенергії може суттєво змінюватися залежно від пори року та сільськогосподарських робіт (наприклад, зрошення влітку, сушіння зерна восени).

Велика протяжність мереж. Об'єкти часто розташовані на значних відстанях один від одного, що вимагає протяжних ліній електропередач.

Розподіленість. Споживачі можуть бути розосереджені по великих територіях.

4) *Транспортні споживачі.*

Транспортні споживачі – це об'єкти, що забезпечують функціонування електричного транспорту та пов'язаної інфраструктури. Можна виділити наступні їхні особливості.

Електричний транспорт. Трамваї, тролейбуси, електропоїзди, електромобілі.

Зарядні станції. Інфраструктура для зарядки електромобілів.

Інфраструктура залізниць. Системи сигналізації, освітлення, опалення на вокзалах та інших об'єктах.

Метрополітен. Рухомий склад та інфраструктура станцій.

5) *Спеціальні споживачі.*

Спеціальні споживачі – це категорія об'єктів, для яких стабільність та якість електропостачання є критично важливими. Вони висувають високі вимоги до якості та надійності електроенергії. Перерви в постачанні або відхилення параметрів можуть мати катастрофічні наслідки.

Наприклад, медичні заклади (лікарні, операційні блоки, реанімації, де безперервне живлення є життєво необхідним), об'єкти критичної інфраструктури (системи водопостачання, каналізації, зв'язку, диспетчерські пункти, що забезпечують життєдіяльність міст і країни), об'єкти військового призначення та оборонної промисловості.

2.3. Класифікація за вимогами до надійності електропостачання.

Надійність електропостачання – це критично важливий аспект, який визначає безперебійність та стабільність роботи споживача. Залежно від потенційних наслідків перерви в електропостачанні, споживачів поділяють на три категорії, кожна з яких має свої особливості та вимоги до забезпечення безперервної подачі електроенергії.

Категорії надійності відображають ступінь критичності електропостачання для функціонування об'єкта та мінімізації ризиків, пов'язаних із відсутністю електрики.

I категорія надійності.

До I категорії належать об'єкти, перерва в електропостачанні яких може мати катастрофічні наслідки. Це означає, що відключення електроенергії загрожує життю та здоров'ю людей (наприклад, у медичних установах, де обладнання життєзабезпечення залежить від електрики), безпеці населення (розлад систем управління та сигналізації), значним економічним збиткам (пошкодження дорогого обладнання, зупинка складних безперервних технологічних процесів, що веде до масового браку продукції або виходу з ладу цілих ліній), порушенню функціонування особливо важливих елементів міського господарства та інфраструктури.

II категорія надійності.

До II категорії відносяться об'єкти, перерва в електропостачанні яких призводить до значних збитків, але не є критичною для життя та безпеки. Наслідки такого відключення можуть включати масовий недовипуск продукції (зниження обсягів виробництва), простій робітників (вимушені зупинки трудової діяльності), порушення нормальної діяльності значного числа споживачів (наприклад, зупинка роботи великих торгових центрів, банківських установ).

III категорія надійності.

До III категорії входять усі інші об'єкти, що не підпадають під I та II категорії. Для них перерва в електропостачанні не викликає серйозних наслідків, таких як загроза життю, значні матеріальні збитки або порушення критично важливих функцій.

Приклади: більшість побутових споживачів (приватні будинки, квартири), невеликі підприємства (магазини, офіси, майстерні, де відсутність електрики є незручністю, але не катастрофою), складські приміщення без особливих умов зберігання.

Забезпечення необхідного рівня надійності досягається різними технічними рішеннями, які пропорційні потенційним ризикам.

I категорія.

1) Два незалежні взаємно резервуючі джерела живлення. Об'єкт повинен бути підключений до двох окремих ліній електропередачі, які живляться від різних підстанцій або різних секцій шин однієї підстанції.

2) Пристрої автоматичного введення резерву (АВР). У разі зникнення напруги на одному джерелі живлення, АВР автоматично та практично миттєво перемикає споживача на резервне джерело.

3) Наявність власних автономних джерел живлення. Для особливо критичних об'єктів (наприклад, операційні, дата-центри) передбачаються дизельні або газові генератори, джерела безперебійного живлення (ДБЖ), які вмикаються автоматично або вручну у разі відмови основних зовнішніх джерел.

II категорія.

1) Два незалежні джерела живлення. Як правило, також підключення до двох ліній, але їхнє взаємне резервування може бути не настільки жорстким, як для I категорії. Можливе живлення від однієї підстанції, але від різних трансформаторів або розподільчих пристроїв.

2) Можливість використання АВР. Часто застосовується для прискореного відновлення електропостачання.

3) Резервування за рахунок ремонтно-оперативного персоналу. У разі відключення основного джерела, відновлення живлення може здійснюватися персоналом (перемикання вручну), що допускає невелику перерву в електропостачанні.

III категорія.

1) Одне джерело живлення. Для таких об'єктів достатньо одного приєднання до електричної мережі.

2) Відсутність спеціальних вимог до резервування. Перерви в електропостачанні (наприклад, під час ремонтних робіт або аварій) допускаються і можуть бути ліквідовані протягом часу, необхідного для ремонту пошкодженого обладнання.

2.4. Класифікація за характером споживання та режимами роботи.

Класифікація споживачів електричної енергії за характером споживання та режимами роботи є важливим етапом у проектуванні, експлуатації та оптимізації систем електропостачання. Такий підхід дозволяє краще зрозуміти, як саме споживачі взаємодіють з електричною мережею, і які технічні чи енергетичні наслідки це має для загальної стабільності системи.

Залежно від характеру споживання електроенергії, приймачі електроенергії поділяються на три основні групи: активні, індуктивні та ємнісні навантаження. Активне навантаження споживає лише активну потужність, яка безпосередньо перетворюється в корисну роботу (тепло, світло). До таких споживачів належать електронагрівальні прилади, електричні плити, праски, електрочайники, лампи розжарювання. Вони мають просту електричну схему й майже не впливають на якість електроенергії в мережі.

Індуктивне навантаження – це обладнання, яке, крім активної, споживає також реактивну потужність, необхідну для створення електромагнітного поля. Сюди належать електродвигуни, трансформатори, люмінесцентні світильники з дроселями. Такі навантаження можуть погіршувати коефіцієнт потужності в мережі, спричиняти перевантаження трансформаторів і підвищення втрат енергії. У практиці часто використовують компенсуючі пристрої (наприклад, батареї конденсаторів) для нейтралізації реактивної потужності.

Ємнісне навантаження зустрічається рідше й характерне для специфічного обладнання – переважно в системах зв'язку або в схемах живлення сучасної електроніки. Його особливість – протилежна до індуктивного вплив на фазове співвідношення струму та напруги.

Окрім характеру навантаження, споживачі класифікуються за режимами роботи, тобто за тривалістю, регулярністю та циклічністю використання електроенергії. Безперервний режим роботи властивий тим споживачам, які функціонують постійно, без зупинок упродовж доби або навіть тижнів. Наприклад, насоси систем водопостачання, холодильні установки, серверні кімнати. Такі системи потребують дуже надійного електропостачання й, зазвичай, резервного живлення.

Тривалий режим з перервами характерний для обладнання, яке працює кілька годин поспіль з технологічними зупинками – наприклад, верстати, вентиляційні установки в офісах. Таке навантаження передбачає періодичну зміну споживаної потужності й впливає на коливання графіка навантаження електромережі.

Короткочасний режим зустрічається у випадку обладнання, яке вмикається на кілька хвилин або навіть секунд. Це, наприклад, електрозварювальні апарати, мікрохвильові печі, пускові пристрої для двигунів. Особливістю таких приймачів є високий пусковий струм, що потребує врахування при розрахунках електричних мереж.

Циклічний або періодичний режим – це коли електроприймач працює за повторюваним алгоритмом: пуск, робота, зупинка, пауза. Прикладами є пральні машини, автоматизовані виробничі лінії, побутові автоматизовані прилади. Таке навантаження створює змінні умови для мережі, що також вимагає гнучкості в керуванні електропостачанням.

Загалом, правильне розуміння характеру споживання електроенергії та режимів роботи дозволяє підвищити енергоефективність, уникнути перевантажень мережі, зменшити втрати електроенергії та забезпечити стабільну роботу електроприймачів. Для енергетиків і проєктувальників це є основою для грамотного вибору перерізу проводів, захисту, розрахунку трансформаторних підстанцій і систем автоматичного керування.

Контрольні запитання до лекції №2.

1. Дайте визначення поняття «споживач електричної енергії».
2. Назвіть щонайменше три основні критерії класифікації споживачів електричної енергії.
3. Чим відрізняються промислові споживачі від комунально-побутових за характером навантажень? Наведіть приклади.
4. Які особливості споживання притаманні сільськогосподарським споживачам?
5. До якої категорії надійності електропостачання належать лікарні та метрополітен, і чому?
6. Опишіть, які технічні рішення передбачаються для забезпечення надійності електропостачання споживачів I категорії.
7. Які наслідки можуть виникнути для споживачів II категорії надійності у разі перерви електропостачання?
8. Чим характеризується рівномірний споживач за добовим графіком навантаження? Наведіть приклад.
9. У чому полягає відмінність між активним та індуктивним навантаженням? Які приклади приладів відносяться до активного навантаження?
10. Наведіть приклади обладнання, що працює в короткочасному режимі, та поясніть його особливість для електричної мережі.

ЛЕКЦІЯ 3. ПРИЙМАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МІСТ ТА НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ. РЕЖИМИ РОБОТИ СПОЖИВАЧІВ ЕЕ

3.1. Класифікація приймачів електроенергії в містах та населених пунктах.

Класифікація приймачів електроенергії в містах та населених пунктах є ключовим аспектом для ефективного планування, проектування та експлуатації електричних мереж. Приймачі електроенергії поділяються на кілька основних категорій, виходячи з їхніх характеристик споживання, режиму роботи та важливості для функціонування населеного пункту.

За характером споживання та призначенням.

Побутові споживачі. Це основна категорія, що включає житлові будинки (приватні, багатоквартирні), індивідуальні домогосподарства. Споживання електроенергії побутовими споживачами має яскраво виражений добовий та сезонний характер, з піками вранці та ввечері, а також збільшенням в опалювальний період.

Комунально-побутові споживачі. До цієї групи належать об'єкти соціальної інфраструктури, які забезпечують життєдіяльність міста: лікарні, школи, дитячі садки, магазини, заклади громадського харчування, адміністративні будівлі, об'єкти водопостачання та водовідведення (насосні станції, очисні споруди), зовнішнє освітлення. Їхнє споживання також може мати певні піки, але загалом є більш стабільним, ніж у побутових споживачів.

Промислові споживачі. У містах та населених пунктах можуть бути розташовані різні промислові підприємства (заводи, фабрики, майстерні). Їхнє споживання електроенергії залежить від технологічного процесу, режиму роботи (безперервний, змінний) та потужності обладнання. Промислові споживачі часто мають значні пускові струми та можуть генерувати вищі гармоніки.

Сільськогосподарські споживачі. У сільських населених пунктах значну частку можуть складати сільськогосподарські підприємства (ферми, тваринницькі комплекси, зерносховища, теплиці). Їхнє споживання електроенергії пов'язане з потребами виробничих процесів у сільському господарстві, що може мати сезонний характер.

Транспортні споживачі. Це об'єкти, що забезпечують функціонування міського та міжміського транспорту: електричні залізниці, трамвайні та троллейбусні депо, метрополітен, зарядні станції для електромобілів.

За надійністю електропостачання (категорії надійності).

Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), приймачі електроенергії поділяються на три категорії за надійністю електропостачання:

I категорія – критично важливі приймачі, відключення яких може спричинити загрозу життю людей, значні економічні збитки або зупинку важливих об'єктів (наприклад, операційні, пожежогасіння, диспетчерські служби). Забезпечуються двома незалежними джерелами живлення та резервом (генератори, акумулятори).

II категорія – приймачі, зупинка яких призводить до значних простоїв і збитків (наприклад, школи, магазини, житлові будинки з ліфтами, підприємства без безперервного циклу). Живляться від двох взаєморезервованих джерел.

III категорія – решта споживачів, для яких короткочасна перерва не має серйозних наслідків (наприклад, побутові прилади, під'їзне освітлення). Живлення допускається від одного джерела з подальшим відновленням електропостачання за потреби.

За режимом роботи.

Безперервно працюючі. Споживачі, які потребують постійного електропостачання (наприклад, системи життєзабезпечення лікарень, насосні станції, що працюють цілодобово).

Сезонні. Споживачі, що працюють лише в певні пори року (наприклад, системи зрошення, теплиці).

Періодичні. Споживачі, що включаються за потребою або за певним графіком (наприклад, вуличне освітлення, ліфти).

За характером навантаження.

Активне навантаження. Споживачі, які перетворюють електричну енергію переважно в теплову (нагрівальні прилади, лампи розжарювання).

Реактивне навантаження. Споживачі, які створюють реактивну потужність (електродвигуни, люмінесцентні лампи, трансформатори).

Правильна класифікація приймачів електроенергії дозволяє оптимально спроектувати електричні мережі, вибрати відповідне обладнання, забезпечити необхідний рівень надійності та безпеки, а також ефективно керувати споживанням електроенергії в містах та населених пунктах.

3.2. Характеристики та параметри приймачів електроенергії.

Характеристики та параметри приймачів електроенергії є фундаментальними для коректного проектування, експлуатації та оптимізації систем електропостачання. Вони дозволяють визначити потреби споживачів, правильно розрахувати навантаження, обрати необхідне обладнання та забезпечити стабільну роботу мережі.

Розглянемо основні характеристики приймачів електроенергії.

1) *Номинальна потужність ($P_{ном}$)*. Це потужність, на яку розрахований приймач електроенергії при номінальних значеннях напруги та частоти. Вона вказується в паспортних даних пристрою і може бути активною (Вт), реактивною (вар) або повною (ВА).

2) *Номинальна напруга ($U_{ном}$)*. Напруга, при якій приймач електроенергії розрахований на нормальну роботу. В Україні для більшості побутових споживачів це 220 В для однофазних мереж та 380 В для трифазних. Промислові споживачі можуть використовувати вищі напруги (6 кВ, 10 кВ тощо). З 1 липня 2025 року Україна переходить на новий стандарт напруги в електромережах. Замість поточних 220/380 В офіційно запроваджується європейський стандарт 230/400 В.

3) *Номинальний струм ($I_{ном}$)*. Струм, який споживає приймач електроенергії при номінальному навантаженні та напрузі.

4) Частота (f). В Україні стандартна частота змінного струму становить 50 Гц. Деякі спеціалізовані приймачі можуть працювати на інших частотах, що вимагає використання перетворювачів.

5) *Режим роботи*. Визначає тривалість і характер споживання електроенергії:

- безперервний – приймач працює постійно (наприклад, насоси, системи вентиляції);
- короткочасний – приймач працює протягом невеликого проміжку часу з подальшою перервою (наприклад, зварювальні апарати);
- повторно-короткочасний – циклічна робота з періодичним включенням та виключенням (наприклад, крани, ліфти);
- змінний (переривчастий) – характеризується періодами роботи та простою, що залежать від технологічного процесу (більшість виробничих ліній).

Розглянемо важливі параметри та коефіцієнти, що характеризують приймачі електроенергії:

1) Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ – це відношення активної потужності (P) до повної потужності (S):

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}.$$

Він характеризує ефективність використання електроенергії. Чим ближче $\cos \varphi$ до 1, тим менші втрати в мережі та ефективніше використовується обладнання. Низький $\cos \varphi$ (характерний для споживачів з великою кількістю індуктивного навантаження, таких як електродвигуни без компенсації реактивної потужності) призводить до збільшення струмів в мережі, додаткових втрат та необхідності збільшення перерізу провідників і потужності трансформаторів.

2) Коефіцієнт використання $K_{\text{викор}}$ – це відношення фактично спожитої активної енергії за певний період до енергії, яка могла б бути спожита при безперервній роботі приймача на номінальній потужності протягом того ж періоду:

$$K_{\text{викор}} = \frac{P_{\text{сер}}}{P_{\text{ном}}},$$

де $P_{\text{сер}}$ – середня активна потужність за період. Цей коефіцієнт показує, наскільки завантажений приймач електроенергії.

3) Коефіцієнт попиту $K_{\text{поп}}$ – це відношення максимальної активної потужності приймача (або групи приймачів) за певний період (зазвичай півгодинний максимум) до номінальної потужності:

$$K_{\text{поп}} = \frac{P_{\text{макс}}}{P_{\text{ном}}}.$$

Він використовується для визначення розрахункових навантажень в електричних мережах та вибору обладнання. Коефіцієнт попиту завжди менше або дорівнює одиниці.

4) Коефіцієнт одночасності $K_{\text{одн}}$. Використовується для груп приймачів і є відношенням суми максимальних навантажень окремих приймачів, що виникають одночасно, до суми їх номінальних потужностей:

$$K_{\text{одн}} = \frac{\sum P_{\text{макс.одн}}}{\sum P_{\text{ном}}}.$$

Цей коефіцієнт враховує, що не всі приймачі працюють на повну потужність одночасно.

5) Коефіцієнт максимуму $K_{\text{макс}}$ характеризується відношенням максимального навантаження приймача (групи приймачів) до середньодобового (або середньозмінного) навантаження за певний період:

$$K_{\text{макс}} = \frac{P_{\text{макс}}}{P_{\text{сер}}}.$$

Він показує нерівномірність навантаження.

6) Графіки навантаження – це тимчасові залежності споживаної активної та реактивної потужності (добові, тижневі, річні). Вони відображають коливання споживання електроенергії протягом певного періоду і є критично важливими для прогнозування навантажень, планування роботи енергосистеми та оптимізації її режимів.

Розуміння цих характеристик та параметрів дозволяє енергетикам точно розраховувати необхідну потужність трансформаторів та переріз кабелів, проектувати ефективні системи компенсації реактивної потужності, оцінювати втрати електроенергії в мережах.

3.3. Режими роботи споживачів електричної енергії.

Режими роботи споживачів електричної енергії – це спосіб функціонування електроприймачів у часі, що визначає характер їх навантаження на електричну мережу. Розуміння режимів роботи є надзвичайно важливим для ефективного планування, проєктування та експлуатації систем електропостачання, а також для забезпечення енергетичної безпеки та стабільності мережі.

Усі споживачі електроенергії працюють у певному графіку навантаження, який описує зміну потужності споживання протягом доби, тижня або року. Залежно від характеру цього графіка, розрізняють кілька основних режимів роботи:

1. Безперервний режим роботи – характерний для споживачів, які працюють постійно або тривалий час без зупинок, наприклад: холодильники, системи освітлення вулиць, вентиляційні установки, виробничі лінії на заводах. Для таких споживачів важлива стабільність електроживлення та висока надійність мереж.

2. Тривалий періодичний режим – електроприймачі працюють з певними перервами, але загальна тривалість увімкнення є значною. До таких можна віднести офісну техніку, навчальні заклади, де обладнання працює за робочим графіком.

3. Короткочасний або повторно-короткочасний режим – пристрої працюють упродовж коротких інтервалів часу з тривалими паузами або з частими ввімкненнями та вимкненнями. Це, наприклад, електроінструменти, підйомники, деяке медичне обладнання. У таких випадках важливо враховувати пускові струми та теплове навантаження.

4. Піковий режим – споживання електроенергії значно зростає в окремі години доби (наприклад, зранку та ввечері в житловому секторі або в години роботи підприємств). У ці періоди мережа зазнає найбільшого навантаження, і потрібні спеціальні заходи балансування.

5. Сезонний режим – характерний для електроприймачів, що працюють лише в певні пори року: системи опалення, кондиціонери, аграрне обладнання. Такі споживачі створюють додаткові навантаження на мережу в зимовий або літній періоди.

Знання режимів роботи споживачів дозволяє оптимізувати розподіл електроенергії; уникати перевантаження мережі; визначати необхідну потужність трансформаторів і захисного обладнання; планувати енергозберігаючі заходи.

У сучасних умовах дедалі більшої актуальності набувають автоматизовані системи обліку та управління навантаженнями, які дозволяють гнучко реагувати на зміну режимів споживання та оптимізувати використання ресурсів. Таким чином, правильне розуміння

режимів роботи споживачів є основою для енергоефективної та надійної роботи всієї електричної інфраструктури.

3.4. Вплив приймачів електроенергії на електричні мережі та якість електроенергії.

Приймачі електроенергії не просто споживають електрику, вони активно взаємодіють з електричною мережею, впливаючи на її роботу та якість електроенергії. Цей вплив може бути як запланованим, так і небажаним, і його розуміння є критично важливим для стабільності та ефективності енергосистеми.

Кожен приймач, незалежно від його типу, створює певне навантаження на мережу. Це навантаження визначається не лише активною потужністю (яка виконує корисну роботу), а й реактивною потужністю, що потрібна для створення електромагнітних полів у індуктивних (двигуни, трансформатори) та ємнісних (конденсатори, кабельні лінії) приймачах. Розглянемо основні аспекти такого впливу.

1) Навантаження та струми. Чим більша сукупна потужність приймачів, тим більші струми протікають по лініях електропередачі та трансформаторах. Це вимагає використання провідників більшого перерізу та потужнішого обладнання. Недовантаження або перевантаження мережі може призвести до неефективності або аварій.

2) Втрати електроенергії. Зі зростанням струмів у мережі збільшуються омичні втрати (I^2R), що розсіюються у вигляді тепла в провідниках. Це означає, що частина виробленої електроенергії не доходить до споживача, а просто «гріє» повітря, знижуючи ККД системи. Наявність реактивної потужності також збільшує ці втрати, оскільки призводить до зростання повного струму в мережі.

3) Зміна напруги. Кожен приймач, вмикаючись або вимикаючись, викликає зміну напруги в точці підключення. Особливо це стосується потужних приймачів з великими пусковими струмами (наприклад, асинхронні двигуни), які можуть спричиняти значні просідання напруги в мережі. Це може негативно впливати на роботу інших пристроїв.

4) Стійкість та стійкість системи. Велика кількість потужних приймачів, особливо з різкими змінами навантаження, може впливати на динамічну стійкість енергосистеми, роблячи її більш чутливою до збурень та потенційних відключень.

Якість електроенергії – це ступінь відповідності її параметрів (напруга, частота, форма кривої) встановленим стандартам. Приймачі електроенергії можуть значно погіршувати ці показники.

Відхилення напруги. Як згадувалося, пускові струми або значні зміни навантаження призводять до відхилень напруги від номінального значення. Постійне зниження напруги

може спричинити перегрів двигунів та неефективну роботу пристроїв, а її підвищення – до прискореного старіння ізоляції та виходу обладнання з ладу.

Коливання напруги та флікер. Приймачі з циклічно змінним навантаженням (наприклад, зварювальні апарати, дугові печі, компресори) можуть спричинити швидкі та часті зміни напруги, відомі як коливання напруги. Якщо ці коливання знаходяться в певному діапазоні частот, вони можуть викликати у людей зорове відчуття мерехтіння світла, що називається флікером.

Несинусоїдальність напруги та струму (гармоніки). Сучасні приймачі електроенергії, особливо з електронним керуванням (інвертори, імпульсні блоки живлення, комп'ютери, світлодіодне освітлення, джерела безперебійного живлення), є нелінійними навантаженнями. Вони споживають струм не синусоїдальної форми, а зі спотвореною кривою, яка містить вищі гармоніки. Ці гармоніки струму, протікаючи через опір мережі, створюють гармоніки напруги, що призводить до додаткових втрат у трансформаторах та лініях; перевантаження нейтрального провідника у трифазних системах; помилкових спрацювань захисних пристроїв; збоїв у роботі чутливого електронного обладнання; прискореного старіння ізоляції та перегріву обладнання.

Несиметрія напруг. У трифазних мережах наявність великих однофазних навантажень або нерівномірний розподіл навантажень по фазах може призвести до несиметрії напруг. Це негативно впливає на роботу трифазних двигунів (знижує ККД, спричиняє перегрів), може викликати вібрації та скорочувати термін служби обладнання.

Зміна частоти. Хоча в сучасних енергосистемах частота є досить стабільним параметром, потужні приймачі, особливо ті, що мають власні генератори або складні системи керування, теоретично можуть впливати на частоту при значних відхиленнях у балансі потужності.

Для мінімізації негативного впливу приймачів електроенергії застосовуються різні технічні рішення: компенсація реактивної потужності (конденсаторні установки), фільтри гармонік, балансування навантажень по фазах, а також дотримання норм якості електроенергії, визначених відповідними стандартами (наприклад, ДСТУ EN 50160). Ефективне управління взаємодією між приймачами та мережею є запорукою надійності та економічності електропостачання.

Контрольні запитання до лекції №3.

1. Які основні критерії використовуються для класифікації приймачів електроенергії в містах та населених пунктах?
2. Наведіть приклади споживачів, що належать до I категорії надійності електропостачання, та поясніть, які вимоги до живлення для них висуваються.
3. Опишіть відмінності в добовому графіку споживання електроенергії між побутовими та комунально-побутовими споживачами.
4. Які характеристики відносяться до основних характеристик приймачів електроенергії, і яку інформацію про пристрій вони надають?
5. Поясніть, що таке коефіцієнт потужності, та чому його низьке значення є небажаним для електричної мережі.
6. Наведіть приклади приймачів, що працюють у повторно-короткочасному режимі, і які особливості цього режиму роботи слід враховувати?
7. Які наслідки для електричної мережі та обладнання можуть мати вищі гармоніки, що генеруються нелінійними навантаженнями?
8. Що таке флікер, і які типи приймачів електроенергії можуть його спричиняти?
9. Які заходи застосовуються для мінімізації негативного впливу приймачів електроенергії на електричні мережі та якість електроенергії?
10. Як змінився стандарт напруги в електромережах України з 1 липня 2025 року, і який стандарт буде запроваджено?

ЛЕКЦІЯ 4. РОЗПОДІЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ І ГРОМАДСЬКИХ СПОРУДАХ. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ БУДИНКІВ

4.1. Джерела електропостачання та вхід у будівлю: Забезпечення енергетичної незалежності та безпеки.

Забезпечення надійного та безперебійного електропостачання є критично важливим для функціонування будь-якої будівлі, будь то житловий будинок, офісний центр чи промислове підприємство. Цей процес охоплює як вибір основних джерел живлення, так і правильну організацію підключення до зовнішньої мережі, а також встановлення пристроїв обліку та захисту.

Електрична енергія може надходити до будівлі з декількох джерел, кожне з яких має свої особливості та призначення.

Централізовані електричні мережі є основним і найпоширенішим способом електропостачання. Енергія генерується на великих електростанціях, передається через розгалужену систему високовольтних ліній електропередачі до трансформаторних підстанцій, де її напруга знижується до необхідного для споживачів рівня (зазвичай 0.4 кВ). Перевагами такого постачання є висока надійність, відсутність необхідності в самостійному обслуговуванні джерела, відносно низька вартість електроенергії. До недоліків можна віднести залежність від зовнішніх факторів (аварії, планові відключення, погодні умови), можливі перепади напруги.

Резервні генератори слугують автономним джерелом електроенергії, забезпечуючи живлення будівлі у випадку відключення основної централізованої мережі. Вони є незамінними для об'єктів критичної інфраструктури, медичних закладів, великих офісних центрів та приватних будинків, де важлива безперебійність електропостачання.

Є наступні типи генераторів (рис. 4.1): бензинові (менш потужні, легші, підходять для невеликих навантажень та короткочасного використання), дизельні (більш потужні, економічніші при тривалій роботі, мають довший ресурс, але дорожчі у придбанні), газові (працюють на природному або скрапленому газі, є більш екологічними, але потребують підключення до газової мережі).



Рис. 4.1. Різні типи генераторів: а) бензиновий; б) дизельний; в) газовий.

При зникненні напруги в основній мережі, система автоматичного введення резерву (АВР) автоматично запускає генератор і перемикає навантаження на нього. Після відновлення основного живлення, АВР перемикає навантаження назад і вимикає генератор.

Для безпечного та ефективного функціонування електричної системи будівлі необхідні спеціальні пристрої для обліку спожитої енергії та захисту від аварійних ситуацій.

Вводно-розподільчі пристрої (ВРП) (рис. 4.2) є першою точкою введення електроенергії в будівлю. Вони призначені для прийому, обліку, розподілу електричної енергії, а також захисту електричних мереж від перевантажень та коротких замикань.

Розрізняють наступні основні компоненти ВРП: ввідний автоматичний вимикач (швидко відключає електроенергію при перевантаженнях або коротких замиканнях); пристрої захисного відключення (ПЗВ) або диференційні автомати (АД) (захищають людей від ураження електричним струмом при витокі струму на землю та запобігають пожежам через пошкодження ізоляції); шини та клеми (для розподілу та підключення кабелів); корпус (забезпечує механічний захист елементів).



Рис. 2. Вводно-розподільчий пристрій.

Лічильники електроенергії – це прилади, які використовуються для обліку спожитої електроенергії. Вони встановлюються після ввідного автоматичного вимикача і є обов'язковим елементом системи електропостачання.

Є наступні типи лічильників електричної енергії: індукційні або механічні (традиційні, з обертовим диском) та електронні або цифрові (сучасніші, більш точні, можуть мати додаткові функції: багатотарифний облік, передача даних) (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Лічильники електричної енергії: а) індукційний; б) електричний

Крім ввідного автомата, в електричній мережі будівлі встановлюються інші автоматичні вимикачі (диференційні автомати, АД) меншого номіналу для захисту окремих груп споживачів (розетки, освітлення, потужні прилади) (рис. 4.4). Це дозволяє при відключенні однієї групи не знеструмувати всю будівлю.



Рис. 4.4. Диференційний автомат Schneider RESI9 R9D25625 6kA 25 A 30 mA 1P+N

АС

Підключення будівлі до зовнішньої електричної мережі є відповідальним етапом, який має відповідати нормативним вимогам та забезпечувати безпеку.

Повітряний ввід – традиційний спосіб, при якому електричні проводи прокладаються по повітрю від найближчої опори лінії електропередач до будівлі. Перевагами такого підключення є відносно простіший та дешевший у монтажі, легший у діагностиці пошкоджень, а недоліками – вразливість до погодних умов (сильний вітер, обмерзання, падіння дерев), естетичний аспект (дроти можуть псувати зовнішній вигляд), ризик обриву проводів. При такому підключенні проводи кріпляться до ізоляторів на стіні або на спеціальній трубостойці. Використовуються самонесучі ізольовані проводи (СП) для підвищення надійності.

Кабельний ввід підключення передбачає прокладку електричного кабелю під землею від найближчої трансформаторної підстанції або опори до будівлі. Перевагами такого підключення є більш естетичний вигляд (кабелі приховані), менша вразливість до погодних умов та механічних пошкоджень, підвищена безпека. Серед недоліків можна виділити складніший та дорожчий у монтажі (потребує земляних робіт, використання спеціальних труб для захисту кабелю), складніший у діагностиці пошкоджень. При такому підключенні кабель прокладається в траншеї на певній глибині, захищеній від пошкоджень. Ввід кабелю в будівлю здійснюється через спеціальні гільзи або патрубки для герметичності.

4.2. Внутрішній розподіл електроенергії.

Внутрішній розподіл електроенергії – це система, яка забезпечує постачання електроенергії до всіх споживачів всередині будівлі (житлової, адміністративної, виробничої тощо). Іншими словами, це все те, що відбувається після вводу електроенергії у будівлю, аж до розеток, лампочок і електроприладів.

Розглянемо основні етапи та компоненти внутрішнього розподілу електроенергії.

1) *Ввідний пристрій або головний розподільчий щит (ВРП/ГРЩ)* (рис. 1). Це перша точка внутрішнього розподілу, де електрична енергія надходить від зовнішньої мережі. Ввідний пристрій забезпечує облік спожитої електроенергії, захист від коротких замикань та перевантажень (за допомогою автоматичних вимикачів або запобіжників), а також можливість повного відключення об'єкта від мережі. Його компонентами є лічильники електроенергії, ввідні автоматичні вимикачі, головні шини, пристрої захисного відключення (ПЗВ) або диференційні автоматичні вимикачі (діфавтомати) для підвищення електробезпеки.

2) *Магістральні та розподільчі лінії.* Від ВРП/ГРЩ електроенергія розподіляється по об'єкту за допомогою магістральних кабелів або шинопроводів до поверхових щитів, розподільчих пунктів або безпосередньо до великих споживачів.

3) *Розподільчі щити (поверхові, квартирні, цехові)*. Ці щити є проміжними точками розподілу, які приймають електроенергію від магістральних ліній і далі розподіляють її по менших групах споживачів (наприклад, по кімнатах, офісах, технологічних лініях).

4) *Групові мережі*. Безпосередньо живлять кінцеві електроприймачі (освітлення, розетки, стаціонарне обладнання). Сюди входять мережі освітлення, розеточні мережі, мережі для живлення окремих потужних електроприладів (наприклад, електроплит, кондиціонерів, верстатів).

5) *Кінцеві електроприймачі*. Прилади та обладнання, які безпосередньо споживають електричну енергію для виконання своїх функцій (лампи освітлення, комп'ютери, побутова техніка, електродвигуни, опалювальні прилади).

Внутрішній розподіл електроенергії потребує ретельного проектування, яке враховує загальну потужність об'єкта та очікувані навантаження, кількість та тип електроприймачів, схему живлення та розводки, систему заземлення та блискавкозахисту, вибір відповідного перерізу кабелів та номіналів захисних апаратів, розташування розподільчих щитів та інших елементів.

4.3. Заземлення та нульовий захист.

Заземлення – це навмисне електричне з'єднання будь-якої точки електроустановки або обладнання з заземлювальним пристроєм.

Заземлення здійснюється для захисту людини від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмопровідних частин обладнання, що опинилися під напругою (наприклад, через пошкодження ізоляції). Якщо в електричному пристрої виникає несправність, наприклад, коли фазний провідник від'єднується і торкається металевого корпусу і він опиняється під напругою. Однак, завдяки заземленню, струм у такому випадку потече не через людину, яка доторкнеться до корпусу, а безпечно відведеться заземлювальним дротом у землю (рис. 4.5). Це запобігає ураженню електричним струмом.

Для забезпечення електробезпеки використовують заземлювачі, які бувають природними та штучними. *Природні заземлювачі* – це існуючі в землі металеві споруди, придатні для заземлення, наприклад, водопровідні та інші металеві трубопроводи, обсадні труби свердловин, металеві конструкції та арматура будівель, що контактують із землею, шпунти гідротехнічних споруд, а також свинцеві оболонки кабелів (якщо їх щонайменше два). Використання природних заземлювачів є пріоритетним, оскільки це дозволяє заощадити матеріали та уникнути значного обсягу земляних і монтажних робіт.

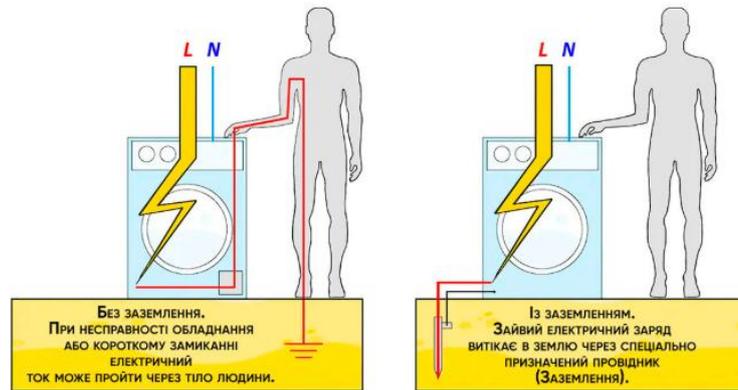


Рис. 4.5. Проходження струму у випадку заземлення та не заземлення електричного пристрою.

Якщо природних заземлювачів поблизу немає, створюють *штучні заземлювачі* – спеціально встановлені в ґрунті металеві конструкції. Для них використовують сталеві труби, кутову сталь, стрижні або смуги, занурюючи їх вертикально чи горизонтально. У ґрунтах з підвищеною корозійною активністю слід застосовувати оцинковані або оміднені варіанти. Важливо, щоб заземлювачі та провідники, розташовані в землі, не були пофарбовані. Найчастіше використовують відрізки труб або кутової сталі завдовжки 2,5–3 м, що знижує вплив промерзання ґрунту. Перевагу надають кутовій сталі, оскільки її опір розтіканню струму менший, ніж у труби аналогічної маси. Електроди заземлювача розташовують так, щоб їхні верхні кінці знаходилися на глибині 0,5–0,7 м від рівня землі, що допомагає зменшити опір заземлення та його коливання від температури. Для їх монтажу попередньо риють траншею глибиною 0,7 м і шириною 0,5–0,6 м, після чого заземлювачі забивають або занурюють у ґрунт.

Захисне занулення – це метод забезпечення електробезпеки, при якому струмопровідні частини обладнання, що можуть контактувати з людиною, підключаються до нульового провідника в електричному щитку. За принципом монтажу це схоже на заземлення, але замість підключення до «землі» корпус приладу з'єднується з «нулем». Для обох систем потрібен окремий захисний провідник.

Нульовий захист (занулення) – це навмисне електричне з'єднання металевих неструмопровідних частин електроустановки, які можуть опинитися під напругою, з нульовим захисним провідником.

Принцип роботи занулення полягає в наступному. Якщо струм випадково потрапляє на корпус електрообладнання, виникає коротке замикання зі значним струмом ($I_{к.з.}$). Цей струм призводить до швидкого спрацьовування захисних пристроїв: плавкі запобіжники перегорають за 5-7 секунд, а автоматичні вимикачі, що реагують на струм короткого замикання, відключають пошкоджені фази всього за 1-2 секунди. Проте, протягом цього

короткого періоду, доки захист не спрацював, людина, яка торкається несправного обладнання, перебуває під небезпечною фазовою напругою. Якщо система захисного занулення з якихось причин не спрацює вчасно, існує високий ризик ураження людини електричним струмом.

Головна відмінність занулення від заземлення полягає в надійності захисту. Система заземлення забезпечує постійне та стабільне відведення струму безпосередньо в ґрунт, тоді як занулення припиняє подачу струму лише в момент виникнення пробою на корпус шляхом автоматичного відключення відповідної ділянки мережі.

Контрольні запитання до лекції №4.

1. Які основні переваги та недоліки централізованих електричних мереж як джерела електропостачання?
2. Для яких об'єктів резервні генератори є незамінними, і чому?
3. Опишіть принцип роботи системи автоматичного введення резерву (АВР).
4. Які основні компоненти входять до складу вводно-розподільчих пристроїв (ВРП) і які функції вони виконують?
5. Чим відрізняються індукційні та електронні лічильники електроенергії, і які додаткові функції можуть мати електронні?
6. Назвіть та коротко охарактеризуйте основні етапи внутрішнього розподілу електроенергії в будівлі, починаючи від ввідного пристрою.
7. Яка головна мета заземлення і як воно захищає людину від ураження електричним струмом у разі несправності обладнання?
8. Наведіть приклади природних заземлювачів і поясніть, чому їх використання є кращим порівняно зі штучними.
9. Опишіть принцип дії захисного занулення у випадку пробою фази на корпус і які пристрої відповідають за відключення струму?
10. У чому полягає головна відмінність між заземленням і зануленням з точки зору надійності захисту?

ЛЕКЦІЯ 5. ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В УМОВАХ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. ОСНОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

5.1. Поняття енергоспоживання та енергозбереження.

У сучасному світі енергоспоживання та енергозбереження є ключовими концепціями, що впливають на економіку, екологію та повсякденне життя кожної людини. Розуміння цих термінів є важливим для раціонального використання ресурсів та забезпечення сталого розвитку.

Енергоспоживання – це процес використання різних видів енергії (електричної, теплової, механічної тощо) для задоволення потреб людини та функціонування суспільства. Воно охоплює енергію, яку ми витрачаємо на освітлення наших домівок та робочих місць, опалення та охолодження приміщень, роботу побутової техніки, транспорт, виробничі процеси на заводах і фабриках, а також функціонування інфраструктури. Наприклад, кількість спожитої електричної енергії (E) приладом за певний час (t) розраховується як добуток його потужності (P) на цей час:

$$E = Pt.$$

Якщо потужність вимірюється у кіловатах (кВт), а час у годинах (год), то енергія вимірюватиметься у кіловат-годинах (кВт·год), які ми бачимо у наших рахунках за електроенергію. Рівень енергоспоживання постійно зростає через розвиток технологій, збільшення кількості населення та підвищення рівня комфорту. Однак, надмірне споживання енергії призводить до виснаження природних ресурсів, зростання витрат та негативного впливу на довкілля, зокрема через викиди парникових газів.

Енергозбереження – це комплекс заходів, спрямованих на зменшення обсягу споживаної енергії при збереженні або підвищенні рівня комфорту та продуктивності. Це не означає відмову від благ цивілізації, а навпаки – їхнє розумне та ефективне використання. Наприклад, замість використання лампи розжарювання потужністю 100 Вт, можна використати LED-лампу потужністю 10 Вт, яка дає аналогічний світловий потік. Це дозволяє зменшити споживання енергії в 10 разів для освітлення.

Якщо ми замінимо стару побутову техніку на нову, з вищим класом енергоефективності (наприклад, А+++), ми також значно скоротимо споживання. Основні аспекти енергозбереження включають впровадження енергоефективних технологій, оптимізацію поведінки споживачів (вимкнення світла, відключення приладів від мережі, раціональне використання води), утеплення будівель для зменшення тепловтрат, а також використання альтернативних джерел енергії (сонячні батареї, вітрові турбіни). Зменшення тепловтрат через стіни, дахи та вікна безпосередньо впливає на кількість теплової енергії (Q), необхідної для

опалення, що розраховується, наприклад, через добуток маси (m), питомої теплоємності (c) та зміни температури (ΔT):

$$Q = cm\Delta T .$$

Ефективне утеплення зменшує необхідність у нагріванні повітря, тим самим знижуючи Q .

Енергоспоживання та енергозбереження тісно пов'язані: зростання споживання вимагає активніших заходів з енергозбереження для балансування системи та мінімізації негативних наслідків. Перевагами енергозбереження є економічна вигода (зменшення рахунків), екологічна відповідальність (зниження викидів), підвищення енергетичної безпеки та загальний комфорт. Розуміння і практичне застосування принципів енергозбереження є не просто трендом, а нагальною потребою для кожного з нас, щоб забезпечити стабільне та комфортне майбутнє.

5.2. Сучасний стан енергоспоживання в Україні та світі.

Світове енергоспоживання продовжує зростати, хоча темпи зростання дещо сповільнилися. Це обумовлено як збільшенням населення та економічним розвитком, так і появою нових технологій. Основу світового енергетичного балансу, як і раніше, складають викопні види палива: нафта, природний газ та вугілля. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), їхня частка досі перевищує 80% світового первинного енергоспоживання. Проте, спостерігається чітка тенденція до збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – сонячної, вітрової, гідроенергетики та біомаси. Цей перехід стимулюється як екологічними зобов'язаннями (скорочення викидів парникових газів), так і економічною доцільністю – вартість виробництва енергії з ВДЕ постійно знижується.

До 2022 року енергобаланс України значною мірою залежав від викопного палива, з високою часткою природного газу та вугілля. Атомна енергетика відіграла ключову роль у виробництві електроенергії (близько 50-55%). Після 24 лютого 2022 року, ситуація кардинально змінилася. Масштабні руйнування енергетичної інфраструктури, окупація Запорізької АЕС, знищення теплових електростанцій та когенераційних установок призвели до значного зниження енергогенеруючих потужностей та дефіциту електроенергії. Спостерігається суттєве зниження загального енергоспоживання в країні через руйнування промисловості, міграцію населення та вимушені відключення електроенергії. У той же час, зростає усвідомлення необхідності енергоефективності та розвитку ВДЕ.

Розглянемо основні джерела енергії та тенденції їх використання.

1) *Викопні види палива (нафта, газ, вугілля)*. Перевагою даного виду палива є відносно легке транспортування (особливо для нафти і газу), усталені технології видобутку та використання. До недоліків можна віднести Обмеженість запасів, значні викиди парникових газів (CO₂) та інших забруднювачів під час спалювання, геополітична залежність.

2) *Атомна енергетика* характеризується високою потужністю, низькими викидами парникових газів під час експлуатації, стабільним виробництвом. Проте тут є певні ризики, пов'язані з ядерною безпекою та поводженням з радіоактивними відходами, високі початкові інвестиції. Деякі країни переглядають своє ставлення до атомної енергетики як до «зеленого» перехідного джерела, інші продовжують відмовлятися. В Україні, після окупації ЗАЕС, питання безпеки та відновлення власної генерації є надзвичайно актуальними.

3) *Відновлювані джерела енергії (ВДЕ)*.

Сонячна енергетика. Потужність сонячної панелі (P_c) залежить від інтенсивності сонячного випромінювання (I) та площі панелі (S), а також її ефективності (η):

$$P_c = \eta IS .$$

Її перевагами є невичерпний ресурс, відсутність викидів, модульність, швидке розгортання. До недоліків можна віднести залежність від погодних умов, необхідність акумуляції енергії, великі площі для розміщення.

Вітрова енергетика. Потужність вітрової турбіни (P_v) пропорційна кубу швидкості вітру (v), площі охоплення лопатями (S) та густині повітря (ρ):

$$P_v = 0,5 \rho S v^3 \eta ,$$

де η – коефіцієнт потужності.

Її перевагами є невичерпний ресурс, відсутність викидів, швидкий розвиток технологій. До недоліків можна віднести залежність від швидкості вітру, шум, візуальний вплив, вплив на птахів.

Гідроенергетика. Перевагами гідроенергетики є поновлюваний ресурс, регульованість, відсутність викидів, можливість акумуляції енергії. Проте вона здійснює значний вплив на екосистеми річок, залежність від водних ресурсів.

5.3. Принципи та методи енергозбереження.

Енергозбереження є ключовим компонентом сталого розвитку, що дозволяє не лише знизити витрати, а й зменшити негативний вплив на довкілля. Це комплексний підхід, що охоплює різні сфери – від нашого дому до великих підприємств та міської інфраструктури. Основні принципи енергозбереження базуються на ефективності використання енергії та мінімізації втрат.

На побутовому рівні принципи енергозбереження зводяться до свідомого та раціонального використання ресурсів. Прості, але ефективні методи включають:

Освітлення. Максимальне використання природного світла та перехід на світлодіодне (LED) освітлення, яке споживає значно менше енергії, ніж традиційні лампи розжарювання чи люмінесцентні.

Побутова техніка. Вибір приладів з високим класом енергоефективності (A+++), що гарантує їхнє мінімальне споживання. Наприклад, холодильник працює цілодобово, тому його енергоефективність має велике значення. Важливо відключати прилади з розетки, коли вони не використовуються, оскільки навіть у режимі очікування («stand-by») вони споживають невелику кількість електроенергії.

Опалення та охолодження. Регулювання температури в приміщенні (зниження на 1-2°C взимку та підвищення влітку вже дає відчутну економію), утеплення вікон та дверей, використання термостатів. Ефективна теплоізоляція будинку (стін, даху, підлоги) є фундаментальним кроком, що значно знижує втрати тепла в холодну пору року і зберігає прохолоду влітку. Кількість теплових втрат (Q_e) через огорожувальну конструкцію можна оцінити за формулою:

$$Q_e = \frac{\Delta T S}{R},$$

де ΔT – різниця температур між внутрішнім та зовнішнім середовищем, S – площа поверхні, а R – термічний опір матеріалу, що прямо залежить від якості утеплення. Збільшення R (краще утеплення) призводить до зменшення Q_e .

У промисловості та на підприємствах енергозбереження набуває масштабнішого характеру, оскільки енерговитрати тут значно вищі. Тут можна відмітити наступне.

Модернізація обладнання. Заміна застарілих верстатів, насосів, двигунів та компресорів на нові, енергоефективні моделі. Наприклад, енергоефективність електродвигунів з часом значно покращилася.

Оптимізація технологічних процесів. Впровадження інноваційних рішень, що дозволяють зменшити споживання енергії на кожному етапі виробництва.

Утилізація вторинних енергоресурсів. Використання тепла, що виділяється під час виробничих процесів (наприклад, відпрацьовані гази), для обігріву приміщень або інших потреб. Отримана теплова енергія може бути використана повторно, що знижує потребу у первинних джерелах енергії.

Автоматизація та управління. Впровадження систем автоматизованого контролю та управління енергоспоживанням, що дозволяє оптимізувати роботу обладнання та скоротити простой.

На муніципальному рівні енергозбереження зосереджується на оптимізації споживання енергії в масштабах міста чи громади.

Освітлення вулиць та громадських просторів. Перехід на LED-світильники з системами «розумного» управління (датчики руху, регулювання яскравості залежно від часу доби), що дозволяє економити до 70-80% енергії порівняно з традиційними системами.

Енергоефективність громадських будівель. Термомодернізація шкіл, лікарень, дитячих садків, що включає утеплення фасадів, дахів, заміну вікон та дверей, встановлення індивідуальних теплових пунктів з погодним регулюванням. Це зменшує загальну потребу в енергії для опалення.

Оптимізація теплопостачання. Модернізація котельень, зменшення втрат у теплових мережах, впровадження систем централізованого моніторингу та управління.

Розвиток громадського транспорту. Зменшення використання приватного транспорту, що скорочує споживання палива.

Технічні засоби економії електроенергії є основою для реалізації принципів енергозбереження.

Світлодіодне (LED) освітлення. Завдяки високій світловій віддачі та низькому споживанню, LED-лампи є найбільш енергоефективним рішенням для освітлення. Вони також мають тривалий термін служби.

«Розумні» прилади та системи. Смарт-термостати, «розумні» розетки, датчики руху та освітленості, системи «розумний дім» дозволяють автоматизувати управління енергоспоживанням, оптимізуючи його відповідно до реальних потреб та розкладу. Наприклад, «розумний» термостат може навчатися звичкам мешканців і автоматично регулювати температуру.

Утеплення. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів для стін, покрівлі, фундаменту, заміна старих вікон на енергоефективні склопакети. Це прямо зменшує втрати тепла, що необхідно для підтримки комфортної температури в приміщенні.

Альтернативні джерела енергії. Встановлення сонячних панелей для генерації електроенергії або нагріву води, вітрові турбіни (для великих об'єктів або промислових зон), теплові насоси для ефективного опалення та охолодження. Хоча початкові інвестиції можуть бути значними, вони забезпечують довгострокову економію та енергетичну незалежність.

Застосування цих принципів та методів у сукупності дозволяє досягти значного зниження енергоспоживання на всіх рівнях, що є критично важливим для економічної стабільності, екологічного благополуччя та енергетичної безпеки України та світу в цілому.

5.4. Раціональне використання електроенергії як елемент екологічної та громадянської свідомості.

У сучасному світі раціональне використання електроенергії виходить за рамки простої економії коштів. Воно стає невід'ємним елементом як екологічної, так і громадянської свідомості, відображаючи відповідальне ставлення до ресурсів планети та стабільність суспільства. З огляду на поточну ситуацію у світі та в Україні, що перебуває в умовах війни, це питання набуває особливої гостроти та стратегічного значення.

Виробництво електроенергії, особливо з традиційних джерел (вугілля, газ), є одним з найбільших джерел викидів парникових газів (CO_2 , CH_4 , N_2O) та інших забруднювачів (оксиди сірки та азоту, тверді частинки). Ці викиди спричиняють зміну клімату, забруднення повітря, кислотні дощі та інші негативні екологічні наслідки. Кожна зекономлена кіловат-година електроенергії (E_z) прямо пропорційно зменшує потребу у її виробництві, а отже, і обсяг викидів (V_v), пов'язаних із цим виробництвом. Це можна представити як:

$$V_v \propto E_z,$$

де коефіцієнт пропорційності залежить від питомих викидів конкретного типу генерації. Наприклад, якщо питомі викиди вугільної ТЕС становлять 0.9 кг CO_2 на кВт·год, то заощадження 100 кВт·год електроенергії еквівалентне зменшенню викидів CO_2 на 90 кг.

Раціональне споживання також зменшує потребу у видобутку обмежених природних ресурсів (вугілля, нафта, газ) та мінімізує вплив на екосистеми, пов'язаний з їх транспортуванням та переробкою. Вибір енергоефективної техніки (наприклад, холодильника класу А+++ замість А+), що має меншу середньодобову потужність споживання (P_c), дозволяє суттєво зменшити загальне споживання енергії за рік:

$$E_{\text{рік}} = P_c \cdot 24 \cdot 365.$$

Зменшуючи P_c , ми безпосередньо впливаємо на $E_{\text{рік}}$, демонструючи свою екологічну відповідальність.

Раціональне використання електроенергії є також проявом високої громадянської свідомості. В умовах воєнного стану, як це зараз в Україні, кожен зекономлений кіловат має критичне значення для енергетичної безпеки та стабільності всієї країни. Це допомагає:

1. *Зменшити навантаження на пошкоджену енергосистему.* Зниження пікових навантажень мінімізує ризик аварійних відключень та дозволяє проводити ремонтні роботи, що є життєво важливим. Це можна виразити через баланс потужності у системі:

$$P_{\text{генерація}} \geq P_{\text{споживання}} + P_{\text{втрати}}.$$

Кожен кіловат, зекономлений споживачами ($P_{z.\text{індив.}}$), безпосередньо зменшує $P_{\text{споживання}}$.

2. *Підвищити енергетичну незалежність.* Зменшення загального споживання знижує потребу в імпорті енергоресурсів, що є стратегічно важливим для України. Це також звільняє кошти для інших пріоритетних потреб, наприклад, оборони.

3. *Зміцнити економіку.* Зниження енергоємності виробництва робить продукцію конкурентоспроможнішою, а кошти, заощаджені на енергії, можуть бути реінвестовані.

4. *Сформувати культуру відповідальності.* Колективні дії з енергозбереження виховують почуття спільності та відповідальності за спільне благо. Це не просто індивідуальна економія, а внесок у національну стійкість.

Таким чином, раціональне використання електроенергії – це не просто фінансово вигідний крок, а фундаментальний аспект сучасної людини, що усвідомлює свою роль у збереженні планети та розбудові сильної, незалежної держави.

Контрольні запитання до лекції №5.

1. Як визначається енергоспоживання і які сфери життя воно охоплює? Наведіть формулу для розрахунку спожитої електричної енергії та поясніть її складові.

2. Що таке енергозбереження і як воно відрізняється від повної відмови від використання енергії? Наведіть приклади, як заміна звичайної лампи на LED-лампу ілюструє принцип енергозбереження.

3. Назвіть основні аспекти енергозбереження.

4. Назвіть дві основні групи джерел енергії і які тенденції їх використання спостерігаються у світі?

5. Як повномасштабна війна вплинула на енергобаланс України і які зміни у споживанні енергії це спричинило?

6. Наведіть формули для розрахунку потужності сонячної панелі та вітрової турбіни. Які переваги та недоліки мають ці відновлювані джерела енергії?

7. Які принципи та методи енергозбереження застосовуються на побутовому рівні? Наведіть приклади конкретних дій.

8. Як можна оцінити кількість теплових втрат через огорожувальну конструкцію будівлі? Яку роль у зменшенні цих втрат відіграє утеплення?

9. Чому раціональне використання електроенергії є елементом екологічної свідомості? Як це пов'язано зі зменшенням викидів парникових газів?

10. Як раціональне використання електроенергії допомагає Україні в умовах воєнного стану і чому це є проявом громадянської свідомості?

ЛЕКЦІЯ 6. ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ЯК ПРИЙМАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

6.1. Загальна характеристика електричних машин як приймачів енергії.

Електрична машина – це електромеханічний пристрій, призначений для взаємного перетворення електричної та механічної енергії на основі електромагнітної індукції та взаємодії магнітних полів. Вона складається зі стаціонарної частини (статора) і рухомої частини (ротора або якоря).

За принципом дії електричні машини поділяються на кілька основних видів.

1. *Машини постійного струму (МПС)*. Перетворюють електричну енергію постійного струму в механічну (двигуни) або навпаки (генератори). Характеризуються наявністю колектора, який забезпечує перетворення змінного струму в постійний у якорі та навпаки.

2. *Машини змінного струму (МЗС)*. Ці машини поділяються на:

- Синхронні машини – ротор обертається з синхронною швидкістю відносно обертового магнітного поля статора. Використовуються як генератори на електростанціях, а також як потужні двигуни.

- Асинхронні машини (індукційні) – ротор обертається з меншою швидкістю (відстає) від обертового магнітного поля статора. Є найпоширенішими електричними двигунами завдяки своїй простоті, надійності та невисокій вартості.

3. *Трансформатори*. Хоча не є електричними машинами у строгому розумінні (не перетворюють електричну енергію в механічну), вони є статичними електромагнітними пристроями для перетворення параметрів змінного струму (напруги та струму) при незмінній частоті. Їхня роль у розподілі та споживанні електроенергії є фундаментальною.

Основна відмінність між генераторами та двигунами полягає в напрямку перетворення енергії. Генератор (джерело енергії) перетворює механічну енергію в електричну. Це досягається за допомогою зовнішньої механічної сили, яка приводить у рух ротор, створюючи ЕРС (електрорушійну силу) у обмотках. Наприклад, на електростанціях турбіни обертають генератори. В основі роботи генератора лежить ключовий принцип – закон Фарадея про електромагнітну індукцію. ЕРС індукції (E) у провіднику, що рухається в магнітному полі:

$$E = Blv \sin \alpha,$$

де B – індукція магнітного поля, l – довжина провідника, v – швидкість провідника відносно поля, α – кут між напрямком швидкості та індукцією.

Двигун (приймач енергії) перетворює електричну енергію в механічну. Електричний струм, що проходить через обмотки машини, створює магнітне поле, яке взаємодіє з іншим

магнітним полем, створюючи обертовий момент. На провідник зі струмом у магнітному полі діє сила Ампера:

$$F = BIl \sin \alpha,$$

де l – довжина провідника, α – кут між напрямком струму та індукцією. Ця сила створює обертовий момент (M).

6.2. Класифікація електричних машин за типом струму.

Електричні машини, що є основою сучасної енергетики та промисловості, класифікуються насамперед за типом електричного струму, з яким вони працюють – постійного або змінного. Ця класифікація визначає їхній принцип дії, конструктивні особливості, а отже, й галузі застосування.

1) *Машини постійного струму (МПС).* Машини постійного струму працюють на принципі взаємодії магнітного поля нерухомого статора з магнітним полем, що створюється струмом в обмотці якоря (ротора).

Індуктор, або статор, двигуна постійного струму містить два полюси (1), які генерують основний магнітний потік (Φ), а також ярмо рис. 6.1. Ротор найпростішого двигуна складається з якоря (2) – це, по суті, сталевий сердечник з одновитковою обмоткою, – та колектора (3), що представляє собою дві ізольовані одна від одної пластини. До колектора прилягають нерухомі щітки (4), які забезпечують електричне з'єднання обмотки якоря із зовнішніми електричними колами. Колектор і щітки забезпечують подачу постійного струму до обмоток якоря таким чином, що напрямок струму в провідниках під полюсами завжди залишається незмінним, забезпечуючи постійний обертовий момент.

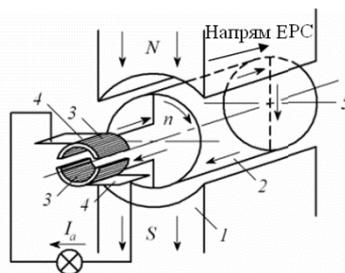


Рис. 6.1. Модель машини постійного струму.

Магнітний потік Φ починається з північного полюса (N), проходить крізь ярмі, входить у південний полюс (S) і повертається до північного полюса через ярмо, замикаючи магнітний контур. Сила магнітного поля у повітряному проміжку між якорем і полюсами є максимальною безпосередньо під полюсами і поступово зменшується до нуля на лінії геометричної нейтралі (5).

МПС, особливо двигуни, мають чудові регульовальні властивості, дозволяючи плавно змінювати швидкість обертання в широких межах. Це робить їх ідеальними для застосувань, що вимагають точного контролю швидкості та моменту. Зокрема, тяговий привід (електровози, трамваї, тролейбуси, кар'єрні самоскиди), прокатні стани, підйомні крани, ліфти, екскаватори, приводи металорізальних верстатів, папероробних машин, у системах автоматичного керування, де потрібна висока точність.

До недоліків МПС можна віднести наступне. Наявність колектора і щіток, які потребують регулярного обслуговування, схильні до зносу і іскріння, більш висока вартість порівняно з асинхронними машинами, обмеження за потужністю через складність виготовлення колектора для великих струмів.

2) *Машини змінного струму (МЗС)*. Машини змінного струму є найбільш поширеними в сучасному світі, оскільки більшість електроенергії генерується та розподіляється у вигляді змінного струму. Вони поділяються на асинхронні та синхронні машини.

Асинхронний двигун складається з двох головних частин: нерухомого статора та обертового ротора. Статор включає станину (корпус двигуна), магнітопровід та обмотку. Ротор має магнітопровід і обмотку, тип якої визначає його вид: короткозамкнений ротор – його обмотка виглядає як «клітка» (рис. 6.2 а), де мідні стрижні в пазах з'єднані по торцях короткозамикальними кільцями; фазний ротор – має трифазну обмотку, з'єднану «зіркою» (рис. 2 б). Вільні кінці цієї обмотки під'єднані до трьох контактних кілець. До цих кілець прилягають щітки, що з'єднують обмотку ротора з пусковим або регульовальним реостатом.

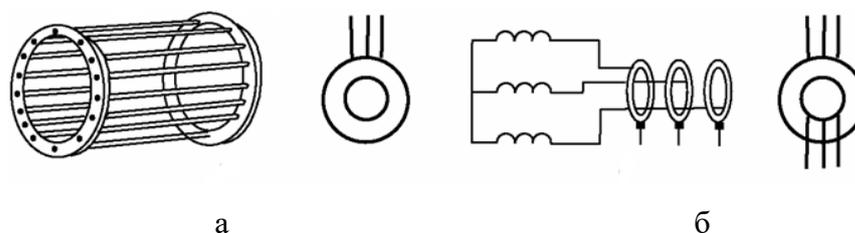


Рис. 6.2. Обмотки ротора АД: а – короткозамкнена; б – з фазним ротором.

Станина виготовляється з чавуну, сталі або алюмінію. Осердя статора складається з тонких ізольованих сталевих пластин, що запобігає втратам енергії. В середині осердя є пази для трифазної статорної обмотки з мідного дроту або шини. Фази обмотки статора можуть бути з'єднані «зіркою» або «трикутником» залежно від напруги мережі.

Асинхронні двигуни є найбільш поширеними електродвигунами у світі завдяки своїй простоті, надійності, відносно низькій вартості та відсутності щітково-колекторного вузла. Вони використовуються майже у всіх галузях промисловості та побуті зокрема, приводи насосів, вентиляторів, компресорів, конвеєри, транспортери, верстати, деревообробне

обладнання, побутова техніка (холодильники, пральні машини, пирососи), малий та середній привід загального призначення.

Перевагами АД є проста та надійна конструкція (особливо короткозамкнені), відсутність колектора і щіток (для короткозамкнених роторів), що зменшує необхідність обслуговування, низька вартість. До недоліків АД можна віднести наступне: важкість плавного та широкого регулювання швидкості без додаткових пристроїв (частотні перетворювачі), великий пусковий струм, споживання реактивної потужності, що погіршує коефіцієнт потужності мережі.

Синхронні двигуни мають ротор, який обертається з тією ж швидкістю, що й обертове магнітне поле статора. Статорна обмотка аналогічна обмотці асинхронної машини. Ротор має обмотку збудження, яка живиться постійним струмом (зазвичай через контактні кільця та щітки, або безщітковою системою збудження) і створює постійні магнітні полюси. Взаємодія цих полюсів з обертовим полем статора створює момент, що утримує ротор у «синхронізмі».

Синхронні двигуни використовуються для приводу потужних механізмів, де потрібна постійна швидкість обертання, а також для компенсації реактивної потужності в енергосистемах (в режимі синхронних компенсаторів): компресори, потужні насоси, вентилятори, дробильні машини, млини, генератори на електростанціях (синхронні генератори), приводи для атомних електростанцій (ядерні реактори).

Серед переваг СД можна відмітити їх стабільну швидкість обертання, що не залежить від навантаження (до певного моменту), можливість роботи з коефіцієнтом потужності $\cos\varphi = 1$, високий ККД для великих потужностей. До недоліків СД можна віднести складну конструкцію ротора та наявність системи збудження (для роторів з обмотками збудження), потреба в пусковому пристрої (не можуть самостійно запускатися як двигуни, якщо ротор не має додаткової пускової обмотки або допоміжного двигуна), більш висока вартість.

6.3. Особливості роботи електричних машин у режимі приймання енергії.

Електричні машини, функціонуючи в режимі приймання енергії (моторний режим), перетворюють електричну енергію, що подається на їхні клеми, у механічну енергію на валу. Цей процес супроводжується втратами, що визначають ефективність роботи машини.

Робочі характеристики електричної машини в моторному режимі описують залежність її основних параметрів (струму, швидкості, моменту) від навантаження. Зазвичай, вони включають залежності: $n=f(M)$ – швидкість обертання від моменту навантаження; $I=f(M)$ – струм від моменту навантаження; $\eta=f(M)$ – ККД від моменту навантаження.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) є ключовим показником ефективності і визначається як відношення корисної механічної потужності на валу ($P_{\text{мех}}$) до споживаної електричної потужності ($P_{\text{ел}}$):

$$\eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{ел}}} = \frac{P_{\text{ел}} - P_{\text{втрат}}}{P_{\text{ел}}},$$

де $P_{\text{втрат}}$ – сумарні втрати потужності в машині. До цих втрат належать: електричні втрати (втрати в обмотках): $P_{\text{ел.втрат}} = I^2 R$, де I – струм, R – опір обмоток; магнітні втрати $P_{\text{магн.втрат}}$ (втрати в осерді), спричинені перемагнічуванням осердя (гістерезис) та вихровими струмами; механічні втрати $P_{\text{мех.втрат}}$, пов'язані з тертям у підшипниках, вентиляцією та тертям щіток (для машин постійного струму та колекторних машин змінного струму). Зазвичай, ККД електричних машин досягає свого максимуму при навантаженнях, близьких до номінальних.

Процес перетворення енергії відбувається наступним чином. На статорні обмотки подається електрична напруга, яка створює в них струм, який генерує магнітне поле (обертове для машин змінного струму або постійне для машин постійного струму). Це магнітне поле взаємодіє зі струмами, індукованими (в асинхронних машинах) або поданими (в машинах постійного струму, синхронних машинах) в обмотках ротора. Взаємодія між магнітними полями статора та ротора створює електромагнітний момент ($M_{\text{ем}}$), що прагне обертати ротор. Цей момент долає момент опору навантаження на валу ($M_{\text{нав}}$) та механічні втрати. За умови $M_{\text{ем}} > M_{\text{нав}}$ ротор починає обертатися. Обертання ротора забезпечує механічну потужність на валу машини:

$$P_{\text{мех}} = M_{\text{ем}} \omega,$$

де ω – кутова швидкість обертання ротора.

Ефективність роботи електричної машини (її ККД та робочі характеристики) залежить від декількох ключових факторів:

1) *Навантаження*. При низьких навантаженнях ККД зазвичай низький, оскільки постійні втрати (магнітні, механічні) залишаються значними відносно малої корисної потужності. Робота з навантаженням, що значно перевищує номінальне, призводить до надмірного зростання струмів (відповідно, до значного збільшення електричних втрат $I^2 R$) та перегріву, що може пошкодити обмотки і знизити ефективність. Максимальний ККД досягається при оптимальному навантаженні, коли змінні втрати (залежні від струму) приблизно дорівнюють постійним.

2) *Напруга*. Знижена напруга призводить до збільшення струмів для підтримки заданого моменту (для певних типів двигунів), що збільшує втрати $I^2 R$ та знижує ККД. Також може зменшити максимальний момент, що розвиває двигун. Підвищена напруга може

привести до збільшення магнітного потоку, що збільшує магнітні втрати (особливо втрати на гістерезис та вихрові струми) та насичення магнітопроводу.

3) *Температура*. Підвищення температури збільшує опір обмоток (для міді та алюмінію опір зростає приблизно на 0,4% на кожен градус Цельсія), що призводить до зростання втрат I^2R та зниження ККД. Надмірний перегрів може пошкодити ізоляцію обмоток, значно скорочуючи термін служби машини. Ефективне охолодження дозволяє підтримувати температуру в допустимих межах, забезпечуючи стабільну роботу та високий ККД.

Оптимальна робота електричної машини в моторному режимі досягається при дотриманні номінальних параметрів навантаження, напруги та адекватного температурного режиму, що забезпечує максимальний ККД та тривалий термін експлуатації.

Контрольні запитання до лекції №6.

1. Яке основне призначення електричної машини та з яких двох головних частин вона складається?
2. Яка ключова відмінність між синхронними та асинхронними машинами змінного струму щодо швидкості обертання ротора відносно магнітного поля статора?
3. Чому трансформатори, хоч і є електромагнітними пристроями, не вважаються електричними машинами у строгому розумінні?
4. Який фізичний закон лежить в основі роботи генератора, і яка формула описує електрорушійну силу (ЕРС) індукції?
5. Як колектор та щітки в машинах постійного струму забезпечують постійний обертовий момент?
6. Назвіть три основні переваги асинхронних двигунів, які зробили їх найпоширенішими.
7. Які недоліки притаманні машинам постійного струму, пов'язані з наявністю колектора та щіток?
8. Чому ротор асинхронного двигуна та магнітне поле статора завжди обертаються з різною швидкістю (асинхронно)?
9. Як зміни навантаження (недовантаження та перевантаження) впливають на коефіцієнт корисної дії (ККД) електричної машини?
10. Поясніть, чому підвищення температури негативно впливає на ККД електричної машини та її термін служби.

ЛЕКЦІЯ 7. ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ НАГРІВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

7.1. Класифікація електроприймачів нагрівального призначення.

Електроприймачі нагрівального призначення можна класифікувати за декількома ознаками. За основними типами вони поділяються на побутові, промислові та спеціальні:

Побутові – призначені для використання в домашніх умовах, наприклад, електроплити, чайники, праски, фени, водонагрівачі.

Промислові – використовуються на виробництві для технологічних процесів, таких як плавильні печі, сушильні камери, електрокотли великої потужності.

Спеціальні – включають електроприймачі для специфічних застосувань, наприклад, для медичних цілей (стерилізатори), лабораторного обладнання.

За способом передачі тепла виділяють контактні та безконтактні.

Контактні – тепло передається шляхом безпосереднього контакту нагрівального елемента з об'єктом. Прикладами є електроплити, де посуд контактує з нагрівальною поверхнею, або кип'ятильники, де ТЕН занурений у воду. Передача тепла в цьому випадку відбувається переважно за рахунок теплопровідності та конвекції.

Безконтактні – передача тепла відбувається без прямого контакту між нагрівальним елементом і об'єктом. До них належать:

Інфрачервоні – випромінюють інфрачервоні хвилі, які поглинаються об'єктом і перетворюються на тепло. Прикладом є інфрачервоні обігрівачі. Інтенсивність випромінювання може бути описана законом Стефана-Больцмана:

$$P = \alpha \sigma S T^4,$$

де P – потужність випромінювання, α – коефіцієнт чорноти поверхні, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ – стала Стефана-Больцмана, S – площа поверхні, T – абсолютна температура.

Індукційні – нагрів відбувається за рахунок вихрових струмів (струмів Фуко), що індукуються в провідному матеріалі змінним магнітним полем. Прикладом є індукційні плити, де дно посуду, що має феромагнітні властивості, нагрівається завдяки індукції. Потужність, що розсіюється вихровими струмами, може бути виражена як:

$$P = \frac{E^2}{R},$$

де E – індукована ЕРС, R – опір матеріалу.

7.2. Принцип дії та будова основних видів нагрівальних елементів.

Нагрівальні елементи є ключовими компонентами електроприймачів нагрівального призначення. Їх принцип дії та будова значно відрізняються залежно від типу.

Трубчасті електронагрівачі (ТЕНи). ТЕН є одним з найпоширеніших видів нагрівальних елементів. Він складається з металевої оболонки (трубки), всередині якої розташована спіраль з високоомного сплаву, зазвичай ніхрому або фехралю (рис. 7.1).

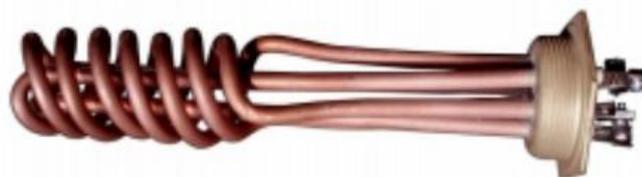


Рис. 7.1. Зовнішній вигляд трубчастого ТЕНу.

Простір між спіраллю та оболонкою заповнений діелектричним наповнювачем, найчастіше це оксид магнію (MgO), який має високі теплопровідні та електроізоляційні властивості. Оболонка ТЕНу може бути виготовлена з різних металів залежно від середовища експлуатації: нержавіюча сталь для вологих середовищ, вуглецева сталь для повітряних нагрівачів, мідь для агресивних середовищ. Кінці спіралі з'єднані з контактними стрижнями, які виходять назовні та слугують для підключення до електричної мережі. Ці стрижні ізольовані від оболонки керамічними втулками.

Принцип дії ТЕНу ґрунтується на законі Джоуля-Ленца, згідно з яким кількість теплоти, що виділяється в провіднику при протіканні електричного струму, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника та часу. Формула закону Джоуля-Ленца має вигляд:

$$Q=I^2Rt,$$

де Q – кількість теплоти, I – сила струму, R – електричний опір, t – час (секунди). В ТЕНі електричний струм проходить крізь спіраль, яка має високий електричний опір. Внаслідок цього спіраль розігрівається до високих температур. Тепло від спіралі передається до зовнішньої оболонки через діелектричний наповнювач шляхом теплопровідності, а потім від оболонки до навколишнього середовища або об'єкта, що нагрівається, за допомогою конвекції та випромінювання.

Індукційні елементи. Індукційні нагрівальні елементи працюють на принципі електромагнітної індукції. Вони не мають класичних нагрівальних спіралей. Замість цього вони використовують котушку індуктивності, через яку проходить високочастотний змінний струм. Цей струм створює змінне магнітне поле, яке, проникаючи в дно металевого посуду (що має феромагнітні властивості) або іншого провідного матеріалу, індукує в ньому вихрові

струми (струми Фуко, наприклад, в індукційній плиті, (рис. 7.2)). Ці вихрові струми зустрічають опір у матеріалі посуду, що призводить до його нагрівання за законом Джоуля-Ленца. Основною перевагою індукційного нагріву є висока ефективність, оскільки тепло генерується безпосередньо в об'єкті нагріву, а не передається від зовнішнього джерела. Це забезпечує швидке нагрівання та мінімальні втрати енергії в навколишнє середовище. ККД індукційних плит може сягати 90%. Потужність, що розсіюється вихровими струмами, приблизно пропорційна:

$$P = \frac{v^2 B^2}{\rho},$$

де v – частота змінного магнітного поля, B – індукція магнітного поля, ρ – питомий електричний опір матеріалу.



Рис. 7.2. Індукційна плита.

Інфрачервоні нагрівачі. Інфрачервоні нагрівачі випромінюють тепло у вигляді інфрачервоних хвиль, які є частиною електромагнітного спектра. Вони працюють за принципом радіаційного нагріву. Основним елементом такого нагрівача є випромінювач, який може бути виконаний у вигляді кварцової трубки зі спіраллю, керамічної пластини або карбонового волокна (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Інфрачервоний обігрівач.

Спіраль, як і в ТЕНі, нагрівається електричним струмом, але її конструкція та навколишні елементи оптимізовані для максимального випромінювання тепла в інфрачервоному діапазоні. Часто інфрачервоні нагрівачі оснащуються рефлекторами для спрямування випромінювання. Інтенсивність випромінювання залежить від температури випромінювача і описується законом Стефана-Больцмана. Застосування інфрачервоних нагрівачів дуже широке: від побутових обігрівачів і сушильних шаф до промислових систем сушіння фарб, термообробки матеріалів, а також у медицині (фізіотерапія). Їх перевагою є те, що вони нагрівають безпосередньо об'єкти та поверхні, а не повітря, що забезпечує комфортне та економічне опалення.

7.3. Технічні характеристики та параметри роботи електронагрівального обладнання.

Ефективність та функціональність електронагрівального обладнання визначається низкою технічних характеристик та параметрів роботи. Розуміння цих показників дозволяє правильно підбирати обладнання, оцінювати його економічність та забезпечувати безпечну експлуатацію.

Потужність (P) є однією з найважливіших характеристик, що вказує на кількість електричної енергії, яку електронагрівальний прилад перетворює на тепло за одиницю часу. Вимірюється у ватах (Вт) або кіловатах (кВт). Для резистивних нагрівальних елементів (таких як ТЕНи) потужність можна розрахувати за такими формулами:

$$P=UI, P=I^2R, P=U^2R,$$

де U – напруга, I – сила струму.

Опір визначає, скільки енергії буде розсіяно у вигляді тепла при заданій напрузі або струмі. Для визначення опору можна використовувати формулу:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де ρ – питомий опір матеріалу провідника, l – довжина провідника, S – площа його поперечного перерізу.

Коефіцієнт корисної дії (ККД, η) – це відношення корисно використаної теплової енергії до спожитої електричної енергії:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{спож}}}.$$

Для електронагрівальних приладів ККД досить високий, оскільки майже вся спожита електрична енергія перетворюється на тепло. Однак частина тепла може втрачатися в

навколишнє середовище, а не йти на безпосередній нагрів цільового об'єкта. Для більшості резистивних електронагрівачів ККД становить близько 95-99%, для індукційних може перевищувати 90%.

Температурний режим характеризується робочою температурою нагрівального елемента та діапазоном температур, які може підтримувати обладнання. Для більшості електронагрівальних приладів передбачено системи терморегуляції для підтримки заданої температури.

Тривалість роботи – це час, протягом якого прилад може безперервно працювати без перегріву або виходу з ладу. Важливим параметром є також ресурс роботи нагрівального елемента, який вимірюється в годинах або циклах включень/виключень.

Розглянемо приклади розрахунків енергоспоживання. Розрахунок енергоспоживання дозволяє оцінити витрати на експлуатацію електронагрівального обладнання.

Приклад 1. Енергоспоживання електроплити. Припустимо, електроплита має потужність $P=2$ кВт і працює протягом $t=1,5$ години на добу. Добове енергоспоживання:

$$E_{\text{добове}}=Pt=2 \text{ кВт} \cdot 1,5 \text{ год}=3 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Місячне енергоспоживання (для 30 днів):

$$E_{\text{місячне}}=E_{\text{добове}} \cdot 30=3 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 30=90 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість спожитої енергії (за тарифу, наприклад, 2.64 грн/кВт·год):

$$\text{Вартість}=90 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 2.64 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}=237.60 \text{ грн}.$$

Приклад 2. Розрахунок струму та опору ТЕНу. Маємо ТЕН для водонагрівача потужністю $P=1,5$ кВт (1500 Вт) при напрузі $U=220$ В. Сила струму:

$$I=UR=220 \text{ В} \cdot 1500 \text{ Вт} \approx 6,82 \text{ А}.$$

Опір нагрівального елемента:

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{1500} \approx 32,27 \text{ Ом}.$$

Контрольні запитання до лекції №7.

1. Як класифікуються електроприймачі нагрівального призначення за основними типами та які приклади наведені для кожного типу?
2. Які існують способи передачі тепла у нагрівальних елементах, та чим відрізняються контактні від безконтактних?
3. Опишіть принцип роботи індукційних нагрівальних елементів, яка їхня основна перевага та якою формулою можна виразити потужність, що розсіюється вихровими струмами?

4. Яка будова трубчастого електронагрівача (ТЕНу) та на якому законі ґрунтується його принцип дії? Наведіть формулу цього закону.
5. Як працюють інфрачервоні нагрівачі, та які основні елементи вони використовують для випромінювання тепла? Вкажіть, де вони застосовуються.
6. Що таке потужність електронагрівального приладу, в яких одиницях вона вимірюється, та які формули використовуються для її розрахунку?
7. Дайте визначення коефіцієнту корисної дії (ККД) електронагрівального обладнання та вкажіть його приблизні значення для резистивних та індукційних нагрівачів.
8. Які параметри характеризують температурний режим та тривалість роботи електронагрівального обладнання?
9. Якщо електроплита має потужність 2 кВт і працює 2 години на добу, яке буде її місячне енергоспоживання?
10. Розрахуйте силу струму та опір нагрівального елемента ТЕНу для водонагрівача потужністю 2000 Вт при напрузі 220 В.

Лекція №8. ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ ОСВІТЛЮВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

8.1. Загальні відомості про приймачі електроосвітлювального устаткування та їхні параметри.

Приймачі електроосвітлювального устаткування (ЕУ) є важливим елементом систем електропостачання, які забезпечують перетворення електричної енергії в світлову. Вони використовуються для освітлення житлових, комерційних, промислових та громадських приміщень, а також відкритих територій. Ці пристрої бувають різних типів і мають широкий спектр застосувань.

Джерела світла як приймачі електричної енергії – це пристрої, які перетворюють електроенергію на випромінювання в оптичному діапазоні електромагнітного спектра. Це випромінювання включає:

- *Невидиме ультрафіолетове випромінювання* (з довжинами хвиль 10–400 нм).
- *Видиме світло* (довжини хвиль 400–750 нм), яке сприймається людським оком.
- *Невидиме інфрачервоне випромінювання* або теплове (довжини хвиль 750 нм – 540 мкм).

Розглянемо класифікацію джерел світла за способом перетворення енергії.

1) Теплові джерела випромінювання – прилади, які створюють світло через нагрівання, наприклад, лампи розжарювання.

2) Газорозрядні джерела випромінювання – працюють на основі електричного розряду в газі. Сюди відносяться:

- лампи низького тиску (наприклад, люмінесцентні);
- лампи високого тиску (ДРЛ, ДНаТ);
- лампи надвисокого тиску (ДРІ тощо).

3) Джерела комбінованого випромінювання – поєднують теплове та газорозрядне випромінювання, наприклад, лампи типу ДРВ, ДРВЕД.

4) Джерела люмінесцентного випромінювання – створюють світло за допомогою люмінесценції, яка виникає в результаті перетворення енергії в спеціальних речовинах. Такі джерела світла забезпечують широкий спектр застосувань – від простого освітлення до спеціалізованого підсвічування.

Існує кілька основних груп параметрів і показників, за якими оцінюють джерела світла: електротехнічні, світлотехнічні, енергетичні та експлуатаційні.

Електротехнічні параметри описують електричні характеристики джерела світла, зокрема:

- номінальну потужність;

- напругу живлення;
- електричний струм;
- коефіцієнт потужності.

Світлотехнічні параметри стосуються якості та ефективності світлового випромінювання. Сюди відносять:

- *Ефективний потік випромінювання* – величина, яка відображає потужність випромінювання, оцінену з урахуванням реакції приймача енергії (наприклад, сприйняття світла людським оком).

- *Світловіддача лампи H* – показник ефективності роботи лампи, що обчислюється як відношення світлового потоку Φ до споживаної потужності P :

$$H = \frac{\Phi}{P}.$$

- *Спектральний склад випромінювання* – розподіл енергії світла в спектрі, який впливає на якість освітлення та кольоропередачу.

- *Пульсації світлового потоку* – коливання інтенсивності світла, які можуть впливати на комфортність сприйняття.

- *Спектральний склад випромінювання лампи* – це сукупність усіх частот, які утворюють світлові хвилі, що випромінює лампа.

- *Індекс передачі кольору (CRI або Ra)* – це показник, який визначає, наскільки природно виглядають кольори об'єктів під освітленням певного джерела світла порівняно з їхнім виглядом при природному освітленні. Значення індексу варіюється від 0 до 100, де 100 Ra відповідає передачі кольору при денному (сонячному) світлі. Ra > 90 – передача кольору вважається дуже доброю, Ra=80–90 – добра передача кольору; Ra= 51–80 – середня; Ra < 51 – слабка.

- *Пульсації світлового потоку* оцінюють за коефіцієнтом пульсації K_{II} , який визначається за формулою:

$$K_{II} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{cp}} \cdot 100\% ,$$

де E_{\max} , E_{\min} – максимальна і мінімальна освітленість за період коливання, лк; E_{cp} – середня освітленість за цей же період, лк.

Для різних типів ламп характерні такі рівні пульсації: лампи розжарювання – 7%, галогенні лампи – 1%, газорозрядні лампи – 25–65%.

- *Колірна температура* – це параметр, який характеризує спектральний склад випромінювання джерела світла. Вона визначає відтінок світла, який сприймає людське око, і

вимірюється в Кельвінах (К). За колірною температурою світло поділяється на такі групи: 2700 К – надтепле біле, 3000 К – тепле біле, 4000 К – природне біле, 5000 К – холодне біле (денне).

Енергетичні показники джерел світла включають енергетичний ККД лампи $\eta_{ен.л}$ (ефективність використання електроенергії для отримання світла) та ефективний ККД потоку випромінювання лампи $\eta_{еф.л}$ (коефіцієнт, що враховує корисний світловий потік, який сприймається оком). При цьому:

$$\eta_{ен.л} = \frac{\Phi_{н.л.}}{P_l}, \quad \eta_{еф.л} = \frac{\Phi_{еф.л.}}{\Phi_{н.л.}},$$

де $\Phi_{н.л.}$ – повний потік випромінювання лампи; $\Phi_{еф.л.}$ – ефективний потік випромінювання лампи; P_l – потужність лампи.

До експлуатаційних показників джерел світла належать:

- *надійність* – здатність джерела світла стабільно виконувати свої функції за певних умов експлуатації протягом заданого часу, зберігаючи основні параметри в допустимих межах;
- *залежність основних характеристик лампи від змін напруги в електромережі*;
- *корисний строк служби* – період роботи лампи до моменту, коли один із її параметрів виходить за допустимі межі.
- *середній час роботи до втрати характеристик, встановлених стандартами*.

8.2. Монтаж електропроводки і освітлення.

Електромонтажні роботи – це сукупність заходів, спрямованих на проектування та встановлення мереж електроживлення, які забезпечують роботу побутових і промислових пристроїв відповідно до їх технічних вимог. До складу електричної мережі всередині будинку входять:

- електрощиток,
- кріпильні елементи,
- кабелі та проводи,
- розподільні коробки,
- розетки,
- вимикачі,
- дверний дзвінок.

Монтаж електропроводки виконується з урахуванням особливостей планування приміщення. Зазвичай проводка розміщується в стінах, стелях, підлозі або перекриттях. Від якості матеріалів і правильного укладання проводки залежить надійність роботи всіх

електроприладів, а також безпека мешканців. Саме тому під час ремонту варто замислитися над заміною старої проводки на нову.

Процес монтажу електропроводки в квартирі включає такі етапи:

1. Розробка та підготовка проектної документації (за необхідності).
2. Закупівля необхідних матеріалів та обладнання.
3. Виконання електромонтажних робіт.

Проектування електропроводки в будинку – це перший і ключовий етап, від якого залежить як загальна вартість електромонтажу, так і зручність та безпека користування житлом. Основний крок – це визначення розташування розеток, вимикачів та світильників, яке наноситься на план квартири. Для цього необхідно:

1. Скласти список електроприладів у будинку, включаючи як наявні, так і потенційні пристрої (наприклад, кондиціонери, витяжки, мікрохвильовки, посудомийки). Навіть якщо вони відсутні зараз, краще передбачити розетки заздалегідь.

2. Розподілити розетки для постійного використання та розмістити їх у найзручніших місцях.

3. Передбачити групи розеток для тимчасових приладів, таких як зарядні пристрої, дрібна кухонна техніка чи пілосос.

4. Намітити вимикачі та світильники, позначаючи взаємопов'язані елементи однаковими номерами.

5. У приміщеннях із кількома входами встановити прохідні вимикачі (вимикачі, з'єднані між собою, що дозволяють керувати одним джерелом освітлення з двох або більше точок) для зручності.

6. Розташовувати вимикачі біля дверей на висоті 90 см від підлоги, у місцях, де їх не перекриватимуть двері (рис. 8.1.).

7. Передбачити розетки в усіх приміщеннях, у ванній кімнаті – спеціальні моделі з диференційним захистом для приладів, як-от фен чи пральна машина.

8. Встановлювати розетки на висоті 30 см від підлоги в місцях, де будуть розташовані електроприлади.

9. Під час прокладання кабелів врахувати допустиму відстань від розеток до газових і водопровідних труб – не менше 50 см.

10. Відповідно до норм, мінімальна кількість розеток становить одну на 6 кв. м площі, на кухні рекомендується щонайменше три.



Рис. 8.1. Схематичне розташування електропроводки у будинку.

Після нанесення на план розеток і вимикачів необхідно визначити оптимальне місце для розташування електрощита. Воно має бути зручним для доступу, безпечним і забезпечувати мінімальну довжину кабелів.

Розглянемо варіанти розведення електропроводки.

1. Окремий кабель від щита до кожного елемента (вимикача чи розетки). Це найнадійніший, але найдорожчий варіант. Він мінімізує ризики, адже виключає використання з'єднань і розподільчих коробок, які можуть знижувати якість електропостачання.

2. Окремий кабель до кожної кімнати, де електрика розподіляється через коробки або методом шлейфу. Це оптимальний варіант у співвідношенні ціна/якість.

3. Два кабелі для всієї квартири: один для освітлення, другий для розеток. Найдешевший спосіб, доречний лише за мінімального бюджету.

Технічні рекомендації до вибору кабелів.

- Провід для освітлення – переріз $1,5 \text{ мм}^2$, для розеток – $2,5 \text{ мм}^2$.
- Для потужних споживачів ($>3,5 \text{ кВт}$) переріз підбирається окремо: до $4,5 \text{ кВт}$ – 4 мм^2 , до 8 кВт – 6 мм^2 .
- Рекомендується проводити два кабелі в кожен кімнату: один для освітлення, другий для розеток, а також окремі лінії для потужних приладів (пральна машина, електроплита, котел тощо).

Після проектування можна детально оцінити витрати матеріалів і скласти кошторис робіт, що дозволить уникнути зайвих витрат і забезпечить надійну роботу електромережі.

Основним критерієм вибору електропроводу є матеріал його жил – мідь або алюміній. Хоча алюмінієві дроти дешевші, вони поступаються мідним за кількома важливими характеристиками:

1. Нижча електропровідність, що знижує ефективність передачі струму.
2. Швидке окислення, яке погіршує контакт і зменшує надійність з'єднань.

3. Менша гнучкість і підвищена крихкість, що може призвести до пошкоджень після кількох підключень.

4. Коротший термін експлуатації, у порівнянні з мідними проводами.

Зважаючи на ці недоліки, оптимальним вибором для електропроводки є мідний провід. Він забезпечує високу надійність, довговічність і безпеку.

Вибір перетину проводу.

Для монтажу внутрішньої електромережі у квартирі або приватному будинку рекомендовані такі перетини кабелю:

- 4–6 мм² – для основного підключення від загального електрощита або магістралі.
- 2,5 мм² – для силової розводки у приміщеннях.
- 1,5 мм² – для освітлювальної мережі.
- 4 мм² – для кухонної електропроводки.

Завжди варто обирати трижильний кабель із заземленням. У старих будинках, де немає окремого заземлювального провідника, можна використовувати армувальну металеву сітку залізобетонних конструкцій, за умови її належного зварювання та заземлення. Використання заземлених електроприладів значно знижує ризик ураження електричним струмом, особливо у вологих приміщеннях.

Не можна поєднувати заземлюючий провідник із нульовим проводом електромережі (занулення). Це створює небезпеку у випадку обриву «нуля» або неправильного підключення фаз і нуля в електрощиті. У таких ситуаціях корпуси приладів можуть опинитися під напругою, що є смертельно небезпечним.

Для прокладання домових електромереж найчастіше використовуються наступні марки кабелів.

Кабель ВВГ (рис. 8.2 а) – це силовий електричний кабель з монолітними мідними жилами, покритими ізоляцією з ПВХ і захищений зовнішньою оболонкою з того ж матеріалу. Він може бути як круглої, так і плоскої форми, що дозволяє зручно прокладати його в кабельних каналах або штробах. У порівнянні з кабелем марки NYM, ВВГ є більш компактним.

Існує варіант цього кабелю з негорючою ізоляцією та оболонкою – ВВГнг. Завдяки спеціальним добавкам у складі, він не підтримує горіння, що робить його пожежобезпечним і суттєво підвищує рівень електробезпеки вашого будинку.

Кабель ВВГ підходить для використання як у сухих, так і у вологих приміщеннях. Завдяки своєму співвідношенню ціни та якості, це чудовий вибір для силової електропроводки в квартирах і приватних будинках.

Кабель NYM (нум) (рис. 8.2 б) виготовлений з мідних одно-дротяних жил, ізольованих шаром ПВХ. Його захищають дві оболонки:

- внутрішній шар із крейдяної гуми, що забезпечує пожежобезпечність;
- зовнішній захисний шар із ПВХ.

Кабель має круглу форму, характеризується м'якістю, що робить його зручним у монтажі та простим для обробки.

ПВС (рис. 8.2. в) – це гнучкий кабель круглої форми, виготовлений із мідних багато-дротяних жил, які проходять процес відпалу. Ізоляція та зовнішня оболонка виконані з ПВХ. Завдяки високій гнучкості, ПВС здебільшого застосовується для підключення різних електроприладів. У силових електропроводках використовується рідко. Кабель призначений для експлуатації та монтажу в температурному діапазоні від -15°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

ПУНП / ПБПП (рис. 8.2 г) – за технічними параметрами нагадує кабель ВВГ. Він виготовлений із одно-дротяної мідної жили, ізольованої та захищеної ПВХ оболонкою. У порівнянні з ВВГ, ПУНП / ПБПП має тонший шар ізоляції, що робить його дешевшим. Завдяки цьому кабель часто використовують для монтажу силових електромереж у житлових приміщеннях.

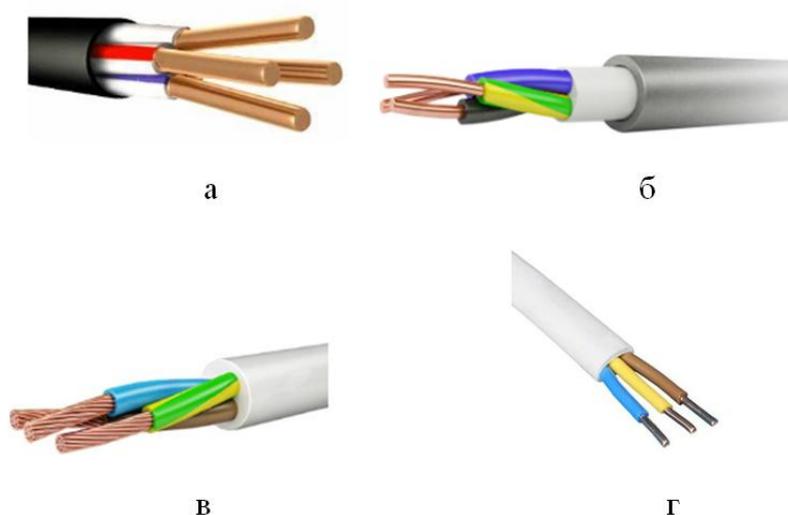


Рис. 8.2. Зовнішній вигляд кабелів, що найчастіше використовуються для домових електромереж.

Розглянемо схеми підключення розетки та вимикачів.

Схема підключення електричної розетки є важливою складовою у сфері електромонтажу та будівництва. Вона визначає порядок правильного підключення розеток у різних приміщеннях, таких як житлові будинки, офіси, виробничі цехи та інші місця, де потрібне електропостачання.

Вибір схеми підключення розеток залежить від рівня навантаження – потужного чи малопотужного. При цьому використовується 3-х жильна проводка (L, N, PE), відповідно до сучасної електробезпеки (ПУЕ), де:

- L - робочий провід (фаза);
- N - робочий нуль;
- PE - захисне заземлення.

1. *Паралельне підключення (схема «Зірка»):* кожна розетка підключається до щитка окремим кабелем (рис. 8.3). Це забезпечує високу надійність і максимальну безпеку, що робить такий метод ідеальним для потужних споживачів, як-от пральна машина, сушильна машина чи системи «розумний дім». Однак цей спосіб є дорогим через значні витрати на кабель та штроблення стін.

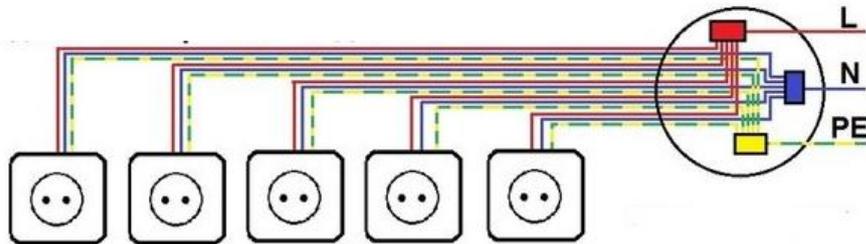


Рис. 8.3. Паралельне підключення розеток.

2. *Послідовне підключення:* від однієї лінії живлення підключається група пристроїв. Розгалуження виконується у розподільчих коробках за допомогою клем типу «WAGO», пайки чи скруток (рис. 8.3). Цей спосіб підходить для приладів із невеликою потужністю, наприклад, телевізора, фена, праски чи комп'ютера.

Обираючи схему, слід враховувати як потужність електроприладів, так і бюджет на монтаж.

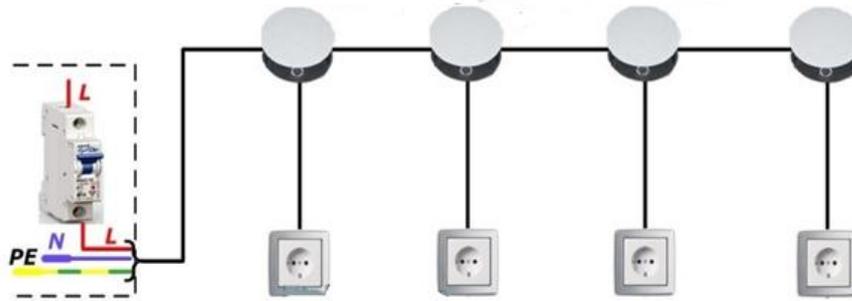


Рис. 8.4. Послідовне підключення розеток.

Розглянемо особливості підключення вимикачів.

Підключення одноклавішного вимикача світла.

У процесі монтажу необхідно виконати в розподільній коробці з'єднання кабелів, які з'єднують вимикач, світильник і джерело живлення (автомат у щиті). Якщо ці елементи ще не встановлені, потрібно визначити їхнє розташування і виконати необхідні підготовчі роботи.

Далі слід:

1. Вибрати спосіб прокладки кабелів (відкритий або прихований).
2. Прокласти відрізки кабелів необхідної довжини з запасом 10-15 см.
3. Зачистити кінці проводів.
4. З'єднати провідники, дотримуючись кольорового маркування.

Спочатку підключається пристрій захисту, потім у розподільній коробці з'єднують фазні та нульові провідники живлення (від щита), світильника й вимикача (рис. 8.5).

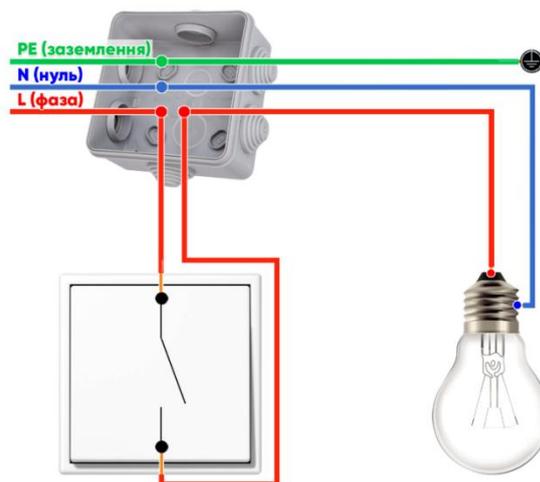


Рис. 8.5. Під'єднання одноклавішного вимикача.

Послідовність з'єднань виглядає так:

- Червоний фазний провід від розподільного щита з'єднується з червоним проводом вимикача.

- Синій провід вимикача підключається до червоного проводу світильника (це комутаційна фаза лампи).
- Нульовий синій провід від щита з'єднується з нульовим синім проводом світильника.

Таким чином, нуль напряму йде до світильника, а фаза підключається до нього через вимикач. Завдяки цьому, коли натискається клавiша вимикача, коло замикається, подаючи фазу на світильник, і лампа загоряється. При повторному натисканні клавiші коло розривається, і світло вимикається.

Підключення двоклавiшного вимикача світла.

Схема підключення двоклавiшного вимикача світла показано на рис. 8.6.

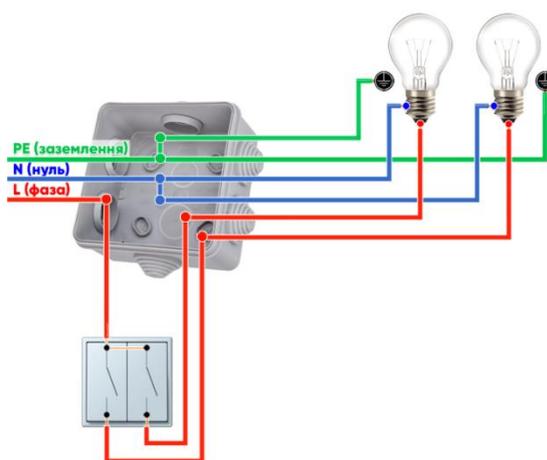


Рис. 8.6. Під'єднання двоклавiшного вимикача.

Підключення двоклавiшного вимикача через розподiльчу коробку може здаватися складним, але якщо дотримуватися правильної схеми та iнструкцiй, завдання стає цiлком зрозумiлим.

Двоклавiшний вимикач дає змогу керувати двома групами освiтлення незалежно одна вiд одної. Це дуже зручно у рiзних ситуацiях, наприклад:

- *Вiтальня з кiлькама джерелами свiтла.* У кiмнатi можна встановити двi окремi групи ламп: одну для загального освiтлення, а iншу для створення настрою. Завдяки двоклавiшному вимикачу можна вклучати кожну групу окремо, залежно вiд потреби.
- *Коридор з нiчним i загальним освiтленням.* У коридорi можна використовувати одну групу ламп для основного освiтлення, а iншу – для нiчного. Це дозволяє за допомогою вимикача обирати потрібне джерело свiтла вiдповiдно до часу доби або ситуацiї.

Контрольнi запитання до лекцiї №8.

1. Які основні типи джерел світла за способом перетворення енергії виділяються в тексті та чим вони відрізняються?
2. Назвіть та поясніть три види випромінювання в оптичному діапазоні електромагнітного спектра, які перетворюють джерела світла.
3. Які групи параметрів використовуються для оцінки джерел світла, і що вони описують? Наведіть приклади хоча б трьох параметрів для кожної групи.
4. Поясніть, що таке індекс передачі кольору (CRI або Ra), як він оцінюється і які його значення вважаються добрими або слабкими?
5. Які етапи включає процес монтажу електропроводки в квартирі? Опишіть ключові моменти кожного етапу.
6. Назвіть три варіанти розведення електропроводки в будинку та вкажіть переваги та недоліки кожного з них.
7. Які технічні рекомендації щодо вибору перетину кабелів наведені в тексті для різних типів навантажень (освітлення, розетки, потужні споживачі)?
8. Чому мідний провід є оптимальним вибором для електропроводки, незважаючи на те, що алюмінієві дроти дешевші? Назвіть щонайменше три причини.
9. Опишіть відмінності та особливості застосування кабелів ВВГ та NYM.
10. Поясніть послідовність підключення одноклавішного вимикача світла, вказуючи, які дроти з'єднуються і чому нуль йде безпосередньо до світильника, а фаза через вимикач.

ЛЕКЦІЯ 9. ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

9.1. Загальна характеристика та класифікація електроприймачів спеціального призначення.

Електроприймачі спеціального призначення становлять окрему та важливу категорію електричних пристроїв, що вирізняються своїми функціональними особливостями, умовами експлуатації та, як правило, підвищеними вимогами до надійності, безпеки та специфічних параметрів роботи. На відміну від електроприймачів загального призначення (освітлення, побутова техніка тощо), вони використовуються для виконання конкретних, часто унікальних технологічних процесів або функцій у промисловості, транспорті, медицині, зв'язку, обороні та інших спеціалізованих галузях.

Електроприймачі спеціального призначення призначені для виконання вузькоспеціалізованих завдань, що вимагають особливих режимів роботи, високої точності, певних характеристик вихідних параметрів (наприклад, висока температура, тиск, специфічне випромінювання). Часто працюють у складних, а іноді й екстремальних умовах: високі та низькі температури, агресивні середовища, висока вологість, вібрації, ударні навантаження, електромагнітні перешкоди, вибухонебезпечні зони. Це вимагає від них особливої конструкції, матеріалів та ступеня захисту.

Багато з них виготовляються за індивідуальними замовленнями або малими серіями, оскільки їх параметри та конструкція сильно залежать від конкретного застосування. Збій у роботі таких електроприймачів може призвести до серйозних наслідків: аварій, зупинки виробництва, втрати даних, загрози життю та здоров'ю людей. Тому до них висуваються жорсткі вимоги щодо надійності, живучості, пожежо- та вибухобезпеки.

Деякі електроприймачі спеціального призначення є чутливими до параметрів живильної напруги (стабільність частоти, рівень вищих гармонік, симетрія фаз), що вимагає використання спеціальних систем живлення та фільтрації.

Зазвичай такі пристрої є частиною складних технологічних комплексів, автоматизованих систем управління, робототехнічних комплексів, що вимагає їх сумісності та взаємодії з іншими елементами системи.

Класифікація електроприймачів спеціального призначення може здійснюватися за різними критеріями, що відображають їх різноманітність та особливості.

1. *За галуззю застосування.*

Промислові. Електродвигуни для спеціальних приводів (наприклад, металургійні крани, прокатні стани), індукційні та дугові печі, електролізери, електрозварювальні апарати, компресори, насоси для агресивних середовищ, верстати з ЧПК.

Транспортні. Електродвигуни для електровозобудування, електротранспорту (трамваї, тролейбуси, електромобілі), приводи для підйомних механізмів на судах, авіаційне електрообладнання.

Медичні. Медичне діагностичне обладнання (МРТ, КТ, УЗД-апарати), хірургічні інструменти, реанімаційне обладнання, лабораторні прилади.

Зв'язок та телекомунікації. Обладнання для базових станцій, супутникових систем зв'язку, радіолокаційні станції, передавачі.

Оборонні та космічні. Спеціальні приводи, системи наведення, бортове електрообладнання, системи життєзабезпечення.

Сільськогосподарські. Електроприводи для спеціалізованої сільськогосподарської техніки, обладнання для меліорації та тваринництва.

2. *За принципом дії або характером перетворення енергії.*

Нагрівальні. Електричні печі (індукційні, дугові, опору), електронагрівачі рідин і газів, сушильні камери.

Механічні (приводні). Спеціальні електродвигуни (наприклад, вибухозахищені, високошвидкісні, низькообертові, лінійні).

Хімічні. Електролізери (для виробництва алюмінію, хлору, водню), обладнання для гальваніки.

Світлові. Спеціальні освітлювальні прилади (наприклад, для хірургії, фотолітографії, кіноіндустрії), лазери.

Випромінюючі. Рентгенівські апарати, надвисокочастотні (НВЧ) генератори.

Обчислювальні та інформаційні. Сервери, суперкомп'ютери, телекомунікаційне обладнання.

3. *За режимом роботи.*

Тривалий. Електролізери, насоси безперервної дії.

Короткочасний. Зварювальні апарати, пускові пристрої.

Повторно-короткочасний. Кранові електродвигуни, приводи прокатних станів.

Переривчастий (з періодичними паузами). Деякі медичні апарати, технологічне обладнання з циклічним режимом.

4. *За ступенем захисту від зовнішніх впливів.*

Захищені. Для звичайних виробничих умов.

Пилозахищені, вологозахищені. Для умов підвищеної запиленості або вологості.

Вибухозахищені. Для роботи у вибухонебезпечних зонах (шахти, хімічні заводи, нафтопереробні підприємства).

Герметичні. Для роботи у вакуумі або під водою.

5. *За рівнем напруги.*

Низьковольтні. До 1000 В.

Високовольтні. Понад 1000 В (наприклад, високовольтні електродвигуни, трансформатори для спеціальних цілей).

9.2. Типи електроприймачів спеціального призначення та їх застосування.

Електроприймачі спеціального призначення становлять величезний спектр пристроїв, що відрізняються від побутових та загальнопромислових своєю унікальною функціональністю, високими вимогами до надійності, безпеки та пристосованістю до складних або специфічних умов експлуатації. Їхня класифікація ґрунтується на різноманітних критеріях, але найчастіше їх розрізняють за принципом дії, технологічним призначенням та галуззю застосування.

Розглянемо основні типи електроприймачів спеціального призначення та їх застосування.

1. *Електротермічні установки.* Це один з найпоширеніших типів, призначений для перетворення електричної енергії в теплову.

Електродугові печі. Використовуються для плавки металів (сталі, чавуну, кольорових металів) у металургії. Вони забезпечують високі температури та інтенсивний нагрів. Прикладами є дугові сталеплавильні печі (ДСП) та вакуумні дугові печі (ВДП).

Індукційні печі та установки. Застосовуються для плавки, термічної обробки (загартування, відпуску, відпалу), нагрівання металів перед деформацією. Принцип дії заснований на індукційному нагріві струмами Фуко. Широко використовуються в машинобудуванні, металургії, ювелірній справі.

Електричні печі опору. Використовуються для термічної обробки матеріалів, сушки, випалу кераміки, скла, полімеризації покриттів. Вони можуть бути муфельними, камерними, тунельними, шахтними, тощо, і забезпечують рівномірний та контрольований нагрів.

Електрозварювальні установки. Дозволяють з'єднувати метали за допомогою електричної дуги (дугове зварювання) або опору (контактне зварювання). Це можуть бути як стаціонарні промислові комплекси, так і переносні апарати спеціального призначення (наприклад, для зварювання під водою або в космосі).

2. *Спеціальні електродвигуни та приводи.* На відміну від стандартних промислових двигунів, ці пристрої оптимізовані для специфічних умов роботи.

Вибухозахищені електродвигуни. Призначені для роботи у вибухонебезпечних зонах (нафтогазова промисловість, хімічна промисловість, вугільні шахти). Їхня конструкція запобігає іскроутворенню та нагріву, що може спричинити вибух.

Високошвидкісні та низькообертові двигуни. Використовуються там, де потрібні або надвисокі швидкості обертання (наприклад, у шпинделях верстатів з ЧПК, центрифугах), або дуже низькі швидкості з високим моментом (наприклад, у приводних механізмах телескопів, роботів).

Лінійні електродвигуни. Забезпечують прямолінійний рух без використання проміжних механічних передач. Застосовуються в магнітолевітаційних поїздах, верстатах з ЧПК, автоматизованих системах переміщення.

Серводвигуни. Високоточні двигуни з системою зворотного зв'язку, що дозволяють точно контролювати положення, швидкість та прискорення. Незамінні в робототехніці, автоматизованих лініях, прецизійних верстатах.

Електродвигуни для транспорту. Це тягові двигуни для електровозобудування, електробусів, метрополітену, трамваїв, тролейбусів. Вони розробляються з урахуванням специфіки тягових навантажень, вібрацій та змінних умов руху.

3. *Електрохімічні установки.*

Електролізери. Використовуються для отримання різних речовин шляхом електролізу (наприклад, виробництво алюмінію, хлору, водню, кисню). Застосовуються в металургії, хімічній промисловості.

Гальванічні ванни. Застосовуються для нанесення металевих покриттів на поверхню виробів (хромування, нікелювання, цинкування) для захисту від корозії або надання декоративних властивостей.

4. *Електроприймачі медичного призначення.*

МРТ-апарати (магнітно-резонансні томографи) та КТ-апарати (комп'ютерні томографи). Високотехнологічне діагностичне обладнання, що вимагає стабільного та надійного електроживлення.

Хірургічні електроінструменти. Електрокоагулятори, лазерні скальпелі та інші пристрої, що використовуються в операційних. Вимагають високої точності та безпеки.

Обладнання для життєзабезпечення. Апарати штучної вентиляції легень, дефібрилятори, монітори пацієнтів. Ці пристрої є критично важливими, і їх живлення часто відноситься до особливої категорії надійності.

5. *Електроприймачі для зв'язку, телекомунікацій та інформаційних технологій.*

Телекомунікаційне обладнання. Базові станції мобільного зв'язку, супутникові антени, комунікаційні сервери. Забезпечують безперебійну передачу даних.

Обладнання центрів обробки даних (ЦОД). Сервери, системи зберігання даних, мережеве обладнання. Вимагають стабільного електроживлення з високим ступенем надійності та часто використовують системи безперебійного живлення (UPS).

Радіолокаційні станції (РЛС). Використовуються для виявлення та відстеження об'єктів. Вимагають потужних НВЧ-генераторів та точних приводів антен.

6. *Електроприймачі систем безпеки та життєзабезпечення будівель.*

Протипожежні пристрої. Пожежні насоси, системи димовидалення, сигналізація. Відносяться до першої, а часто й до особливої категорії надійності електропостачання.

Ліфти та ескалатори. Важливі для функціонування багатоповерхових будівель, а в деяких випадках (пожежні ліфти) також належать до особливої групи.

Аварійне та евакуаційне освітлення. Забезпечує безпеку людей у разі відключення основного електропостачання.

Охоронна сигналізація та системи контролю доступу. Важливі для забезпечення безпеки об'єктів. Ці типи електроприймачів, незважаючи на свою різноманітність, об'єднує спільна риса: вони є критично важливими елементами складних систем і технологічних процесів, і їхня безперебійна та надійна робота є запорукою функціональності, безпеки та ефективності в багатьох сферах людської діяльності.

9.3. Енергоспоживання електроприймачів спеціального призначення.

Енергоспоживання електроприймачів спеціального призначення є критично важливим аспектом, що впливає на ефективність, безпеку та економічну доцільність їх використання. На відміну від побутових приладів, де основним критерієм є загальне споживання енергії, для спеціальних електроприймачів важливими є також особливі вимоги до надійності, безперебійності живлення та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Електроприймачі спеціального призначення часто характеризуються наступними параметрами.

Високою потужністю. Деякі пристрої, такі як медичні томографи, промислові лазери або потужні телекомунікаційні передавачі, вимагають значної електричної потужності.

Специфічними режимами роботи. Робота може бути циклічною, імпульсною, з періодами пікових навантажень та простою, що ускладнює оцінку та оптимізацію енергоспоживання.

Вимогами до безперебійності. Для критично важливого обладнання (наприклад, у медичних закладах, на об'єктах зв'язку, в системах безпеки) будь-яка перерва в електропостачанні може мати катастрофічні наслідки. Це призводить до необхідності використання джерел безперебійного живлення (ДБЖ), генераторів, акумуляторних систем, які самі по собі мають власне енергоспоживання та потребують обслуговування.

Вимогами до якості електроенергії. Стабільність напруги, частоти, мінімальний рівень гармонік та відсутність провалів напруги є критично важливими для чутливих електронних

компонентів. Забезпечення цих параметрів може вимагати використання додаткового обладнання (стабілізаторів, фільтрів), яке також споживає енергію.

Умовами експлуатації. У вибухонебезпечних, агресивних або екстремальних температурних умовах електроприймачі можуть потребувати додаткового захисту (наприклад, вибухозахищені оболонки, системи охолодження/обігріву), що також збільшує загальне енергоспоживання системи.

Розглянемо особливості енергоспоживання деяких електроприймачів спеціального призначення.

Медичне обладнання.

Діагностичне обладнання (МРТ, КТ). Є одними з найбільш енергоємних, споживаючи значні обсяги енергії під час сканування та в режимі очікування. Оптимізація їх енергоспоживання є пріоритетом для медичних закладів.

Хірургічне та реанімаційне обладнання. Вимагає стабільного та безперебійного живлення, часто від ДБЖ. Енергоспоживання може бути значним, особливо для високотехнологічних приладів.

Лабораторне обладнання. Може мати постійне або циклічне енергоспоживання залежно від типу аналізів.

Телекомунікаційне обладнання.

Сервери та центри обробки даних (ЦОД). Споживають величезну кількість енергії не тільки на роботу самого обладнання, а й на його охолодження. Енергоефективність є ключовим фактором при проектуванні та експлуатації ЦОД.

Базові станції мобільного зв'язку. Працюють цілодобово і є значними споживачами електроенергії, особливо у віддалених районах, де можливе використання альтернативних джерел живлення.

Вибухозахищене обладнання.

Електродвигуни, світильники, контрольно-вимірвальні прилади. Хоча саме захисне виконання не завжди безпосередньо впливає на споживання електроенергії, воно може підвищувати масу та розміри обладнання, а також потребувати додаткових компонентів (наприклад, систем вентиляції чи охолодження), що опосередковано впливає на енергоефективність. Важливою є мінімізація енергоспоживання іскробезпечних схем.

Електроприймачі для транспорту.

Електротранспорт (електромобілі, потяги). Основний споживач енергії – тяговий електродвигун. Енергоспоживання залежить від ефективності двигуна, рекуперації енергії, маси транспортного засобу та умов експлуатації.

Зниження енергоспоживання електроприймачів спеціального призначення є актуальним завданням з економічної та екологічної точок зору. Основні напрямки включають:

Використання енергоефективних технологій (впровадження нових поколінь пристроїв з вищим ККД, оптимізація схемотехнічних рішень для зниження втрат потужності.

Раціональне використання та управління (застосування датчиків, контролерів та програмного забезпечення для автоматичного ввімкнення/вимкнення, регулювання потужності відповідно до реальних потреб, встановлення систем обліку та аналізу енергії для економії.

Оптимізація інфраструктури (ефективні системи охолодження, оптимізація систем електропостачання, використання компенсаторів реактивної потужності).

Експлуатаційні заходи (регулярне технічне обслуговування, оновлення обладнання).

Контрольні запитання до лекції №9.

1. Чим електроприймачі спеціального призначення відрізняються від електроприймачів загального призначення, і в яких галузях вони використовуються?
2. Які особливі вимоги висуваються до конструкції, матеріалів та ступеня захисту електроприймачів спеціального призначення, з огляду на умови їхньої експлуатації?
3. Чому багато електроприймачів спеціального призначення виготовляються за індивідуальними замовленнями або малими серіями?
4. Назвіть три можливі наслідки збою в роботі електроприймачів спеціального призначення.
5. Які параметри живильної напруги є особливо важливими для деяких чутливих електроприймачів спеціального призначення?
6. Перерахуйте три галузі застосування, за якими класифікуються електроприймачі спеціального призначення, та наведіть по одному прикладу для кожної.
7. Які типи електроприймачів відносяться до «нагрівальних» за принципом дії, і де вони застосовуються?
8. Опишіть відмінності між тривалим, короткочасним та повторно-короткочасним режимами роботи електроприймачів спеціального призначення, наводячи приклади.
9. Чим відрізняються вибухозахищені електроприймачі від герметичних за ступенем захисту від зовнішніх впливів, і де кожен з них застосовується?
10. Наведіть приклади електроприймачів спеціального призначення, які класифікуються за рівнем напруги як «високовольтні».

ЛЕКЦІЯ 10. СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

10.1. Особливості енергоспоживання у системах з відновлюваними джерелами.

Індивідуальні особливості енергоспоживання в системах з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) визначаються їхньою нестабільністю та залежністю від природних умов. Це вимагає складних підходів до проектування, управління та експлуатації таких систем.

На відміну від традиційних джерел енергії, вихідна потужність ВДЕ (сонячних панелей, вітрових турбін) постійно змінюється протягом доби, сезону та залежить від погодних умов. Це створює проблему узгодження виробництва та споживання.

Для сонячних електростанцій (СЕС) пік генерації припадає на денні години, коли інтенсивність сонячного випромінювання максимальна, і описується приблизно такою залежністю:

$$P_{сон} = \eta IS,$$

де η – ККД сонячної панелі, S – площа панелі, I – інтенсивність сонячного випромінювання (Вт/м²).

Для вітрових електростанцій (ВЕС) потужність залежить від швидкості вітру за кубічною залежністю:

$$P_{віт} = 21\rho v^3 C,$$

де ρ – густина повітря, S – площа, що омивається лопатями турбіни, v – швидкість вітру, C – коефіцієнт потужності (коефіцієнт Беца).

Часто піки виробництва ВДЕ не збігаються з піками споживання енергії. Наприклад, сонячні панелі генерують максимальну енергію вдень, тоді як пік споживання домогосподарствами може припадати на вечірні години. Це призводить до необхідності зберігання енергії. Акумуляторні батареї є основним рішенням для зберігання надлишкової енергії. Ємність акумуляторної батареї ЕАКБ (кВт·год) повинна бути достатньою для покриття нічного або безвітряного періоду, а її розрахунок може базуватися на добовому споживанні. Надлишкова енергія може експортуватися в центральну електромережу за принципом «зеленого тарифу» або нетто-вимірювання, а в разі нестачі енергії – імпортуватися з мережі. Баланс енергії в такій системі може бути описаний як:

$$E_{ген} + E_{імпорт} = E_{спож} + E_{експорт},$$

де $E_{ген}$ – згенерована енергія, $E_{імпорт}$ – імпортована енергія, $E_{спож}$ – спожита енергія, $E_{експорт}$ – експортована енергія.

Ефективне функціонування систем з ВДЕ вимагає точного прогнозування генерації та споживання, а також інтелектуальних систем управління енергією (EMS). EMS

використовують певні алгоритми для оптимізації потоків енергії, враховуючи прогнози, тарифи та стан накопичувачів:

- точність прогнозування генерації сонячної енергії залежить від точності прогнозу сонячного випромінювання та температури навколишнього середовища;
- прогнозування вітрової генерації базується на метеорологічних моделях і даних про швидкість вітру.

Початкові інвестиції у ВДЕ можуть бути значними, але операційні витрати значно нижчі порівняно з традиційними електростанціями. Окупність проекту залежить від «зелених тарифів», цін на електроенергію, доступності державних стимулів та тривалості експлуатації. Через нестабільність ВДЕ можуть виникати проблеми з якістю енергії (коливання напруги, частоти) та надійністю електропостачання, особливо в автономних системах. Використання інверторів, стабілізаторів та систем резервування є критично важливим для забезпечення стабільності.

Врахування цих особливостей є вирішальним для успішного впровадження та ефективного функціонування систем з відновлюваними джерелами енергії.

10.2. Інтелектуальні системи керування споживанням.

Інтелектуальні системи керування споживанням (ІСКС) є наріжним каменем сучасної енергетики, що еволюціонує в концепцію Smart Grid (розумна мережа). Ці системи забезпечують двосторонній потік інформації та енергії, дозволяючи оптимізувати використання ресурсів, інтегрувати відновлювані джерела енергії (ВДЕ) та залучати споживачів до активного управління їхнім енергоспоживанням.

Smart Grid – це інтегрована, самовідновлювальна електрична мережа, яка використовує сучасні цифрові технології, інформаційні системи та аналітику для моніторингу, контролю та оптимізації передачі та розподілу електроенергії від усіх джерел до кінцевих споживачів. Розглянемо ключові елементи Smart Grid.

Smart Metering (розумні лічильники). Це електронні пристрої, що забезпечують двосторонній зв'язок між споживачем та постачальником енергії. На відміну від традиційних лічильників, вони збирають дані про споживання енергії в реальному часі або з високою деталізацією (наприклад, кожні 15-30 хвилин). Ці дані передаються до центральної системи, дозволяючи аналізувати профіль споживання, виявляти піки та надавати споживачам детальну інформацію про їхнє використання енергії.

Автоматизоване керування споживанням / Керування попитом. Це стратегії, спрямовані на зміну профілю споживання електроенергії для оптимізації навантаження на

мережу. ІСКС автоматизують цей процес, використовуючи алгоритми та дані від розумних лічильників. Основні методи включають наступні моменти.

- Зниження пікового навантаження (Peak Shaving). Зменшення споживання під час годин пік, коли ціни на енергію найвищі, або коли мережа знаходиться під максимальним навантаженням.
- Перенесення навантаження (Load Shifting). Перерозподіл енергоємних завдань на періоди з низькими тарифами або високою доступністю ВДЕ.
- Наповнення долини (Valley Filling). Збільшення споживання в періоди низького попиту для вирівнювання кривої навантаження та більш ефективного використання генераційних потужностей.
- Для ефективного автоматизованого керування споживанням використовуються оптимізаційні алгоритми, які мінімізують загальні витрати або максимізують економію, враховуючи обмеження (наприклад, комфорт користувача, технічні можливості пристроїв).

З розвитком ВДЕ (наприклад, дахові сонячні панелі, невеликі вітрові установки) традиційна модель «споживач» трансформується в просьюмер – термін, що поєднує «producer» (виробник) і «consumer» (споживач). Просьюмер не тільки споживає електроенергію з мережі, але й генерує її, а надлишок може продавати назад у мережу або зберігати для власного використання. Це кардинально змінює парадигму взаємодії споживача з енергосистемою. Розумна мережа та розумні лічильники забезпечують цей двосторонній обмін. Просьюмер отримує дані про ціни на енергію в реальному часі та може приймати обґрунтовані рішення щодо використання власної генерації, зберігання або продажу. Просьюмер прагне максимізувати власне використання виробленої енергії (self-consumption) та мінімізувати залежність від мережі. Просьюмери можуть брати участь у програмах керування попитом, продавати надлишкову енергію за динамічними тарифами (наприклад, «зелений тариф») або навіть брати участь у пірингових енергетичних ринках, обмінюючись енергією з іншими просьюмерами в локальній мережі.

ІСКС, Smart Grid та модель просьюмера спільно формують децентралізовану, гнучку та стійку енергетичну систему майбутнього. Вони дозволяють ефективно інтегрувати ВДЕ, підвищити енергоефективність, знизити витрати та залучити споживачів до активної ролі в управлінні їхнім енергетичним профілем.

10.3. Перспективи і виклики інтеграції споживачів в енергосистему майбутнього.

Інтеграція споживачів в енергосистему майбутнього є одним із ключових аспектів трансформації енергетичного сектору, що веде до створення децентралізованих, гнучких та стійких Smart Grids. Цей процес перетворює пасивних споживачів на активних учасників (просьюмерів), що мають змогу впливати на енергетичні потоки. Однак, незважаючи на значні перспективи, існують і серйозні виклики, які потребують системного вирішення.

Розглянемо перспективи інтеграції споживачів.

1. *Підвищення гнучкості та стійкості енергосистеми.* Активне керування попитом дозволяє балансувати коливання генерації від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зменшуючи необхідність у резервних потужностях. Це може бути виражено через коефіцієнт гнучкості системи K_{flex} , який зростає зі збільшенням частки керованого навантаження.

2. *Оптимізація використання ВДЕ.* Інтеграція споживачів дозволяє ефективніше використовувати надлишкову енергію від сонячних та вітрових станцій, що зменшує втрати та покращує коефіцієнт використання потужності K ВДЕ:

$$K = \frac{\text{Фактична генерація ВДЕ}}{\text{Максимальна можлива генерація ВДЕ}}$$

Активне керування споживанням може підвищити K шляхом синхронізації споживання з піками генерації.

3. *Зниження витрат на енергію.* Споживачі можуть оптимізувати своє споживання, використовуючи енергію в періоди низьких тарифів або високої генерації ВДЕ, що призводить до прямої фінансової економії.

4. *Створення нових бізнес-моделей та послуг.* Активна участь споживачів відкриває можливості для агрегаторів попиту, постачальників послуг з управління енергією, компаній, що пропонують енергоефективні рішення, та розробників програмного забезпечення для розумних будинків та підприємств.

5. *Екологічні переваги.* Зменшення пікових навантажень та збільшення частки ВДЕ у енергетичному міксі сприяє зниженню викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин.

Інтеграція споживачів у сучасні системи відновлюваної енергетики супроводжується низкою викликів, які потребують комплексного вирішення. Одним із ключових питань є кібербезпека та конфіденційність даних. Збір великих обсягів інформації про енергоспоживання через розумні лічильники та пристрої створює серйозні ризики щодо несанкціонованого доступу, що може призвести до витоку особистої інформації або маніпуляцій з мережею. Надійний захист даних є критично важливим для довіри споживачів.

Ще однією проблемою є недосконалість нормативно-правової бази та моделей тарифоутворення. Чинне законодавство часто не відповідає викликам децентралізованої

енергосистеми та зростаючій ролі просьюмерів – споживачів, які одночасно виробляють і споживають енергію. Необхідна розробка нових підходів до тарифоутворення, таких як динамічні тарифи або тарифи в реальному часі, а також механізмів оплати за керування попитом та регламентованої взаємодії всіх учасників ринку.

Технологічна готовність та сумісність пристроїв також є важливим викликом. Впровадження інтелектуальних систем керування вимагає значних інвестицій у новітнє обладнання: розумні лічильники, сенсори, комунікаційні мережі та програмне забезпечення. Забезпечення інтероперабельності між пристроями від різних виробників – складне, але необхідне завдання для стабільної роботи систем.

Суттєвим аспектом залишаються соціальні та психологічні фактори. Активна участь споживачів неможлива без належного інформування про переваги нових технологій, зручного та інтуїтивного інтерфейсу користувача, а також економічних стимулів. Важливо уникати ситуацій, коли автоматизація сприймається як втрата контролю над власним споживанням.

Ще один виклик – це складність системного управління. Із зростанням кількості розподілених джерел генерації та керованих навантажень зростає і складність балансування енергетичної системи. Необхідне використання штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування, оптимізації та ухвалення рішень у режимі реального часу. Це створює значне обчислювальне навантаження, яке може зростати пропорційно добутку кількості споживачів та параметрів стану системи.

Нарешті, слід враховувати питання якості електроенергії та стабільності мережі. Висока частка розподіленої генерації може призвести до коливань напруги та частоти, що негативно впливає на роботу електроустаткування. Щоб уникнути таких наслідків, необхідне попереднє планування та використання технологій стабілізації, таких як інвертори та акумуляторні системи.

Вирішення цих викликів потребує скоординованих зусиль урядів, регуляторних органів, енергетичних компаній, технологічних розробників та самих споживачів. Успішна інтеграція споживачів є ключем до створення ефективної, екологічної та економічно вигідної енергосистеми майбутнього.

Контрольні запитання до лекції №10.

1. Чому індивідуальні особливості енергоспоживання в системах з ВДЕ вимагають складних підходів до проектування, управління та експлуатації?
2. Як описується залежність потужності сонячних електростанцій від інтенсивності сонячного випромінювання та які параметри входять у цю формулу?

3. Яким чином швидкість вітру впливає на потужність вітрових електростанцій згідно з наведеною кубічною залежністю, і які складові враховуються у цій формулі?
4. Які дві основні проблеми виникають через невідповідність піків виробництва ВДЕ та піків споживання енергії, і які рішення для їхнього подолання згадуються в тексті?
5. Як формула $E_{\text{ген}} + E_{\text{імпорт}} = E_{\text{спож}} + E_{\text{експорт}}$ відображає баланс енергії в системі з ВДЕ, інтегрованої з центральною електромережею?
6. Що таке Smart Grid і яку роль у ній відіграють Smart Metering та автоматизоване керування споживанням?
7. Назвіть та коротко поясніть три основні методи автоматизованого керування споживанням (Demand Side Management).
8. Поясніть концепцію просьюмера та як вона змінює традиційну парадигму взаємодії споживача з енергосистемою.
9. Назвіть щонайменше три ключові перспективи інтеграції споживачів в енергосистему майбутнього.
10. Які виклики пов'язані з кібербезпекою, нормативно-правовою базою та технологічною сумісністю у процесі інтеграції споживачів в енергосистему майбутнього?

Список використаних джерел

1. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
2. Кевшин А. Г., Галян В. В. Електроніка : конспект лекцій. Луцьк : Вежа-Друк, 2018. 87 с. Рекомендовано НМР СНУ ім. Лесі Українки (протокол № 6 від 21 березня 2018 р.) (<https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/19595>)
3. Кевшин А. Г., Галан В. В. Фізика з основами радіоелектроніки: конспект лекцій. 113 с. Рекомендовано НМР ВНУ ім. Лесі Українки (протокол № 6 від 23.02.2022 р.) (<https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/20761>).
4. Кевшин А. Г., Новосад О. В., Федосов С. А. Електротехніка : навчальний посібник. Луцьк : Вежа-Друк, 127 с. (<https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/19575>).
5. Козирський В.В., Волошин С.М. Основи електропостачання: підруч. К.: Компринт, 2021. 497с.
6. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії : підручник. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 286 с.
7. Режими систем пересилання та споживання електричної енергії. Навчальний посібник / За заг. ред. проф. М. С. Сегеди. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. 304 с.
8. Соловей О. І., Розен В. П., Ситник О. О. та ін. Силові споживачі електричної енергії : [навч. посіб.]. Черкаси : ФОП Кандич С. Г., 2016. 121 с.
9. Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 332 с.

Навчально-методичне видання

Кевшин Андрій Григорович

Галян Володимир Володимирович

Споживачі електричної енергії

Конспект лекцій

Друкується в авторській редакції