

**Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій
Національного університету цивільного захисту України**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ НА 2024/2025 НАВЧАЛЬНИЙ РІК З
ДИСЦИПЛІНИ "ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА БЕЗПЕКА
ЕЛЕКТРОУТАНОВОК"**

Черкаси-2025

ЗМІСТ

1.	ЛЕКЦІЯ №1. Електричні кола постійного струму	3
2.	ЛЕКЦІЯ 2. Основні поняття про електричні кола однофазного змінного струму	14
3.	ЛЕКЦІЯ №3. Основні параметри трифазної системи ЕРС	26
4.	ЛЕКЦІЯ №4. Трансформатори	39
5.	ЛЕКЦІЯ №5. Визначення класу зони простору	54
6.	ЛЕКЦІЯ №6. Пожежна небезпека кабельної продукції	69
7.	ЛЕКЦІЯ №7. Аварійні режими роботи електричних мереж	87
8.	ЛЕКЦІЯ №8. Електричне освітлення	116
9.	ЛЕКЦІЯ №9. Тепловий розрахунок електричних мереж	136
10.	ЛЕКЦІЯ №10.Заземлення	142
11.	ЛЕКЦІЯ №11.Блискавкозахист	166

Укладачі: Я.Ю. Кальченко, О.М. Землянський, О.В. Борсук, О.О. Зобенко

ЛЕКЦІЯ №1. ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

У період воєнного стану стабільне функціонування систем електропостачання є критично важливим для:

- об'єктів медичної допомоги (госпіталі, польові медпункти),
- командно-штабних пунктів,
- систем оповіщення населення,
- польових об'єктів зв'язку та спостереження,
- пунктів обігріву та укриттів.

Розуміння законів Ома, Кірхгофа, а також структури електричних кіл дозволяє оперативно проєктувати тимчасові схеми живлення від генераторів чи акумуляторних блоків, діагностувати несправності під час аварійного пошкодження ліній, виконувати невідкладний ремонт із використанням обмежених ресурсів.

В умовах воєнного стану часто застосовуються джерела постійного струму:

- акумуляторні батареї;
- сонячні панелі;
- генератори з випрямлячами (автомобільні електромережі);
- джерела безперебійного живлення (UPS).

Для ефективного використання таких джерел важливо правильно розраховувати споживаний струм кожного пристрою (використовуючи закон Ома), падіння напруги на довгих лініях або провідниках, розподіл струмів і напруги у розгалужених мережах за допомогою законів Кірхгофа.

Навички, які набуває здобувач у межах теми — з урахуванням потреб воєнного часу

Технічне вміння	Практичне застосування в умовах воєнного стану
Застосування закону Ома	Розрахунок струмів у тимчасових схемах живлення
Використання законів Кірхгофа	Побудова та аналіз схем живлення з обмеженими джерелами
Розрахунок падіння напруги	Оцінка втрат в польових лініях зв'язку та живлення
Виявлення несправностей	Визначення обривів, замикань у польових умовах

Основні поняття електротехніки

Електричний струм - це спрямований рух заряджених часток. Виробляється джерелом (генератор, акумулятор, термопара).

По своїй природі електричний струм буває:

- струм провідності (за рахунок прямуювання вільних електронів у металах);
- струм переносу (за рахунок переміщення іонів в електролітах і газах);
- струм поляризації (прямування пов'язаних заряджених часток (диполей) у діелектрику).

Постійний струм - електричний струм, значення котрого не змінюється в часу.

За напрямок електричного струму прийнято вважати напрямок руху позитивних зарядів.

Сила струму (позначається I , [А]) - міра інтенсивності спрямованого руху заряджених часток - кількість електрики, що протікає через поперечний переріз провідника в одиницю часу:

$$I = \frac{q}{t},$$

де q , [Кл] – заряд; t , [сек] - час.

Всі речовини діляться на:

- провідники - володіють високою електропровідністю (метали, електроліт);
- діелектрики - речовини з дуже малою електропровідністю (полімери, нафтопродукти та їхні розчини);
- напівпровідники - речовини, електропровідність яких займає проміжне положення між провідником і діелектриком (кремній, германій, селен).

Потужність (позначається P , [Вт]) – характеризує швидкість, з якою відбувається перетворення енергії):

$$P = \frac{A}{t},$$

де A , [Дж]- робота, t , [сек] – час.

Електричне коло - це замкнутий шлях, по якому переносяться електричні заряди або сукупність пристроїв, призначених для проходження через них електричного струму. Електричне коло може бути замкненим і незамкненим.

Електричний опір (позначається r (для змінного струму) або R (для постійного струму), [Ом]) - сукупність усіх перешкод, що зустрічають вільні заряди (у металах - електрони) на шляху свого прямування по провіднику. Величина опору залежить від:

- матеріалу, із якого виготовлений провідник,
- розмірів провідника,
- температури провідника (при нагріванні металів їх опір зростає):

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

де - $\rho, [\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}]$ - питомий опір провідника,

$l, [\text{м}]$ - довжина провідника,

$S, [\text{мм}^2]$ - площа поперечного перерізу провідника.

Провідність (позначається g , [См]) - фізична величина, обернено пропорційна опору: $g = \frac{1}{R}$.

Розглянемо електричне коло.

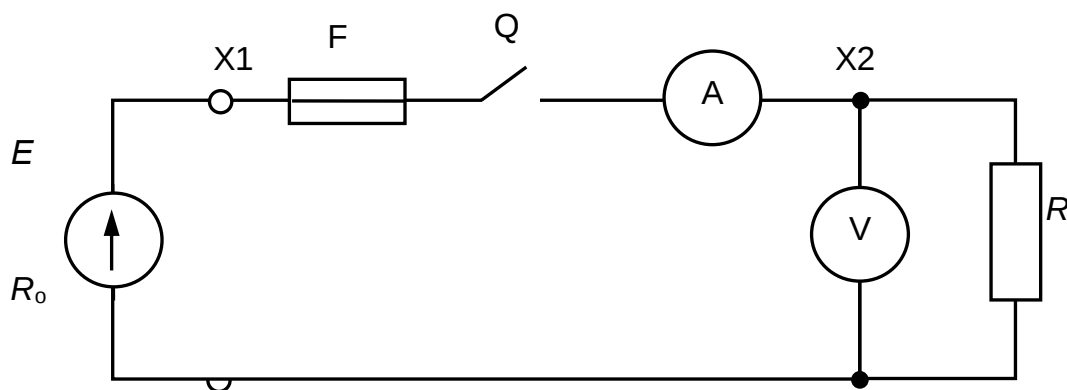


Рис. 1.

R_0 - опір внутрішньої ділянки кола (джерела електричної енергії); R - опір зовнішньої ділянки кола (сполучні проводи, вимикачі, запобіжники, вимірювальні прилади та споживачі - електродвигуни, лампи, нагрівальні прилади і т.п.); K – ключ; E - генератор

(джерело ЕРС); А – амперметр; V - вольтметр.

Вітка - ділянка електричного кола, у якому в будь-який момент часу сила струму має одне й те ж саме значення.

Вузол - місце з'єднання трьох і більш віток.

Контур –будь-який замкнутий шлях струму, що проходить по декількох вітках.

Електрорушійна сила (позначається E, [В]) - сила, що встановлює і підтримує різницю потенціалів на затискачах джерела, викликаючи електричний струм у ланцюзі, долаючи її внутрішній і зовнішній опір.

Напруга (позначається U, [В]) - різниця потенціалів, що викликає проходження електричного струму:

Основні закони електротехніки

Закон Ома

Це головний закон електротехніки. Він зв'язує поняття "струм", "напруга" та "опір кола" між собою.

Закон Ома для ділянки кола:

$$I = \frac{U}{R},$$

де I, [А] - сила струму;

U, [В] - напруга на затискачах ділянки кола;

R [Ом] - опір ділянки кола.

Закон Ома для повного кола:

$$I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{U + U_0}{R + R_0},$$

де E, [В] - ЕРС джерела;

U, [В] - напруга на затискачах джерела;

U₀, [В] - внутрішнє падіння напруги;

R, [Ом] - опір зовнішньої ділянки кола;

R₀, [Ом] - опір внутрішньої ділянки кола.

Очевидно, що у розімкнутому колі $U=E$.

У замкнутому колі $U<E$.

Закон Ленца-Джоуля

Всі провідники при проходженні по них електричного струму нагріваються. У металах при прямованні вільних електронів по провіднику вони зіштовхуються з іонами кристалів і передають їм свою енергію, тобто відбувається перетворення електричної енергії на теплову. Кількісне співвідношення, що характеризує це перетворення енергії, встановлює **закон Джоуля-Ленца** (відкритий у 1844 р. російським вченим, членом Петербурзької академії наук Є.Х. Ленцем і, незалежно від нього, англійським ученим Джоулем); кількість теплоти Q , що виділяється в провіднику при проходженні електричного струму, дорівнює добутку квадрата сили струму I , опору провідника R і часу проходження струму по провіднику t :

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, [\text{Дж}].$$

Спочатку після вмикання кола різниця між температурами проводу і навколишнього середовища невелика. Тільки незначна частина тепла, що виділяється струмом, розсіюється в навколишнє середовище, а більша частина тепла залишається в проводі та йде на його нагрівання. Цим пояснюється швидке зростання температури проводу на початковій стадії нагрівання. За мірою збільшення температури проводу зростає різниця температур проводу і навколишнього середовища і збільшується кількість тепла, що віддається проводом. У зв'язку з цим зростання температури проводу усе більше сповільнюється. Нарешті, за деякої температури встановлюється теплова рівновага: за однаковий час кількість тепла, що виділяється в проводі, стає рівною тій, що розсіюється в зовнішнє середовище.

При подальшому проходженні струму, величина якого не змінюється, температура проводу залишається постійною. Час нагрівання до сталої температури неоднаковий для різних провідників: нитка лампи розжарювання нагрівається за

частки секунди, електрична машина - за декілька годин.

Розігрівання ізолюваних проводів не можна допускати вище за означену межу, тому що ізоляція при сильному перегріві може розплавитися і навіть зайнятися. Для ізолюваних проводів встановлена гранична температура нагрівання, що визначається властивостями ізоляційних матеріалів і межею їх механічної тривкості.

Всі електроізоляційні матеріали розподілені на 9 температурних класів - таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 - Температурні класи електротехнічних матеріалів

Клас	Припустима температура нагрівання, °C
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
200	200
220	220
250	250

Припустима температура нагрівання провідників (температуру середовища взято 25°C для проводів і кабелів і 35°C для електричних машин):

- проводи і кабелі з гумовою або поліхлорвініловою ізоляцією - 65°C;
- кабелі з паперовою непропитаною ізоляцією до 1000 В з мідними або алюмінієвими жилами - 80°C;
- обмотки електричних машин з ізоляцією класу А - 105°C;
- голі шини, мідні та алюмінієві - 70°C.

Закони Кірхгофа

1-й закон Кірхгофа: алгебраїчна сума струмів у вузлі електричного кола, дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0.$$

При цьому звичайно струми, спрямовані до вузла, вважаються позитивними, а від вузла - негативними.

2-й закон Кірхгофа: алгебраїчна сума ЕРС, у замкнутому електричному контурі, дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруг на ділянках цього контуру:

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n (I_k \cdot R_k).$$

Висновок по 2-му питанню. Основними законами електротехніки є закони Ома, Ленца-Джоуля та Кірхгофа.

Використання законів Ома, Кірхгофа та методу контурних струмів для розрахунку електричних кіл

Засоби з'єднання опорів

Послідовне з'єднання опорів

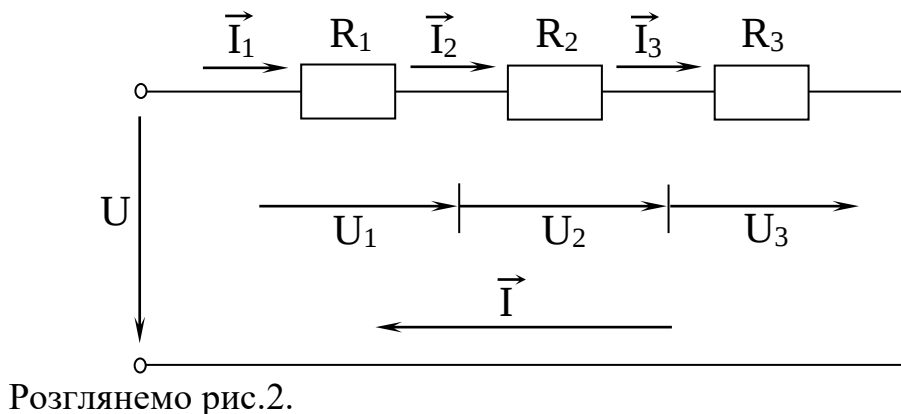
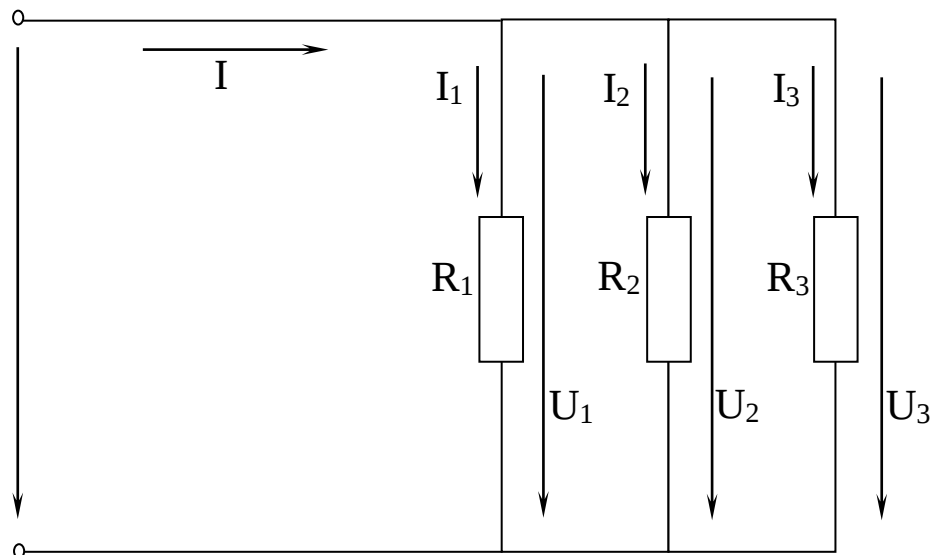


Рис. 2 - Послідовне з'єднання опорів

$$I = I_1 = I_2 = I_3; \quad U = U_1 + U_2 + U_3 = \sum_{m=1}^3 U_m;$$



$$R = R_1 + R_2 + R_3 = \sum_{k=1}^3 R_k .$$

Паралельне з'єднання опорів

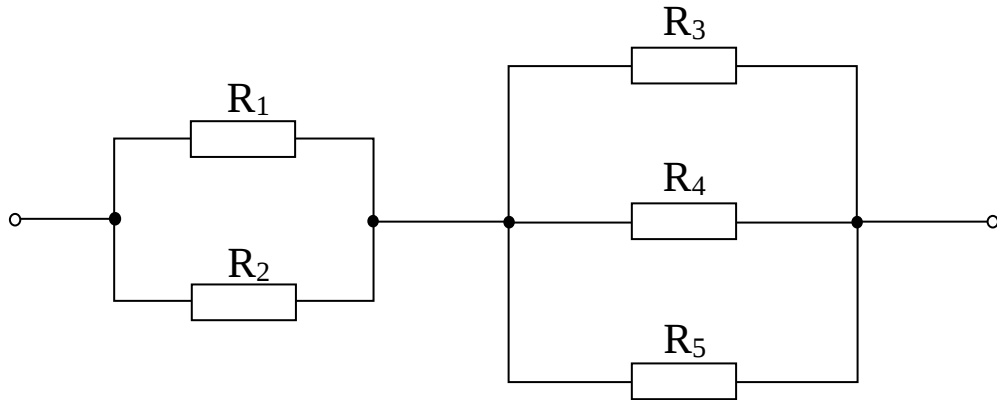
Розглянемо рис.3.

Рис.3. Паралельне з'єднання опорів

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \sum_{p=1}^3 I_p ; \quad U = U_1 = U_2 = U_3 ;$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \sum_{n=1}^3 \frac{1}{R_n} ; \quad G = G_1 + G_2 + G_3 = \sum_{m=1}^3 G_m$$

Змішане з'єднання опорів



Розглянемо рис.4.

Рис.4 - Змішане з'єднання опорів

При розрахунку змішаного з'єднання:

- а) необхідно виділити паралельні вітки і розрахувати їх;
- б) розрахувати еквівалентні послідовні вітки.

Джерела ЕРС також можуть бути з'єднані послідовно, паралельно і змішано.

МВ: завдання на самопідготовку – розрахувати опір з'єднання.

Метод вузлових та контурних рівнянь

До цього ми розглядали прості електричні кола – тобто кола, що мають послідовне або паралельне з'єднання джерел і споживачів. **Складним** називається електричне коло, що не зводиться до послідовного або паралельного з'єднання джерел і споживачів.

Методи розрахунку складних кіл:

- метод вузлових і контурних рівнянь (за законом Ома і законами Кірхгофа);
- метод перетворення;
- метод контурних струмів;
- метод накладення;
- метод вузлових напруг;
- метод еквівалентного генератора.

Мета розрахунку: визначити струми у вітках по заданих ЕРС і опорах.

Правила розрахунку:

1. Загальна кількість рівнянь дорівнює числу невідомих струмів, тобто

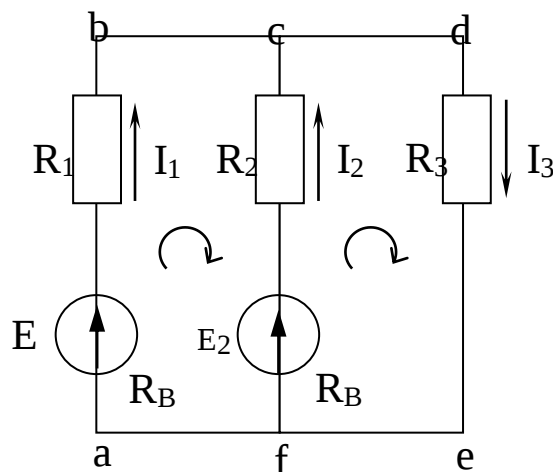
числу віток.

2. Вибрати довільно напрямок струмів. Струми, спрямовані до вузла, вважаються позитивними, від вузла - негативними.

3. Скласти вузлові рівняння (за 1-им законом Кірхгофа). Кількість рівнянь дорівнює числу вузлів мінус 1.

4. Скласти контурні рівняння (за 2-им законом Кірхгофа). Кількість контурних рівнянь дорівнює різниці загальної кількості рівнянь та кількості вузлових рівнянь.

При цьому слід вибирати найбільш прості контури, тобто контури з меншим числом джерел ЕРС і опорів, а в кожному новому контурі повинна знаходитися хоча б одна вітка, що не входить до контурів, для котрих уже складені рівняння. Обхід контуру вибирають довільно. Позитивними вважають ЕРС, напрямок яких збігається з напрямком обходу контуру. Падіння напруги на опорі позитивне там, де напрямок струму збігається з напрямком обходу. Оскільки напрямок струму вибирається довільно, то якщо при розрахунку утвориться негативне значення, то в дійсності струм протікає у зворотному напрямку.



Розглянемо приклад (рис.5).

Рис.5 - Приклад застосування методу вузлових і контурних рівнянь
Коло містить три вітки. Отже, загальне число рівнянь дорівнює 3. Вибираємо напрямок струмів I_1 , I_2 , I_3 . Складаємо вузлові рівняння. У нас два вузли, отже вузлове рівняння буде одне.

Для вузла "C": $I_1 + I_2 - I_3 = 0$.

Необхідно скласти 2 контурних рівняння.

Контур abcfa: $E_1 - E_2 = (R_1 + R_{BH1}) \cdot I_1 - (R_2 + R_{BH2}) \cdot I_2$.

Контур fcdef: $E_2 = (R_2 + R_{BH2}) \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3$.

Одержуємо неоднорідну систему з трьох лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ E_1 - E_2 = (R_1 + R_{BH1}) \cdot I_1 - (R_2 + R_{BH2}) \cdot I_2 \\ E_2 = (R_2 + R_{BH2}) \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3 \end{cases}$$

Як вирішувати такі системи, відомо з курсу вищої математики (через головний визначник і алгебраїчне доповнення). В даному випадку систему можна вирішити простіше - методом виключення змінних.

Метод контурних струмів. Метод вузлових і контурних рівнянь достатньо громіздкий (чим більше число віток, тим більше кількість рівнянь). Метод контурних струмів дає значне спрощення, тому що зменшує кількість рівнянь. Відповідно до цього методу складаються рівняння тільки за другим законом Кірхгофа, для чого обирається необхідне число контурів.

Розглянемо схему, приведену раніше в прикладі до методу вузлових і контурних рівнянь (рис.6).

Обмежимося двома контурами. Вибираємо напрям струмів I_1, I_2 .

Контур abcfa:

$$(R_1 + R_2 + R_{BH1} + R_{BH2}) \cdot I_1 - (R_2 + R_{BH2}) \cdot I_2 = E_1 - E_2.$$

Контур fcdef: $(R_2 + R_3 + R_{BH2}) \cdot I_2 - (R_2 + R_{BH2}) \cdot I_1 = E_2$.

Таким чином у нас утворилося на 1 рівняння менше.

Інші методи розрахунку складних кіл розглядаються в електротехнічній літературі.

ЛЕКЦІЯ 2. Основні поняття про електричні кола однофазного струму

В умовах воєнного стану тема «Основні поняття про кола однофазного змінного струму» набуває не лише теоретичного, а й критичного практичного значення. Головною загрозою для енергетичної системи України є її вразливість до ракетно-бомбових атак, внаслідок яких знищуються трансформаторні підстанції, кабельні вузли, підземні вводи та лінії електропередач. Відновлення таких об'єктів є надзвичайно складним через дефіцит обладнання, логістичні обмеження, замінування територій та постійну загрозу повторного удару. Тому велике значення мають автономні джерела живлення, здатні працювати незалежно від централізованої мережі, зокрема однофазні генератори.

Однофазні генератори широко застосовуються в мобільних електростанціях, системах резервного живлення, на об'єктах критичної інфраструктури, у медичних пунктах, пунктах зв'язку, укриттях та інших важливих елементах забезпечення життєдіяльності. Їх ефективне використання вимагає чіткого розуміння принципів формування ЕРС, способів підключення до споживачів та методів узгодження із загальною мережею.

У процесі генерації ЕРС важливо забезпечити стабільність напруги та частоти, що є особливо складним у разі роботи генераторів у режимі перевантаження або при нестабільному навантаженні. Захист генераторів має бути пріоритетом, оскільки їх пошкодження чи втрата унеможливорює підтримання мінімального рівня енергозабезпечення. У таких умовах необхідно використовувати схеми з автоматичним контролем перевантаження, короткого замикання та перенапруг, а також передбачати ручне або автоматичне відключення генератора в разі аварії.

Окремої уваги потребує процес синхронізації та приєднання генератора електростанції до загальної енергосистеми після масштабного блекауту. В таких випадках надзвичайно важливо дотримуватися вимог щодо частоти та фази змінної напруги генератора. Недотримання параметрів синхронізації призводить до серйозних аварій, які можуть зруйнувати як генератор, так і мережеву частину

системи. Тому перед введенням резервних джерел у спільну мережу необхідно забезпечити контроль частоти та фази ЕРС, а також наявність пристроїв, які блокують небезпечне включення в разі розбіжності параметрів. Під час блекауту значна частина генераторів спочатку працює в автономному режимі, забезпечуючи живлення окремих об'єктів. Після часткового відновлення мережевого живлення може виникнути необхідність узгодження кількох джерел енергії між собою, що вимагає наявності систем автоматичного ввімкнення резерву (АВР), засобів фазового контролю, і в деяких випадках – ретельного ручного введення під наглядом фахівців. Тільки технічно підготовлений персонал здатен безпечно ввести генератор електростанції у паралельну роботу з мережею, забезпечуючи електробезпеку споживачів та збереження обладнання.

2.1 Одержання змінного струму.

Сучасне життя неможливе без використання змінного струму. У світі вся електрична енергія виробляється у вигляді енергії змінного трифазного струму. Конструкція генераторів змінного струму простіша, ніж конструкція генераторів постійного струму. Головна перевага змінного струму полягає в можливості одержувати за допомогою трансформаторів різної напруги: високої - для передачі енергії на великі відстані (3, 6, 10, 16, 35, 110, 220, 400, 500, 750 кВ) і низької - для живлення споживачів (127, 220, 380, 660 В).

Постійний струм, що використовується у промисловості (електрохімія), у транспортній галузі (електротяга), у сфері зв'язку і т.д., утворюється шляхом випрямлення змінного струму.

Передачу електроенергії великої потужності на великі відстані економічно вигідніше здійснювати не змінним, а постійним струмом високої напруги, але одержувати постійний струм слід за допомогою випрямлячів, а не генераторів. Крім того, перетворення напруги постійного струму є достатньо важким у технічному виконанні.

У колах постійного струму при незмінних напрузі і опорі залишаються

незмінними: струм, потужність і запасена в електричному і магнітному полях енергія.

Процеси в колах змінного струму істотно відрізняються від явищ у колах постійного струму.

Змінна напруга на затискачах електричного кола створює в ньому змінний струм. Магнітне поле змінного струму і запасена в полі енергія змінюються, у колі виникає ЕРС самоіндукції. У випадку змінної напруги змінюється й електричне поле кола, а, отже, і запасена в електричному полі енергія. Потужність кола, що характеризує швидкість перетворення електричної енергії на теплову, також змінюється у відповідності до зміни струму.

Одержання ЕРС у електричному генераторі змінного струму. Одержання синусоїдальних ЕРС засновано на **явищі електромагнітної індукції**.

Для виникнення в замкнутому колі синусоїдального струму у ньому необхідна наявність синусоїдальної ЕРС, виробленої генератором.

Генератором називається машина, що перетворює механічну енергію на електричну. Розглянемо роботу генератора змінного струму.

Робота генератора заснована на явищі електромагнітної індукції, зокрема, у генераторі змінного струму використовується засіб одержання індукційної ЕРС (рис.2.1).

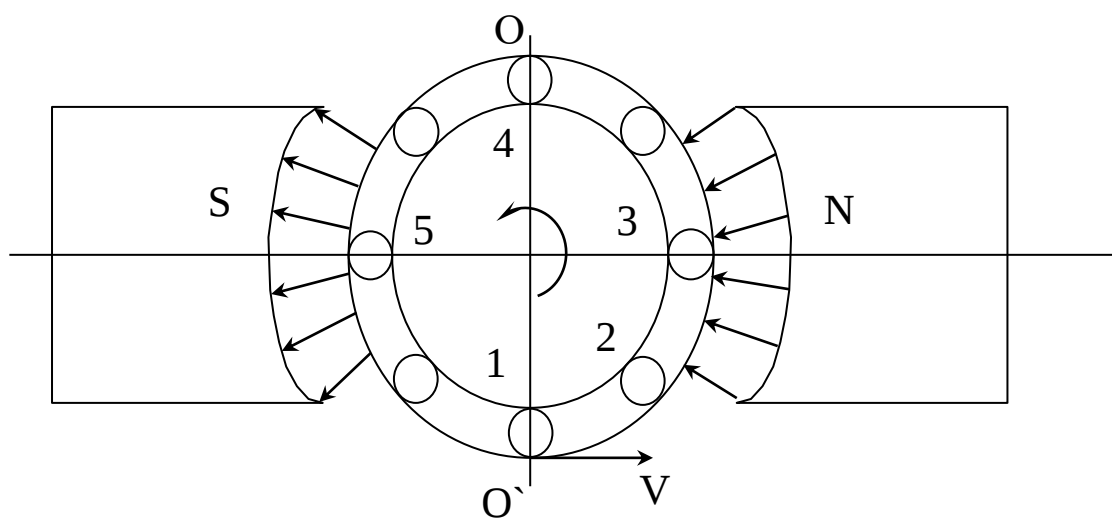


Рис. 2.1 - Принцип роботи генератора

Однорідне магнітне поле створюється двома башмаками (полюсами) електромагніта. У полі під дією зовнішньої механічної сили виток проводу обертається по окружності проти годинної стрілки. За законом електромагнітної індукції в провіднику індукується ЕРС:

$$e_1 = B \cdot \ell \cdot v$$

Магнітне поле в повітряному зазорі генератора має вид, приведений на

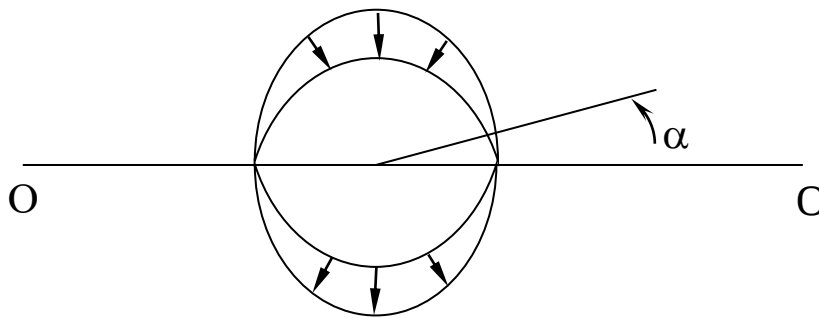


Рис.2.2 - Магнітне поле генератора

Аналітично

$$B = B_m \cdot \sin \alpha,$$

де: B - магнітна індукція в деякій точці траєкторії обертання витка проводу;

B_m - максимальна магнітна індукція під серединою башмака,

α - кут, утворений нейтральною площиною OO' і площиною, що проходить через виток з проводом. Тоді

$$e_1 = B \cdot \ell \cdot v = B_m \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \alpha.$$

Оскільки виток проводу фактично складається з двох провідників, то

$$e = 2 \cdot e_1 = 2 \cdot B_m \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \alpha = E_m \cdot \sin \alpha,$$

де: e - миттєве значення ЕРС;

E_m - максимальне значення ЕРС;

$\alpha = \omega \cdot t$ - фаза.

Якщо замість одного витка на циліндрі (який називається "якорем") помістити котушку, що має w витків, то максимальна ЕРС буде:

$$E_m = 2 \cdot B_m \cdot \ell \cdot v \cdot w .$$

Якщо генератор має p пар полюсів, то

$$e = E_m \cdot \sin(p \cdot \alpha),$$

тобто частота індукованої ЕРС:

$$f = \frac{p \cdot n}{60}, \quad (1)$$

де: n - число обертів якоря у хвилину, $\frac{\text{об}}{\text{хв}}$.

Розглянемо роботу генератора аналітично:

- **положення "1"** - виток перпендикулярний магнітним силовим лініям; ЕРС=0;

- **положення "2"** - між площиною витка і магнітними силовими лініями з'явився кут α . ЕРС росте і спрямована на нас (за правилом правої руки);

- **положення "3"** - виток паралельний магнітним силовим лініям; ЕРС максимальна і спрямована на нас;

- **положення "4"** - ЕРС=0;

- **положення "5"** - ЕРС максимальна і за правилом правої руки спрямована від нас.

Перетворення енергії в генераторі змінного струму. За законом електромагнітної індукції

$$E = B \cdot \ell \cdot v .$$

За законом електромагнітних сил (формула Ампера):

$$F = B \cdot I \cdot \ell .$$

Тоді

$$F \cdot v = E \cdot I \quad (2)$$

рівняння перетворення потужності механічної ($F \cdot v$) в електричну ($E \cdot I$).

Правило Міткевича: при роботі генератора повна механічна потужність $P_{\text{мех}} = F \cdot v$, яка одержується від первинного двигуна, перетвориться в корисну електричну потужність $P_{\text{ел}} = I^2 \cdot r$ та потужність витрат $P_0 = I^2 \cdot r_0$.

Баланс потужностей:

$$P_{\text{мех}} = F \cdot v = P_{\text{ел}} + P_0 = I^2 \cdot r + I^2 \cdot r_0.$$

Витрати електричної енергії на нагрівання обмоток електродвигунів можуть становити значну величину і представляти пожежну небезпеку, особливо при роботі електродвигуна у режимі перевантаження.

2.2 Рівняння і графіки синусоїдних величин. Векторні діаграми.

Змінним називається струм, зміна якого за величиною і напрямком повторюється періодично через рівні проміжки часу T . Умова періодичності має вид:

$$i(t) = i(t+T) = \dots = i(t+k \cdot T),$$

де: $t, [c]$ - час,

$k=0,1,2,3,\dots$.

Ми розглядаємо тільки змінний струм, що змінюється за синусоїдальним законом (може бути пилкоподібної, прямокутної форми і т.п.). У народному господарстві найбільш широке застосування знайшов саме синусоїдальний змінний струм, тому що генератори дають форму кривої ЕРС, близьку до синусоїдальної, і за цієї форми кривої досягається найбільша економічність при передачі і застосуванні електричної енергії.

Графік змінного струму, що змінюється за синусоїдальним законом, показаний на рисунку 3.

Аналітична форма запису синусоїдальної величини:

$$i = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right).$$

Основні параметри змінної синусоїдальної величини:

1) **миттєве значення** (позначається малими літерами: струм - i , напруга - u , ЕРС - e) - значення змінної величини в будь-який момент часу t ;

2) **амплітудне значення** (позначається малими літерами з індексом "m", струм - I_m , напруга - U_m , ЕРС - E_m) - найбільше миттєве значення величини, що періодично змінюється за синусоїдальним законом;

3) **період** (позначається T , [с]) - найменший інтервал часу, після закінчення якого миттєві значення змінної величини повторюються в тій же послідовності;

4) **циклічна частота** (позначається $f=1/T$, [Гц]) - величина, зворотна по відношенню до періоду, виражає кількість періодів у секунду.

Стандартна (технічна) частота для промислових установок в Україні (СНД) - 50 Гц.

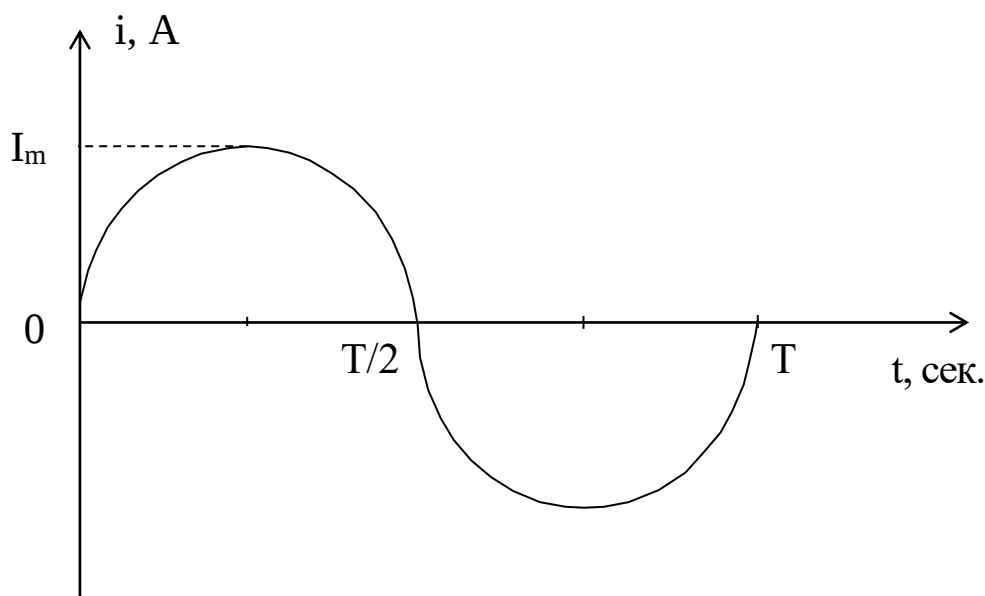


Рис.3 - Змінний однофазний струм

5) кутова частота:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}, \text{ Гц};$$

6) **діюче значення** (позначається прописними літерами без індексів: I, U, E) дорівнює величині такого постійного струму, який за час, рівний одному періоду змінного струму, виділяє в тому ж опорі таку ж кількість тепла, що і при проходженні змінного струму.

Наприклад:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m.$$

7) **фаза** (ωt , [рад]) - електричний кут, що визначає положення змінної величини в деякий момент часу.

8) **початкова фаза** (позначається ψ , [рад]) - електричний кут, що визначає значення змінної величини в початковий момент часу.

Приклад:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi).$$

9) **зсув фаз** - різниця початкових фаз двох синусоїдальних величин однієї частоти:

$$\psi_{12} = \psi_1 - \psi_2.$$

Та величина, у якої позитивні амплітудні значення досягаються раніше, ніж у другої, називається **випереджаючою за фазою**, а та, у котрої ті ж значення досягаються пізніше, - **відстаючою за фазою**. Якщо дві синусоїдальні величини мають однакові початкові фази, то вони **збігаються за фазою**. Якщо кут зсуву фаз дорівнює 180° , то говорять, що синусоїдальні величини **знаходяться у протифазі**.

Векторні діаграми.

Ми познайомились з двома (із багатьох) способами зображення синусоїдальних величин – аналітичний і графічний (у вигляді графіка зміни миттєвих значень в часі).

Для розрахунків кіл змінного струму ще використовується зображення синусоїдальних величин за допомогою векторів, що обертаються.

Нехай маємо струм $i = I_m \sin(\omega t + \psi)$.

Для того, щоб зобразити його вектором, що обертається візьмемо прямокутну систему координат xOy . Із початку координат O під кутом ψ проведемо вектор $\bar{I}_m$, довжина якого в масштабі відповідає I_m . Якщо вектор $\bar{I}_m$ обертати проти годинникової стрілки з кутовою швидкістю $\omega = 2\pi f$, то його проекція на вісь ординат Oy буде змінюватись за синусоїдальним законом, тобто відображати миттєве значення струму i .

Сукупність векторів, що зображують на одному кресленні кілька синусоїдальних величин однієї частоти має назву **векторна діаграма**.

Вектори, що зображені на такій діаграмі мають однакову кутову частоту ω . Тому при обертанні їх взаємне розміщення не змінюється. І тому при побудові векторних діаграм один вектор можна направити довільно (наприклад, вздовж Ox), а інші розташовувати по відношенню до першого під різними кутами, рівними відповідним кутам зсуву фаз і осі координат не креслити.

В більшості випадків векторні діаграми кіл змінного струму призначені для визначення співвідношень між діючими значеннями напруг і струмів. Тому діаграми звичайно будують не для амплітудних значень, а для діючих, що обумовлює лише зменшення довжини векторів в $\sqrt{2}$ разів.

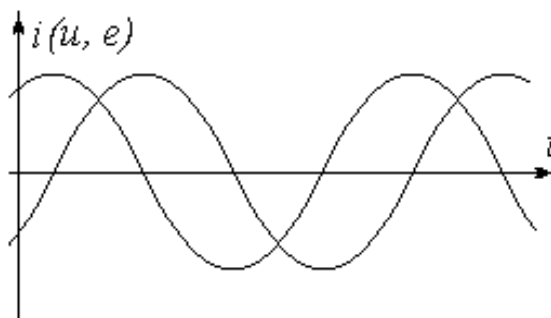
Якщо векторну діаграму будують в тій же послідовності, в якій обходять електричне коло, вона називається **потенціальною** (або топографічною). Зручно напрям обходу приймати протилежним прийнятому напрямку струму. Потенціальна діаграма дозволяє визначити напругу між будь-якими точками кола,

оскільки кожна точка діаграми відповідає певній точці кола. Для визначення треба з'єднати дві точки діаграми відрізком і надати йому відповідний напрямок.

При побудові потенціальної діаграми один з векторів приймають за вихідний і розташовують вздовж горизонтальної осі в додатному напрямку, вважаючи, що початкова фаза відповідної йому величині дорівнює нулю. Інші вектори будують відносно цього вектора з урахуванням фазового струму. Зручно для послідовного кола за вихідний приймати вектор струму, а для паралельного – напруги.

Отже розглянуті три способи зображення синусоїдальних величин:

Графіком зміни миттєвих значень в часі



За допомогою тригонометричних функцій

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi).$$

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi).$$

Діюче значення змінного струму дорівнює значенню еквівалентного постійного струму, який утворює на незмінному опорі стільки ж теплоти, як і змінний струм.

Кількість теплоти, що виділяє змінний струм i за елементарний час Δt : $dQ = i^2 R dt$, а за час, що дорівнює T :

$$Q \approx \int_0^T dQ = \int_0^T i^2 R dt = R \int_0^T i^2 dt.$$

При постійному струмі: $Q = I^2 RT$.

Оскільки за визначенням $Q \approx Q =$, то

$$R \int_0^T i^2 dt = I^2 RT, \text{ звідки}$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = I_m \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt};$$

оскільки $\int_0^T \sin^2 \omega t dt = \int_0^T \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt = \frac{1}{2} \int_0^T dt - \frac{1}{2} \int_0^T \cos 2\omega t dt = \frac{T}{2} - 0$, то:

$$I = I_m \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \frac{T}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_m \text{ або } I_m = \sqrt{2} \cdot I \approx 1,41 \cdot I.$$

Отже діюче значення змінного синусоїдального струму менше його амплітудного значення в $\sqrt{2}$ раз.

Діючі значення позначаються I, U, E .

Аналогічно можна довести, що $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}; U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$

Діюче значення вказується на шкалах вимірювальних приладів. Тому, якщо амперметр, що вимірює силу змінного струму показує 10 А, то амплітудне значення складає $I_m = 14,1$ А.

Середнє значення змінного струму.

Середнє арифметичне значення для всіх миттєвих значень додатної півхвилі називається **середнім значенням синусоїдального струму** за півперіод.

$$I_{\text{ср}} = \frac{\int_0^{T/2} i dt}{T/2} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt = -\frac{2}{T} I_m \frac{1}{\omega} \cos \omega t \Big|_0^{T/2} = \frac{-2}{T} I_m \frac{T}{2\pi} \left(\cos \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} - 1 \right) =$$
$$= \frac{2I_m}{\pi} = 0,637 I_m \quad \left(\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \right)$$

Аналогічно визначаються $U_{\text{ср}}$ та $E_{\text{ср}}$. Середнє значення використовується при аналізі роботи спрямовувачів, електричних машин, тощо.

ЛЕКЦІЯ №3. Основні параметри трифазної системи ЕРС

1 питання. Одержання трифазної системи ЕРС.

Системою трифазного струму називається сукупність трьох однофазних змінних струмів, зсунутих за фазою на кут 120° . Розробив трифазну систему російський електротехнік М.О. Доливо-Добровольський у 1888 р. Винятково високі якості трифазної системи явилися причиною всесвітнього її застосування. Розглянемо конструкцію найпростішого генератора трифазного струму (рис.1). У пазах статора симетрично по колу розташовані три однакові котушки, початок і кінець кожної з яких зсунуті в просторі на кут 120° . Початок котушок позначений А, В, С, кінець - Х, У, Z.

Ротор - електромагніт, що обертається за годинною стрілкою. При обертанні ротора обертається і його магнітне поле. Магнітні силові лінії перетинають обмотки статора. У них індукуються ЕРС однієї й тієї ж частоти, однакової амплітуди, але зсунуті за фазою на кут 120° .

Прийнявши за початок відліку часу момент, у який ЕРС першої фази дорівнюють нулю, можна записати миттєві значення всіх трьох ЕРС:

$$\begin{aligned} \text{фаза А: } e_1 &= E_{1m} \sin \omega t, & \text{фаза В: } e_2 &= E_{2m} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), & \text{фаза С: } \\ e_3 &= E_{3m} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right). \end{aligned}$$

Якщо система ЕРС симетрична, то трифазна система симетрична, і можна записати:

$$E_{1M} = E_{2M} = E_{3M}$$

Рис.1 - Генератор трифазного струму

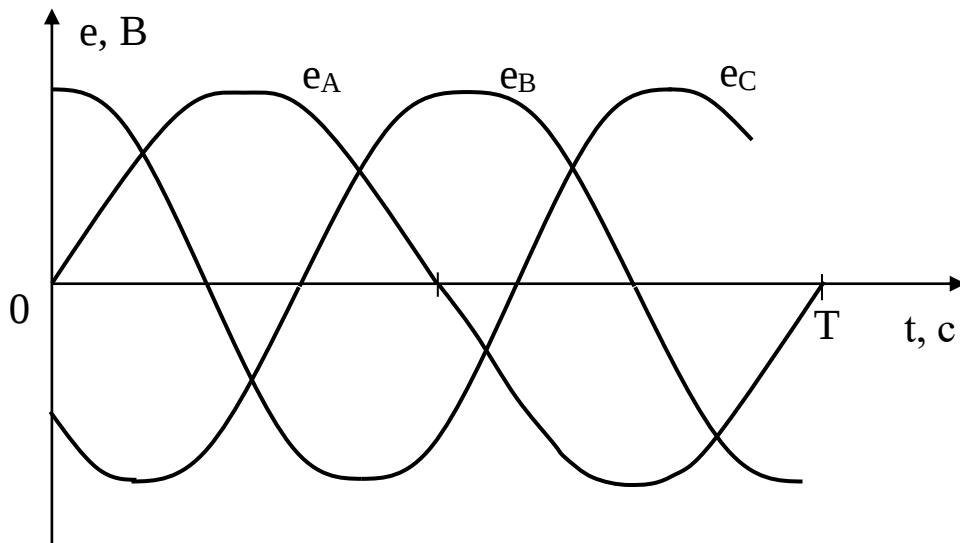
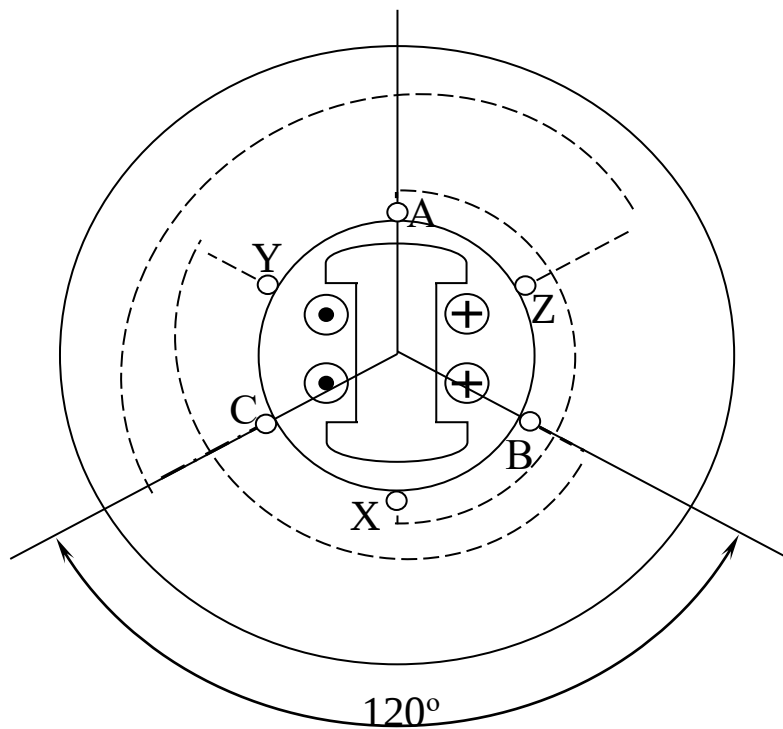


Рис.2 - Лінійна діаграма ЕРС або за допомогою символічного методу

$$\dot{E}_A = E_A,$$

$$\dot{E}_B = E_A \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} = E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} = E \cdot e^{-j120^\circ},$$



$$\dot{E}_C = E_A \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} = E \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} = E \cdot e^{j120^\circ}.$$

Лінійна діаграма ЕРС (або тимчасова діаграма) приведена на рис.1.

Векторна діаграма ЕРС приведена на рис.3.

Рис.3- Векторна діаграма ЕРС

Генератори станцій виконуються синхронними, тобто з точно визначеною швидкістю обертання (на ДРЕС - 3000 об/хв). Частота мережі, що живить, повинна становити $50 \pm 2\%$ Гц. Зниження частоти струму нижче 49 Гц призводить до різкого збільшення сили струму в мережах в основному через збільшення струму, який споживається парком двигунів. Зниження частоти струму обумовлює зниження частоти обертання вала двигуна, що за постійної необхідної потужності веде до збільшення обертового моменту ротора двигуна, а отже, і до росту струму, що споживається двигуном із мережі.

Такий режим роботи електроустановок є не тільки аварійним, але і пожежонебезпечним. Він призводить до виходу з ладу трансформаторних підстанцій, загоряння електродвигунів і проводів, що їх підключають.

Так, наприклад, 18 лютого 1996 року відбулося загоряння чотирьох електродвигунів на штампувальній ділянці заготівельного цеху Миколаївського суднобудівного заводу. Як показали результати проведеного розслідування, причиною пожежі стало підвищення сили струму в обмотках статорів електродвигунів, що сталося через зменшення частоти струму до 48,8 Гц.

Висновок по 1-му питанню: Трифазна система (трифазний струм) має переваги перед однофазною:

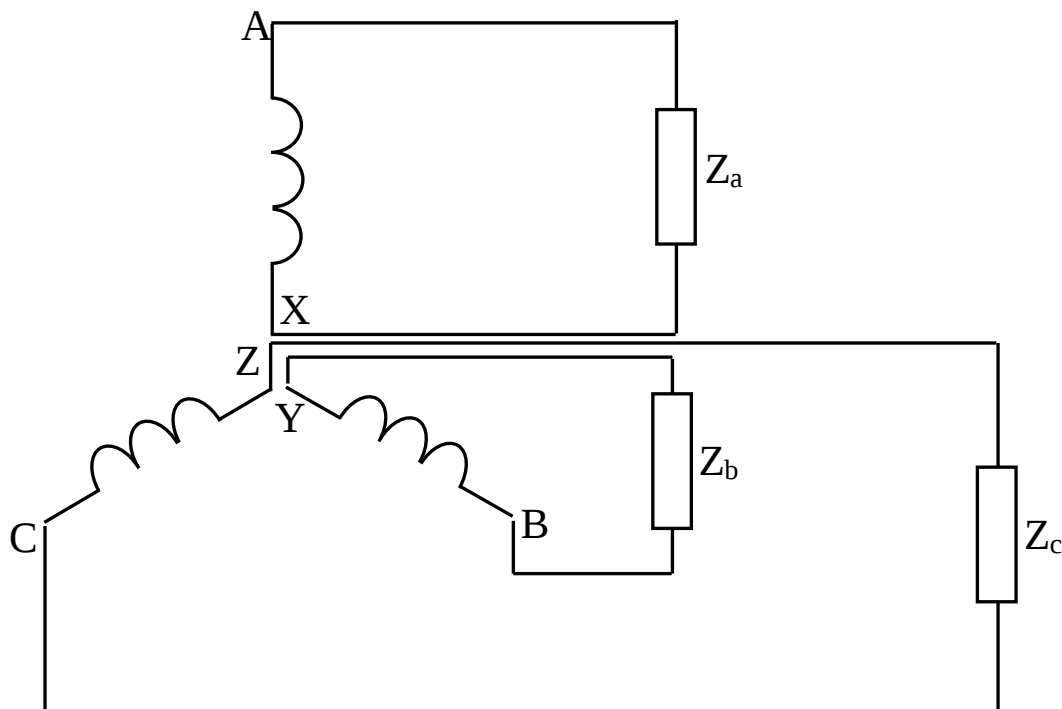
- 1)одержання обертового магнітного поля при нерухомих обмотках;
- 2)економічна передача енергії на відстані;
- 4)можливість використання однієї фази, як однофазного струму ;
- 5)забезпечує високу якість при випрямленні при різноманітних напругах і потужностях.

Зниження промислової частоти перемінного трифазного струму більш, ніж на 2% призводить до виникнення пожежонебезпечних режимів роботи електроустановок.

2 питання. Основні елементи трьохфазних кіл. Засоби з'єднання обмоток трифазних генераторів.

Фаза - окреме коло трифазної системи (раніше також було введено поняття «фаза» - кут зміни синусоїдальної величини).

Електрично незв'язана система. Має місце в тому випадку, коли кожна котушка генератора є самостійним джерелом струму. Така система економічно невигідна, тому що вимагає наявності 6 проводів (рис. 4).

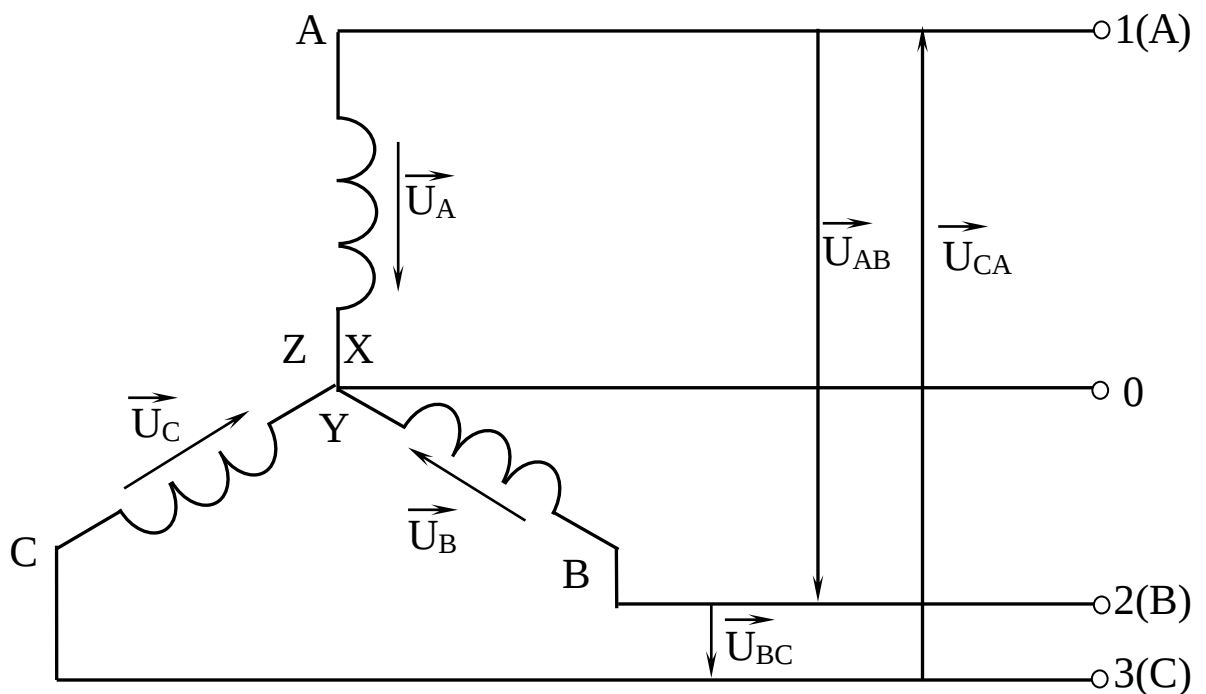


Для зменшення кількості проводів необхідно певним чином з'єднувати обмотки генератора між собою.

Рис.4 - Електричне незв'язана трифазна система

Обмотки генератора можуть бути з'єднані “зіркою” і “трикутником”. Споживач струму також може бути з'єднаний “зіркою” і “трикутником”.

Розглянемо основні способи з'єднання.



З'єднання обмоток генератора “зіркою”. Розглянемо рис.5.

Рис.5. З'єднання обмоток генератора “зіркою”

При з'єднанні обмоток трифазного генератора «зіркою» кінці кожної з трьох обмоток з'єднуються між собою, створюючи так звану нульову точку або нейтраль генератора, а початки обмоток підключаються до трьох проводів, що називаються "фазними". Нульові точки генератора і споживача будемо позначати, відповідно, “0” й “0' ”.

Фазний провід - провід, що підводить електричну енергію від початку обмотки генератора до споживача. Фазні проводи позначаються L1, L2, L3 ("жовтий", "зелений", "червоний" кольори). Обмотки генератора позначаються великими літерами A, B, C, споживача - маленькими літерами a, b та c. Кінці обмоток генератора позначаються, відповідно, літерами X, Y, Z, споживача - x, y, z.

Нульовий (або нейтральний) провід - провід, що підключається до нульової точки генератора. Нульовий робочий провід позначається літерою N.

Нульовий провід може бути:

- незаземлений (колір «білий») – мережа з ізолюваною нейтраллю (система IT);
- заземлений (колір «чорний») – мережа з заземленою нейтраллю (система TN-C).

Це так звані чотирипровідні системи, в яких функції робочого і захисного провідника об'єднані (PEN - провідник).

Може бути ще додатковий окремий захисний провідник (РЕ - провідник) - п'ятипровідна система (система TN-S).

Нульовий провідник може бути відсутній – трипровідні системи.

Фазна напруга - напруга між фазним та нульовим проводами. Фазні напруги позначаються літерами U_A , U_B , U_C , а в загальному випадку - U_ϕ .

Лінійна напруга - напруга між фазними проводами. Позначається літерами U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} , а в загальному випадку буквою U_L . Порядок індексів вказує позитивний напрямок напруги у зовнішньому колі. Перестановка індексів в лінійних напругах буде означати поворот вектора відповідної напруги на кут 180° . Встановимо співвідношення між лінійними і фазними напругами при з'єднанні обмоток генератора “зіркою”. Для цього побудуємо векторну діаграму напруг. Побудову починаємо з відкладення векторів фазних напруг $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$ (рис.6).

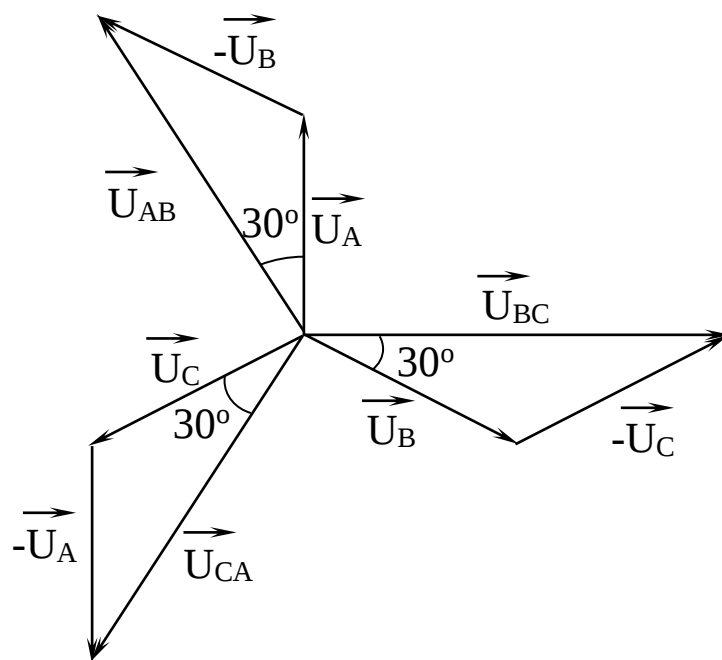


Рис.6 - Векторна діаграма напруг з'єднання
обмоток генератора “зіркою”

Для визначення лінійної напруги, наприклад U_{AB} , треба обійти контур (A-X)-(Y-B), тобто пройти по обмотці “А” від її початку “А” до кінця “Х”, а по обмотці “В” – від її кінця “Y” до початку “В”:

$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B.$$

Аналогічно

$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C,$$

$$\vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A$$

З аналізу будь-якого трикутника діаграми можна одержати співвідношення між лінійними та фазними напругами, наприклад:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{1}{2} U_{BC} = U_B \cdot \cos 30^\circ \\ \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow U_{BC} = U_B \cdot \sqrt{3} \Rightarrow U_L = \sqrt{3} \cdot U_\Phi$$

Отже, з'єднання обмоток генератора “зіркою” з нульовим проводом дає можливість мати дві напруги, наприклад, 127/220 В, 220/380 В.

Звичайно векторна діаграма будується у вигляді трикутника, який називається “**топографічною діаграмою**”, де лінійні напруги – сторони рівнобічного трикутника, фазні напруги – $2/3$ медіани цього трикутника (рис.7).

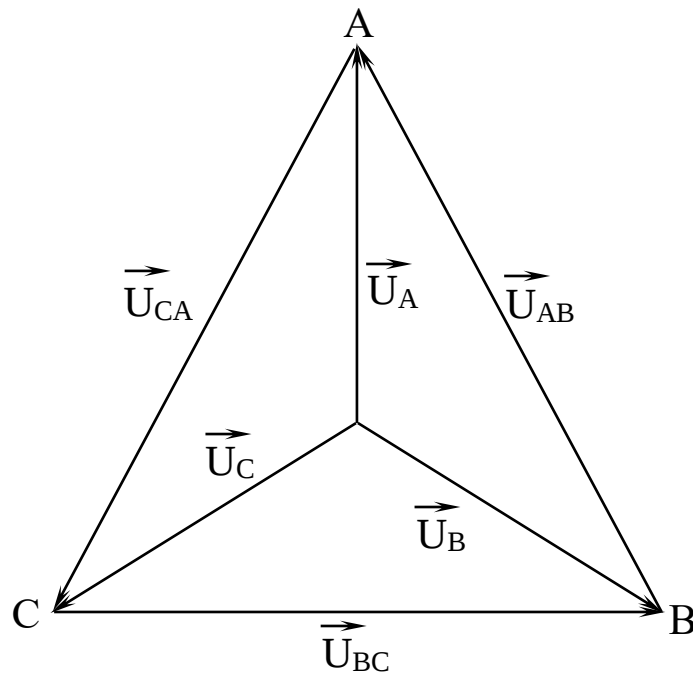
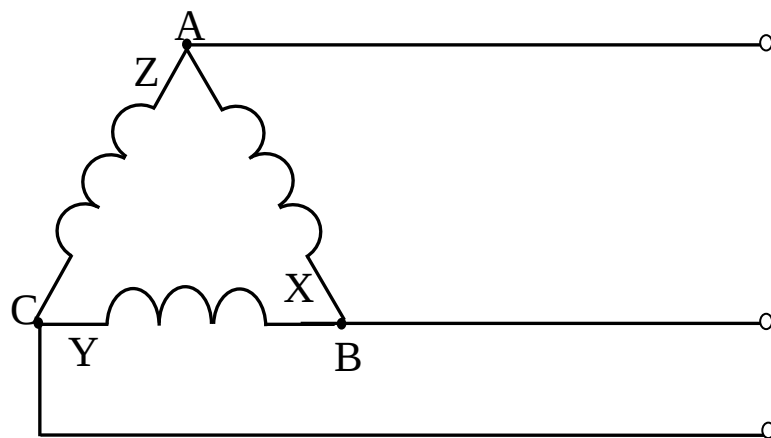


Рис.7 - Топографічна діаграма напруг з'єднання обмоток генератора "зіркою"

Як правило, на електростанціях обмотки генераторів з'єднують "зіркою" з заземленою нейтраллю.

З'єднання обмоток трифазного генератора «трикутником». При з'єднанні обмоток генератора «трикутником» кінець першої обмотки "X" з'єднують із початком другої обмотки "B", кінець другої обмотки "Y" - з початком третьої обмотки "C", кінець третьої обмотки "Z" - з початком першої обмотки "A". При цьому три обмотки



створюють замкнуте коло - "трикутник" (рис.8).

Рис.8 - З'єднання обмоток генератора "трикутником"

При цьому способі з'єднання обмоток фазні напруги дорівнюють лінійним напругам:

$$U_L = U_{\Phi}.$$

Векторна діаграма має вигляд, зображений на рис.9.

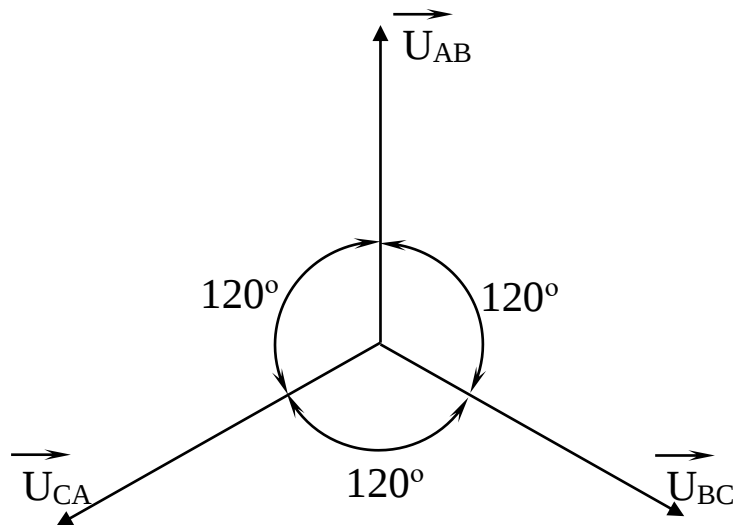


Рис.9 - Векторна діаграма напруг з'єднання обмоток генератора «трикутником»

Сума векторів лінійних напруг утворює замкнутий трикутник, отже:

$$\vec{U}_{AB} + \vec{U}_{BC} + \vec{U}_{CA} = 0.$$

При неправильному вмиканні кінців і початків обмоток рівняння не буде виконуватися, і у контурі, складеному з обмоток, буде проходити струм, що перевищує номінальний у два рази, тому що в контурі буде діяти подвійна напруга за дуже малих опорів обмоток, що призведе до виходу з ладу генератора і до створення умов для виникнення пожежонебезпечної ситуації.

Щоб виключити небезпеку появи такого струму, перевіряють відсутність напруги на холостому ході генератора за допомогою вольтметра.

Висновок по 2-му питанню. Обмотки трифазного генератора можуть з'єднуватися за схемою «зірка» або «трикутник». В першому випадку в мережі існують два види напруг - фазні і лінійні, причому лінійні більше фазних у $\sqrt{3}$ раз (для симетричної системи).

3 питання. З'єднання споживачів трьохфазного струму “зіркою” без нейтрального проводу

Симетричне навантаження. Симетричне навантаження зображене на рис.10.

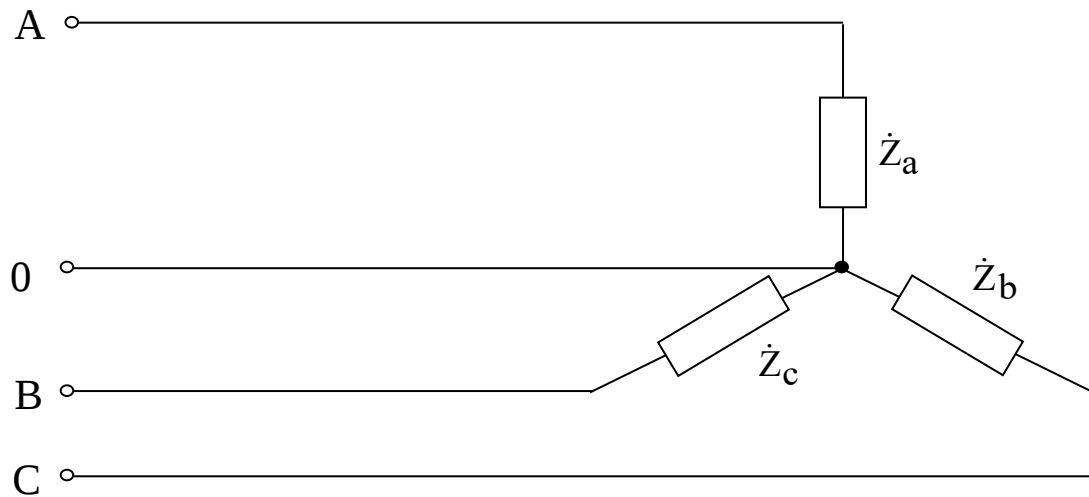
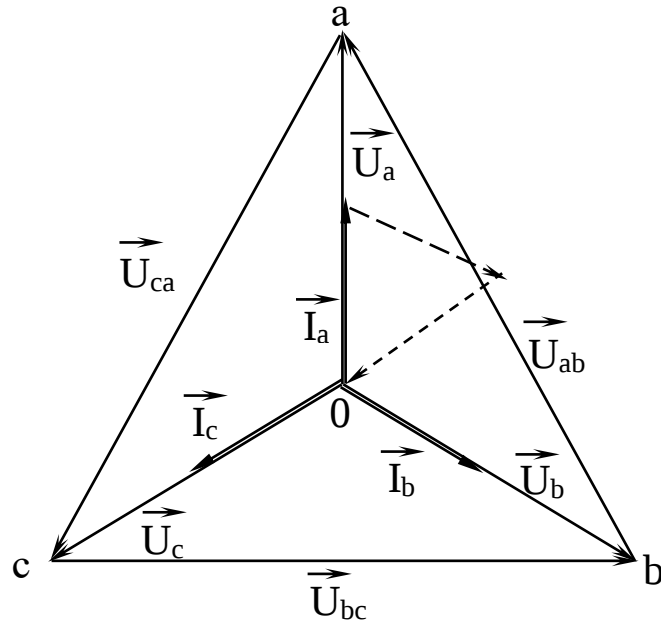


Рис.10 - Симетричне трифазне навантаження

Симетричне навантаження буде у випадку, коли в кожній фазі навантаження включені однакові опори:

$$\dot{Z}_a = \dot{Z}_b = \dot{Z}_c.$$



У цьому випадку струми в кожній фазі навантаження будуть рівні:

$$\dot{I}_a = \frac{U_a}{Z_a} = \dot{I}_b = \frac{U_b}{Z_b} = \dot{I}_c = \frac{U_c}{Z_c}.$$

Рис.11 - Топографічна діаграма трифазного симетричного
активного навантаження

Якщо припустити, що навантаження має чисто активний характер, то топографічна діаграма матиме вид, зображений на рис.11.

Тут

$$\vec{I}_a + \vec{I}_b + \vec{I}_c = 0.$$

Струм у нульовий точці відсутній. Нульовий провід не потрібний.

Несиметричне навантаження.

Несиметричне навантаження буде при (рис.10)

$$Z_a \neq Z_b \neq Z_c.$$

Струми в кожній фазі навантаження будуть різні:

$$I_a \neq I_b \neq I_c.$$

Якщо припустити, що навантаження має чисто активний характер, то

топографічна діаграма може мати вид (рис.12):

В системі без нейтрального проводу виникає напруга між нейтральною точкою генератора “0” та нейтральною точкою споживача “0' ”, з’єднаних “зіркою”. Ця напруга $\dot{U}_N$ називається напругою зміщення нейтралі. Чисельно вона дорівнює:

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \cdot \dot{Y}_a + \dot{E}_B \cdot \dot{Y}_b + \dot{E}_C \cdot \dot{Y}_c}{\dot{Y}_a + \dot{Y}_b + \dot{Y}_c + \dot{Y}_N},$$

де $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ - ЕРС обмоток генератора;

$\dot{Y}_a, \dot{Y}_b, \dot{Y}_c, \dot{Y}_N$ – провідності навантаження та нейтралі.

В такому режимі фазні напруги “перекошуються”. Одна стає більше за номінальну, інші – менше. Відповідно змінюються і струми. Такий режим є, по-перше, пожежонебезпечним, а, по-друге, небезпечним з точки зору можливості ураження людини електричним струмом, яка стоїть на землі та торкається нейтральної точки споживача.

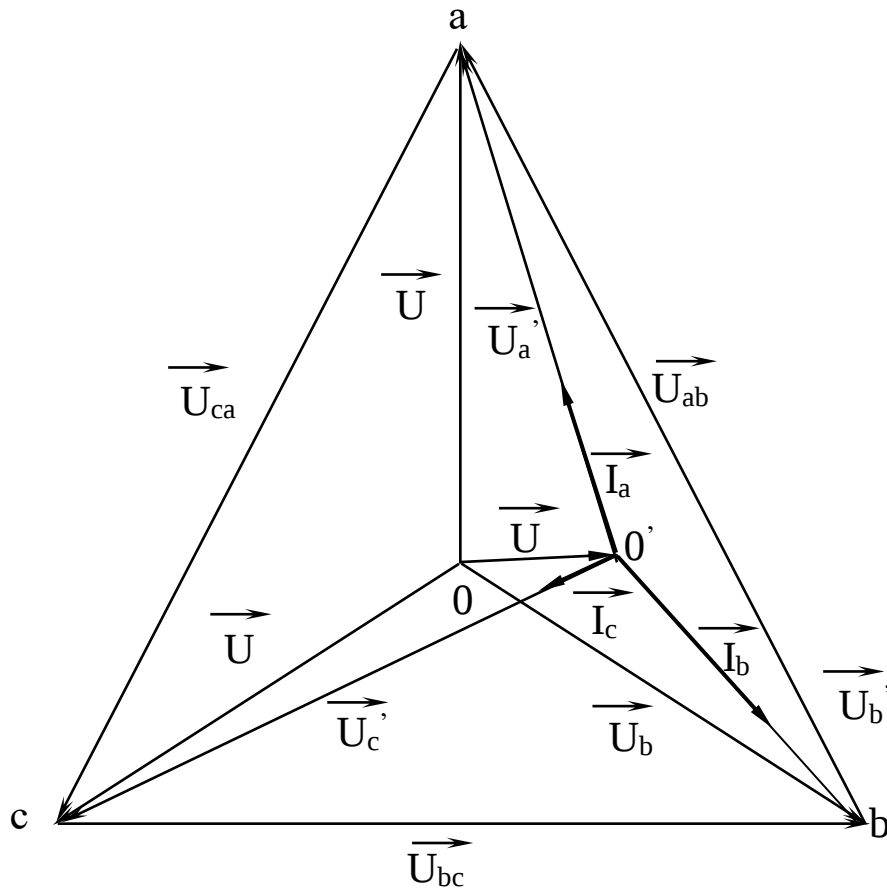


Рис.12 - Топографічна діаграма трифазного несиметричного активного навантаження

Висновок по 3-му питанню: При з'єднанні навантаження "зіркою" без нейтрального проводу є імовірність виникнення пожежонебезпечного режиму при несиметричному навантаженні. Звичайно при використанні несиметричного навантаження (лампи розжарювання та ін.) завжди є нейтральний провід, у який ніколи не встановлюються запобіжники. Пожежонебезпечний режим може виникнути при обриві нейтрального проводу.

Висновок по лекції: Трьохфазні кола перемінного струму характеризуються такими основними поняттями: фаза, лінійні і нульовий проводи, нульова точка генератора і споживача, лінійна і фазна напруги, лінійний, фазний і нейтральний струми. Поняття, введені на даній лекції, будуть застосовуватися на всіх наступних заняттях по дисципліні.

ЛЕКЦІЯ №4. ТРАНСФОРМАТОРИ

Трансформаторні підстанції є ключовими вузлами в системі електропостачання, і саме вони першочергово опиняються під прицілом ворога. Їх пошкодження або знищення призводить не лише до масштабних відключень електроенергії, а й створює додаткові техногенні ризики для працівників енергетики, рятувальників, а також мешканців прилеглих територій.

Після ракетного удару по трансформаторній підстанції на об'єкті зберігаються залишкові електричні напруги, особливо в обмотках великих силових трансформаторів, які мають значну індуктивність. Припинення зовнішнього живлення не гарантує безпеки, оскільки в магнітній системі трансформатора та в ємнісних елементах можуть залишатися небезпечні потенціали. В момент фізичного пошкодження обладнання часто виникає неконтрольоване дугове розрядження, що може спричинити повторне займання або ураження електричним струмом персоналу, який прибуває для локалізації наслідків.

Особливої небезпеки становить маслоохолоджувальна апаратура. При влучанні боєприпасу чи уламка трансформаторне масло може спалахнути або вибухнути. Це суттєво ускладнює гасіння пожежі і вимагає від рятувальників спеціальних знань щодо ізоляційних властивостей середовища, типів трансформаторної рідини, а також обов'язкового дотримання вимог електробезпеки при наближенні до зруйнованого трансформатора.

Небезпеку становлять також вторинні кола, які продовжують працювати в автономному режимі або підключені до інших джерел живлення, зокрема до автономних генераторів чи непошкоджених ділянок мережі. Через це трансформатор або розподільчий пункт, що здається знеструмленим, може залишатись під напругою. Це ускладнює проведення аварійно-відновлювальних робіт і ставить під загрозу життя персоналу.

Після атаки на трансформаторну підстанцію особливо складним є питання оперативного відновлення її роботи. Швидко замінити трансформатор або навіть відремонтувати практично неможливо через його вагу, складність конструкції і відсутність запасних частин. Тому критичним стає питання захисту діючих трансформаторів за допомогою вогнетривких кожухів, протидронових сіток, елементів пасивного маскування та активного виявлення загроз. Невчасне відключення трансформатора перед ударом може призвести до каскадного виходу з ладу приєднаного обладнання, тому важливим є впровадження систем автоматичного скидання навантаження або переходу на резервне живлення.

Таким чином, трансформатор у воєнних умовах — це не лише електротехнічний пристрій, що виконує функцію перетворення напруги, а й потенційне джерело техногенної небезпеки після ворожих атак. Його експлуатація, обслуговування та аварійне знеструмлення повинні супроводжуватись особливими

заходами безпеки, знання яких є життєво необхідними як для електриків, так і для рятувальних служб, що працюють у зоні ураження.

Питання 1. Електромагнетизм.

Основними характеристиками магнітного кола є магнітна індукція, магнітний потік, напруженість магнітного поля. Основні закони магнітних кіл – закон Біо і Савара-Лапласа, закон повного струму.

Магнітне поле характеризується:

- **магнітною індукцією** (позначається B , [Тл]), яка є крапковою характеристикою магнітного поля; магнітна індукція в 1 Тл дорівнює силі, з якою магнітне поле діє на провідник довжиною 1 м, розташований перпендикулярно магнітним силовим лініям, по якому протікає струм у 1 А;

- **магнітним потоком** або потоком магнітної індукції (позначається Φ , [Вб]), це об'ємна характеристика магнітного поля - число магнітних силових ліній, що проходять через площу S :

$$\Phi = B \cdot S. \quad (1)$$

Закон електромагнітної індукції відкрито в 1831 р. англійським фізиком Майклом Фарадеєм. Існує два формулювання цього закону.

Закон електромагнітної індукції у **формулюванні Фарадея**: ЕРС, що індукується при перетинанні магнітними лініями провідників кола, дорівнює швидкості перетинання магнітних ліній, узятій з негативним знаком:

$$\epsilon = - \frac{dN}{dt}, \quad (2)$$

де: N - кількість магнітних ліній, що перетинаються.

Закон електромагнітної індукції у **формулюванні Максвелла**: ЕРС, що індукується в колі при зміні магнітного потоку, що проходить через поверхню, обмежену контуром кола, дорівнює швидкості зміни магнітного потоку, узятій з негативним знаком:

$$\epsilon = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (3)$$

Обидва формулювання є рівноцінними.

Для провідника, що переміщається в магнітному полі, закон електромагнітної індукції має вид:

$$\epsilon = B \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

де: ϵ , [В] - значення індукованої ЕРС;

ℓ , [м] - довжина провідника;

B , [Тл] - величина магнітної індукції;

v , [м/с] - швидкість пересування провідника щодо магнітних силових ліній;

α - кут між вектором магнітної індукції і вектором швидкості.

Відомі три способи одержання індукційних ЕРС:

- **індукція** (переміщення провідника в нерухомому магнітному полі);
- **власноіндукція** (змінюється струм у провіднику, змінюється й охоплюючий його магнітний потік);
- **взаємоіндукція** (магнітна взаємодія котушок зі струмом – трансформатор).

Напрямок індукованої ЕРС визначається **законом Ленца**: напрямок ЕРС такий, що викликаний нею струм завжди протидіє причині появи ЕРС. Зокрема, напрямок індукованої ЕРС у прямолінійному провіднику визначається за **правилом правої руки**: якщо праву руку розмістити так, щоб магнітні силові лінії входили в долоню, а відігнутий великий палець указував напрямок прямування провідника, то витягнуті чотири пальці укажуть напрямок індукованої ЕРС.

Електромагнітна сила - сила, що діє на провідник, який знаходиться у магнітному полі (виникає в результаті взаємодії магнітного поля струму з зовнішнім магнітним полем). Кількісно величина електромагнітної сили визначається за **формулою Ампера** (або законом електромагнітних сил):

$$F = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin\beta, \quad (5)$$

де: F , [Н] – сила;

B , [Тл] - величина магнітної індукції;

ℓ , [м] - довжина провідника з струмом;

I , [А] - сила струму в провіднику;

β - кут між вектором індукції і напрямком струму.

Напрямок електромагнітної сили визначається **правилом лівої руки**: якщо, поклавши ліву руку на провідник, направити пальці за напрямком струму і повернути долоню перпендикулярно магнітним силовим лініям так, щоб вони в неї входили, то відігнутий великий палець укаже напрямок сили, що діє на провідник.

Питання 2. Будова та принцип роботи трансформаторів

2.1.Класифікація трансформаторів

Трансформатори бувають: *однофазні, трьохфазні та багатофазні*.

Трансформатор називається силовим, якщо він застосовується для перетворення електричної енергії в електричних мережах і в установках, призначених для приймання і використання електричної енергії. До силових відносяться трансформатори трифазні і багатофазні потужністю 6,3 кВА і більше, однофазні потужністю 5кВА та більше. При менших потужностях трансформатори називаються **трансформаторами малої потужності**.

Вимірювальний трансформатор – використовується для включення вимірювальних приладів.

Автотрансформатором називається трансформатор, дві або більше обмоток якого гальванічно пов'язані так, що вони мають загальну частину. Обмотки автотрансформатора пов'язані електрично і магнітно, і передача енергії з первинного кола у вторинне відбувається як за допомогою магнітного поля, так і електричним шляхом.

Номінальними параметрами називаються зазначені виготовлювачем параметри трансформатора (частота, потужність, напруга, струм), що забезпечують його роботу в умовах, установлених нормативним документом, і які є підставою для визначення умов виготовлення, вимірів (досліджень), експлуатації.

Номінальною потужністю обмотки трансформатора називається зазначене на паспортній табличці значення повної потужності на основному відгалуженні обмотки, гарантоване виготовлювачем у номінальних умовах місця установки й охолоджувального середовища при номінальній частоті і номінальному напруженні обмотки. **Номінальною потужністю** двохобмоточного **трансформатора** є номінальна потужність кожної із його обмоток, у трьохобмоточному трансформаторі – найбільша з номінальних потужностей трьох його обмоток. **Номінальний струм** обмотки трансформатора визначається по його номінальній потужності і напрузі.

2.2. Основні частини трансформатора.

Основними частинами трансформатора є:

- магнітна система (магнітопровід або осердя);
- обмотки;
- система охолодження.

Магнітна система трансформатора являє собою комплект пластин або інших елементів, виготовлених з електротехнічної сталі або іншого феромагнітного матеріалу і зібраних у якійсь геометричній формі, призначений для локалізації у ньому основного магнітного поля трансформатора. Магнітна система в цілком зібраному виді спільно з усіма вузлами і деталями, призначеними для скріплення її окремих частин у єдину конструкцію, називається **остовом трансформатора**. По виду осердя відрізняють трансформатори:

- стержньові
- броньові
- тороїдні

Обмоткою називається сукупність витків, що утворюють електричне коло, у якому сумуються ЕРС, наведені у витках. Основним елементом обмотки є виток, тобто деталь з електричного провідника, або ряд паралельно з'єднаних таких деталей, які однократно охоплюють частину магнітної системи трансформатора, електричний струм якого разом із струмами інших таких деталей і інших частин трансформатора створюють магнітне поле трансформатора й у якій під дією цього магнітного поля наводиться електрорушійна сила. Обмотки, як правило, виконуються з мідного або алюмінієвого емальпроводу у виді кругових циліндрів. У двохобмоточному трансформаторі розрізняють обмотку вищої напруги (ВН), що приєднується до мережі більш високої напруги, і обмотку нижчої напруги (НН), приєднаної до мережі більш низької напруги. У трьохобмоточному трансформаторі розрізняють обмотки вищої (ВН), середньої (СН) і нижчої (НН) напруг.

Трансформатори з природним повітряним охолодженням (сухі трансформатори) не мають спеціальної системи охолодження. У масляних трансформаторах у систему охолодження входять бак трансформатора, що заливається мастилом, а для потужних трансформаторів - також і охолоджувачі, вентилятори, мастильні насоси, теплообмінники і ін.

2.3. Принцип роботи однофазного трансформатора.

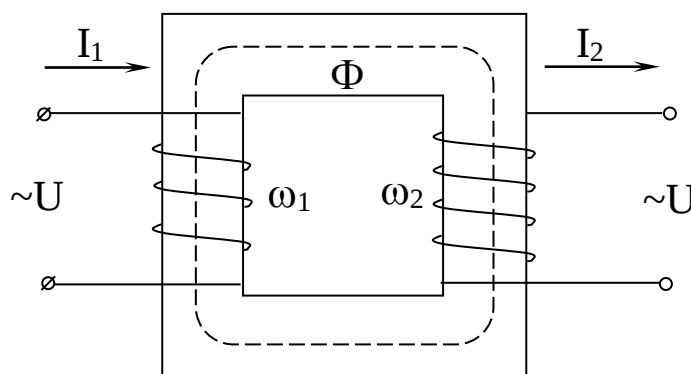


Рис.1 - Однофазний трансформатор

При живленні первинної обмотки перемінним струмом частотою f буде створюватися перемінний магнітний потік

$$\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t, \text{ Вб.}$$

Величина ЕРС, що індуктована в одному витку обмотки, знаходиться на основі закону електромагнітної індукції:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\Phi_m \cdot \omega \cdot \cos \omega t = E_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

ЕРС, що індуктована, відстає по фазі від потоку на кут $\frac{\pi}{2}$.

Діюче значення ЕРС в одному витку

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\omega \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_m.$$

Якщо в первинній обмотці трансформатора ϖ_1 витків, то ЕРС первинної обмотки визначається по формулі:

$$E_1 = 4,44 \cdot \varpi_1 \cdot f \cdot \Phi_m, \text{ В.}$$

Якщо у вторинній обмотці трансформатора ϖ_2 витків, то ЕРС вторинної обмотки визначається по формулі:

$$E_2 = 4,44 \cdot \varpi_2 \cdot f \cdot \Phi_m, \text{ В.}$$

Відношення ЕРС первинної і вторинної обмоток (відношення чисел їх витків) називають коефіцієнтом трансформації:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\varpi_1}{\varpi_2}.$$

Для трансформаторів, що знижують, $k > 1$, що підвищують - $k < 1$.

Якщо вторинну обмотку трансформатора з'єднати з приймачем електричної енергії, то під дію ЕРС цієї обмотки в вторинному колі трансформатора виникає струм i_2 . Таким чином електрична енергія за допомогою перемінного магнітного поля передається з первинної обмотки трансформатора в вторинну.

Висновок по 2-му питанню. Основними частинами трансформаторів є магнітопровід та обмотки; головним параметром трансформатора є коефіцієнт трансформації, який визначається як співвідношення кількості витків у первинній та у вторинній обмотках.

Питання 3. Втрати енергії та ККД трансформатора. Пожежна небезпека трансформаторів.

3.1. Характеристика режимів роботи однофазного трансформатору

3.1.1. Режим холостого ходу

Холостим ходом (ХХ) називають режим роботи трансформатора, коли його первинна обмотка приєднана до кола перемінного струму, а вторинна розімкнута.

Особливість трансформатора полягає в тому, що при відсутності струму в колі вторинної обмотки струм у його вторинній обмотці (струм холостого ходу) дуже малий. Розмір струму холостого ходу в 15-20 разів менше величини струму первинної обмотки трансформатора при його повному навантаженні.

Невеличкий струм холостого ходу створює мале падіння напруги ($I_{10} \cdot r_1$) в опорі r_1 первинної обмотки (його величина не перевищує 0,5% від величини прикладеної напруги U_1). Основна частина прикладеної напруги урівноважена ЕРС e_1 первинної обмотки. Тому, зневажаючи незначним падінням напруги в первинній обмотці при холостому ході трансформатора, можна вважати

$$e_1 \approx u_1.$$

Якщо напруга, прикладена до первинної обмотки, змінюється в часі по синусоїдальному закону, то врівноважуюча його ЕРС первинної обмотки також буде змінюватися по синусоїдальному закону:

$$e_1 = E_{M1} \cdot \sin \omega t.$$

ЕРС вторинної обмотки створюється тим же магнітним потоком, що й ЕРС первинної обмотки. Тому

$$e_2 = E_{M2} \cdot \sin \omega t.$$

Тому величина ЕРС e_1 практично дорівнює величині прикладеної напруги u_1 , а напруга на розімкнутих затискачах вторинної обмотки чисельно дорівнює ЕРС e_2 , то вираз для коефіцієнта трансформації можна записати у виді:

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{E_{M1}}{E_{M2}} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}.$$

Отже, коефіцієнт трансформації приблизно може бути визначений відношенням величин напруг на затискачах первинної і вторинної обмоток трансформатора при холостому ході.

Підбираючи число витків w_2 вторинної обмотки, можна при заданій первинній напрузі U_1 одержати бажану величину напруги U_2 на затискачах вторинної обмотки.

Векторна діаграма для холостого (неробочого) ходу трансформатора подібна векторній діаграмі котушки індуктивності.

Побудова векторної діаграми починається з відкладання вектора магнітного потоку $\vec{\Phi}$. Потім зі зсувом $-\frac{\pi}{2}$ відкладається вектор ЕРС первинної обмотки $\vec{E}_1$. Вектор ЕРС у вторинній обмотці збігається за напрямком з вектором $\vec{E}_1$, але величина його може бути як більше, так і менше $\vec{E}_1$. Для зручності побудови векторної діаграми звичайно відкладається приведене значення вторинної ЕРС, що в даному випадку дорівнює первинної ЕРС:

$$E'_2 = k \cdot E_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot E_2 = E_1 .$$

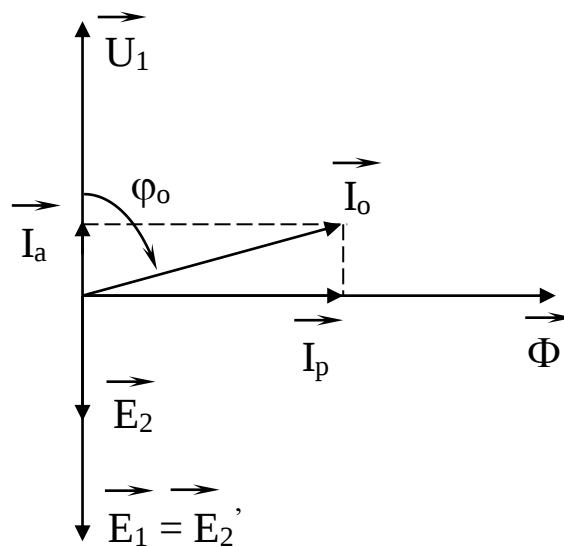


Рис.2 - Векторна діаграма холостого ходу однофазного трансформатора

Вектори $\vec{E}_1$ і $\vec{E}'_2$ зливаються в один. Струм холостого (неробочого) ходу має дві складових – реактивна (що намагнічує) $\vec{I}_p$ і активну $\vec{I}_a$. Складові $\vec{I}_p$ і $\vec{I}_a$ є струмом, що намагнічує та збігається по фазі з потоком. Складові $\vec{I}_a$ визначається втратами в сталевому осерді і знаходиться у фазі з напругою. Повний струм холостого (неробочого) ходу $I_0 = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$. Струм холостого (неробочого) ходу дуже малий (не перевищує декількох % від номінального струму первинної обмотки), $\varphi_0 \approx \frac{\pi}{2}$. Через малість струму падіння напруги в первинній обмотці мало, тому $|U_1| = |E_1|$. На векторній діаграмі відкладається вектор $\vec{U}_1$, рівний і протилежний вектору $\vec{E}_1$.

Для холостого (неробочого) ходу трансформатора можна записати:

$$\Phi = \frac{E_1}{4,44 \cdot \omega_1 \cdot f} = \frac{U_1}{4,44 \cdot \omega_1 \cdot f},$$

звідкіль випливає, що при збільшенні первинної напруги вище номінальної внаслідок насичення різко збільшується струм холостого (неробочого) ходу і трансформатор працює в пожежонебезпечному режимі.

3.1.2. Режим навантаження трансформатора.

При підключенні навантаження до затискачів вторинної обмотки збудженого трансформатора створюється електричне коло, у якому під дією ЕРС e_2 вторинної обмотки створюється перемінний струм i_2 . Величина струму залежить від опору навантаження. Вторинну обмотку трансформатора можна розглядати як нове джерело перемінного струму, що не має електричний зв'язок з зовнішнім джерелом живлення. При передачі електричної енергії з первинного кола трансформатора до вторинного неминуче виникають втрати. Частина енергії джерела живлення марно використовується на нагрів обмоток і осердя. Втрати електричної енергії характеризуються потужністю втрат ΔP , які у свою чергу зручно подати складових: потужність електричних втрат ΔP_E і потужність магнітних втрат ΔP_M .

Потужністю електричних втрат характеризують нагрів обмоток, що володіють опором r_1 і r_2 – вона визначається законом Ленца-Джоуля

$$\Delta P_E = i_1^2 \cdot r_1 + i_2^2 \cdot r_2.$$

Потужністю магнітних втрат ΔP_M характеризують нагрів осердя, викликаний вихровими струмами в ньому, а також циклічним перемагніченням осердя.

Внаслідок втрат ΔP , потужність P_2 передачі енергії в навантаженні буде менше потужності P_1 споживання енергії в первинній обмотці трансформатора.

Коефіцієнт корисної дії трансформатора визначається формулою

$$\eta = \frac{P_1}{P_2},$$

де: $P_1 = P_2 + \Delta P$.

Сучасні трансформатори мають високий ККД., доходять до 97-99%. Якщо зневажити втратами в трансформаторі, то

$$P_1 \approx P_2.$$

Рахуючи, що кути зсуву фаз струму та напруги в первинному і вторинному колах трансформатора приблизно однакові, можна записати

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2$$

або

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1},$$

т.ч. струми в обмотках трансформатора обернено пропорціональні напругам, що діють на затискачах цих обмоток.

Векторна діаграма навантаженого трансформатора приведена на рис. 3.

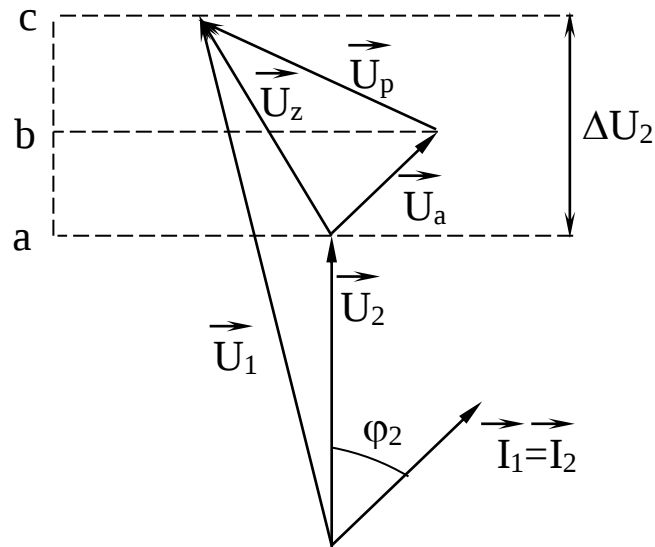


Рис. 3 - Векторна діаграма навантаженого трансформатора

При побудові діаграми зневажаємо струмом холостого (неробочого) ходу $\bar{I}_0$. У цьому випадку струм первинної обмотки $\bar{I}_1$ збігається з приведеним струмом вторинної обмотки $\bar{I}'_2 = \frac{\bar{I}_2}{k}$. Очевидно

$$\bar{U}'_2 = \bar{U}_1 - \bar{U}_Z,$$

де: $\bar{U}'_2$ - приведена вторинна напруга;

$\bar{U}_1$ - первинна напруга;

$\bar{U}_Z$ - повне падіння напруги в трансформаторі.

$$U_Z = \sqrt{U_a^2 + U_p^2} = I_1 \cdot \sqrt{(r_1 + k^2 \cdot r_2)^2 + (X_1 + k^2 \cdot X_2)^2},$$

де: U_a - активне падіння напруги;

U_p - реактивне падіння напруги.

Зміна приведеної вторинної напруги (втрата напруги) визначається алгебраїчною різницею:

$$\Delta U_2 = U'_{20} - U'_2 = U_1 - U'_2,$$

де: U'_{20} - приведена вторинна напруга;

U_1 - первинна напруга;

U_2' - приведена вторинна напруга.

З геометричних розумінь:

$$\Delta U_2 \approx ab + bc = U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2 .$$

Відносна величина зміни вторинної напруги:

$$\Delta U_{2\%} = \frac{\Delta U_2}{U_2} \cdot 100 = \beta \cdot (U_{2акз\%} \cdot \cos \varphi_2 + U_{2ркз\%} \cdot \sin \varphi_2) ,$$

де: $U_{2акз\%} = \frac{P_2}{S_{ном}} \cdot 100, [\%]$ - відносна активна складова напруги короткого замикання при $I_1 = I_{ном}$;

$U_{ркз\%} = \sqrt{U_{2акз\%}^2 - U_{2ркз\%}^2}$ - відносна реактивна складова напруги короткого замикання при $I_1 = I_{ном}$.

Напруга на затискачах вторинної обмотки при довільному навантаженні:

$$U_2 = U_{2ном} - \Delta U_2 .$$

Цей вираз представляє рівняння зовнішньої характеристики. Це рівняння прямої, що виходить із точки $U_{2ном}$. Нахил прямої залежить від характеру навантаження (рис.4).

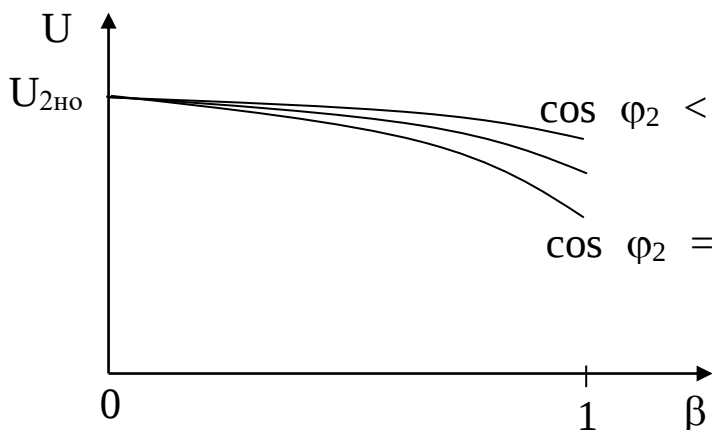


Рис.4 - Зовнішня характеристика трансформатора

3.1.3. Коротке замикання трансформатора

Коротким замиканням називається режим роботи трансформатора, при котрому $U_2 \rightarrow 0$ і $Z \rightarrow 0$.

Режим короткого замикання, що виник випадково в процесі експлуатації при номінальній напрузі на первинній обмотці, є аварійним процесом, що супроводжується значними струмами в обох обмотках. Перевищення фактичних струмів над номінальними в 10-20 разів може призвести до руйнації або загоряння

ізоляції обмоток під дією високої температури і механічних зусиль між обмотками. Т. ч. це *пожежонебезпечний режим роботи трансформатора*.

Дослід короткого замикання виконується при зниженій напрузі в первинному колі $U_{1КЗ}$. Величина цієї напруги повинна бути такою, щоб при короткому замиканні у вторинному колі по обох обмотках протікали б номінальні струми.

Напруга

$$U_{КЗ\%} = \frac{U_{1КЗ}}{U_{1ном}} \cdot 100, \%$$

звичайно задається в паспортних даних трансформатора. Якщо цього параметра немає, то його можна визначити експериментально за показниками вольтметра ($U_{1КЗ}$), приєднаного до вихідних затискачів ЛАТР. Для цього затискачі вторинної обмотки трансформатора замикаються накоротко, а напругу на первинній обмотці плавно підвищують за допомогою автотрансформатора від 0 доти, поки показання амперметрів у первинній і вторинній обмотках не досягнуть номінального значення.

При досліді короткого замикання напруга, що підводиться до трансформатора, $U_{1КЗ}$ не перевищує 4-6% номінальної напруги $U_{1ном}$. Тому магнітний потік буде дуже малий і втрати в сталі можна зневажити. З огляду на те, що $U_{2КЗ} = 0$ і $P_{2КЗ} = 0$, можна вважати, що вся потужність, що підводиться до трансформатора, $P_{1КЗ}$ витрачається на нагрівання обмоток:

$$P_{1КЗ} = P_{1обм} + P_{2обм} = I_{1КЗ}^2 \cdot r_1 + I_{2КЗ}^2 \cdot r_2 .$$

При конструюванні трансформаторів опір обмоток вибирають так, щоб обидві обмотки нагрівалися однаково. При цій умові втрати в провідниках розподіляються між обмотками рівно:

$$\frac{P_{1КЗ}}{2} = I_{1КЗ}^2 \cdot r_1 , \quad \frac{P_{1КЗ}}{2} = I_{2КЗ}^2 \cdot r_2 .$$

Звідси легко визначаються активні опори обмоток трансформатора:

$$r_1 = \frac{P_{1КЗ}}{I_{1КЗ}^2 \cdot 2} , \quad r_2 = \frac{P_{1КЗ}}{I_{2КЗ}^2 \cdot 2} .$$

З деякими наближеннями можна вважати, що напруга короткого замикання $U_{КЗ\%} = \frac{U_{1КЗ}}{U_{1ном}} \cdot 100, \%$ рівно йде на покриття падінь напруги в обох обмотках, тобто

$$\frac{U_{КЗ\%}}{2} = \frac{I_{1КЗ} \cdot z_1}{U_{1ном}} \cdot 100, \%, \quad \frac{U_{КЗ\%}}{2} = \frac{I_{2КЗ} \cdot z_2}{U_{2ном}} \cdot 100, \% .$$

Тоді повні опори обмоток трансформатора

$$z_1 = \frac{U_{K3\%} \cdot U_{1\text{ном}}}{200 \cdot I_{1K3}}, \quad z_2 = \frac{U_{K3\%} \cdot U_{2\text{ном}}}{200 \cdot I_{2K3}}.$$

Реактивні опори обмоток

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - r_1^2}, \quad X_2 = \sqrt{Z_2^2 - r_2^2}.$$

ККД трансформатора у функції β може бути визначений по номінальній потужності, результатам досвіду холостого (неробочого) ходу і короткого замикання по формулі:

$$\eta\% = \frac{S_{\text{ном}} \cdot \beta \cdot \cos\varphi_2}{S_{\text{ном}} \cdot \beta \cdot \cos\varphi_2 + P_{10} + \beta^2 \cdot P_{1K3}} \cdot 100, \%$$

де: $S_{\text{ном}}$, [ВА] - номінальна потужність трансформатора;

β - коефіцієнт завантаження;

P_{10} , [Вт] - потужність за показниками ватметра в первинному колі при холостому (неробочому) ході, рівний потужності втрат у сталі;

P_{1K3} , [Вт] - потужність по показанню ватметра в первинному колі при досліді короткого замикання, рівний потужності втрат у провідниках обмоток при номінальному струмі;

$\beta^2 \cdot P_{1K3}$ - потужність втрат у провідниках обох обмоток при коефіцієнті завантаження β .

Зразковий вид залежності $\eta=f(\beta)$ приведений на рис.5.

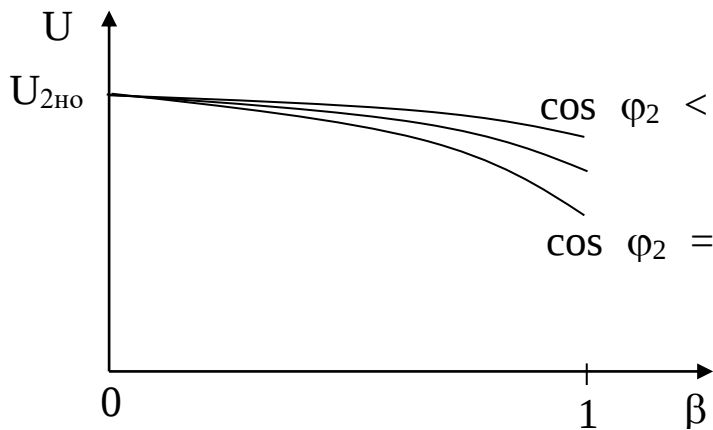


Рис.5 - Зовнішня характеристика трансформатора

3.2. Трифазний трансформатор

Якщо три однофазних трансформатори з'єднати в один трьохстрижневий, то утвориться трифазний трансформатор

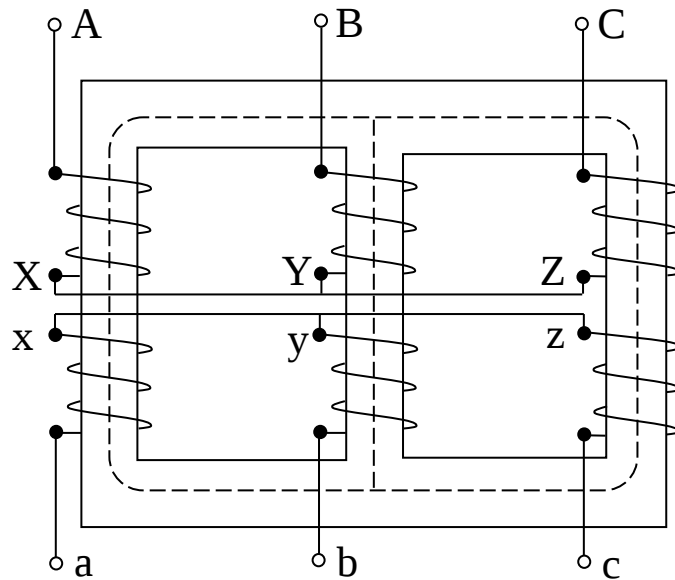


Рис.6 - Трифазний трансформатор

На стрижнях розташовані первинна і вторинна обмотки окремих фаз. Затискачі обмоток вищої напруги позначаються великими літерами: А, В, С - початки обмоток, Х, Y, Z - кінці. Затискачі обмоток нижчої напруги позначені малими літерами: а, b, с - початки обмоток, х, у, z - кінці. Затискач нульової точки позначений знаком 0. Обмотки трифазного трансформатора з'єднують зіркою і трикутником. У умовних позначеннях схем трифазних трансформаторів за позначенням ставлять цифри 12 або 11. Ці цифри позначають кут зсуву вторинної лінійної напруги відносно первинної лінійної напруги, що необхідно знати при вмиканні трансформаторів у паралельну роботу.

Коефіцієнт трансформації трифазного трансформатора при однакових з'єднаннях обмоток (Y/Y або Δ/Δ) визначається відношенням лінійних напруг, а при різних (Δ/Y або Y/Δ) - як відношення фазних напруг.

3.3. Пожежна небезпека трансформаторів

При вивченні будь-яких електроустановок ми будемо розглядати та аналізувати їх пожежну небезпеку у такому порядку:

- аналіз наявності горючого середовища;
- можливі джерела запалювання;
- умови, що сприяють розвитку пожежі.

Аналіз наявності горючого середовища в трансформаторі

- трансформаторне мастило (до 100 т) – це продукт перегонки нафти;
 $t_{\text{сп}} = 135^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{гор}} = 1200^{\circ}\text{C}$;
- ізоляція обмоток трансформаторів, кабелів, проводів;
- горючі будівельні конструкції і матеріали.

Аналіз можливих джерел запалювання

1. Короткі замикання

Внутрішні: міжвиткові, міжслойні, міжобмоточні, на корпус

Зовнішні: на клемах, на прохідних ізоляторах

Особливо небезпечні зовнішні КЗ між виводами фаз вторинної обмотки.

2. Перевантаження

Відбувається внаслідок вмикання в вторинне коло трансформатора споживачів потужністю, яка перевищує номінальну.

3. Вихрові струми

Внаслідок виникнення в осерді вихрових струмів підвищується температура осердя, виникає нагрів ізоляції обмоток, її висихання і руйнація. Виникає КЗ.

4. Великі перехідні опори

Виникають у місцях з'єднання проводів.

5. Перенапруга трансформатора

Виникає при прямому ударі блискавки в ЛЕП.

Аналіз умов, що сприяють поширенню пожежі

Головне – відсутність або неробочий стан системи автоматичного захисту:

- прилади контролю і сигналізації рівня і температури мастила, температури газо-пароповітряного середовища;
- системи блокування і відключення живлення трансформатора при виникненні аварійних режимів;
- відсутність дренажної системи для збору мастила при руйнації трансформатора.

Висновок по 3-му питанню: Найбільше пожежонебезпечним режимом роботи трансформатора є режим короткого замикання у вторинній обмотці, тому що при цьому струм у первинній обмотці зростає відносно струму вторинній обмотці в n раз.

Висновок по лекції: Будь-які відхилення в режимі роботи навантаження трансформатора від номінального призводять до збільшення пожежної небезпеки даного електротехнічного виробу і до передчасного виходу його з ладу, що може призвести до виникнення пожежі. Головна умова недопущення пожеж при експлуатації трансформаторів – відповідність їх вибору, улаштування та експлуатації вимогам нормативних актів з питань пожежної безпеки.

ЛЕКЦІЯ №5. ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ ЗОНИ ПРОСТОРУ

Виділяють вибухонебезпечні зони та пожежонебезпечні зони. Найбільшу небезпеку являють собою електроустановки, розташовані у вибухонебезпечних зонах. Класифікація зон подана у главах 4 та 5 нормативного документа НПАОП 40.1-1.32.

Класифікація вибухонебезпечних зон за ПУЕ. *Вибухонебезпечна зона* – простір у приміщенні або навколо зовнішньої установки, в якому присутнє вибухонебезпечне середовище або воно може утворюватися внаслідок природних чи виробничих чинників у такій кількості, яка вимагає спеціальних заходів у конструкції електрообладнання під час його монтажу та експлуатації.

Вибухонебезпечне середовище – об'єм, в якому середовище внаслідок природних або виробничих чинників може стати вибухонебезпечним.

Газо- пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні – вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Вибухонебезпечна зона класу 0 – простір, в якому вибухонебезпечне середовище наявне постійно або протягом тривалого часу. Вибухонебезпечна зона класу 0 може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Приклад вибухонебезпечної зони класу 0: резервуар, в якому зберігається ЛЗР, наприклад, бензин.

Вибухонебезпечна зона класу 1 – простір, в якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (нормальна робота – ситуація, коли установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів).

Приклад вибухонебезпечної зони класу 1: муловідстійник ацетиленової станції.

Вибухонебезпечна зона класу 2 – простір, в якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів

(розрив трубопроводів високого тиску або резервуарів значної місткості) не повинні розглядатися під час проектування електроустановок.

Частоту виникнення і тривалість вибухонебезпечного газо-пароповітряного середовища визначають за правилами (нормами) відповідних галузей промисловості.

Приклад вибухонебезпечної зони класу 2: фарбувальне приміщення за наявності основного та резервного вентиляційних агрегатів.

Вибухонебезпечна зона класу 20 – простір, в якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої або надмірної товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

Приклад вибухонебезпечної зони класу 20: верстати, що використовуються у технологічному процесі отримання борошна (наприклад, ситовійка).

Вибухонебезпечна зона класу 21 – простір, в якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації.

Ця зона може включати простір поблизу місця порошкового заповнення або осідання і простір, де під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилових шарів, які можуть утворювати небезпечну концентрацію вибухонебезпечної пилоповітряної суміші.

Приклад вибухонебезпечної зони класу 21: приміщення для здрібнювання кам'яного вугілля за відсутності резервних агрегатів системи аспірації.

Вибухонебезпечна зона класу 22 – простір, в якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися нечасто й існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії. Ця зона може включати простір поблизу обладнання, що містить пил, який може вивільнюватися шляхом витоку і формувати пилові утворення.

Приклад вибухонебезпечної зони класу 22: виробничі приміщення млина.

Вибухонебезпечні зони класів 1, 2, 21, 22 можуть існувати як у приміщеннях, так і біля зовнішніх установок. Визначення приміщення дано у параграфі 7.4. *Зовнішня установка* – установка, розміщена поза приміщенням (зовні) просто неба або під дахом чи за сітчастими захисними конструкціями.

При визначенні розмірів вибухонебезпечних зон у приміщеннях слід враховувати наступне:

- під час проектування вибухонебезпечних установок повинні бути передбачені заходи, які б забезпечували мінімальну кількість та незначні розміри вибухонебезпечних зон;

- при розрахунковому надлишковому тиску вибуху газо-пароповітряної ВС, що перевищує 5 кПа, вибухонебезпечна зона займає весь об'єм приміщення;

- вибухонебезпечна зона класів 20, 21, 22 займає весь об'єм приміщення;

- при розрахунковому надлишковому тиску вибуху газо-пароповітряної ВС, що дорівнює або менше 5 кПа, вибухонебезпечна зона займає частину об'єму приміщення і визначається відповідно до норм технологічного проектування або розраховується технологіями. За відсутності даних допускається приймати вибухонебезпечну зону в межах до 5 м по вертикалі і горизонталі від технологічного апарата, з якого можливий викид ГГ або парів ЛЗР;

- при розрахунковому надлишковому тиску вибуху в приміщенні, що не перевищує 0,5 кПа, вибухонебезпечна зона відсутня;

- при розрахунковому надлишковому тиску вибуху пилоповітряної суміші, парів горючої рідини (ГР), що дорівнює або менше 5 кПа, матиме місце пожежонебезпечна зона;

- простір за межами вибухонебезпечних зон класу 2 і 22 не вважається вибухонебезпечним, якщо немає інших умов, що створюють для нього вибухонебезпеку.

Розрахунок надлишкового тиску вибуху газо-пароповітряної або пилоповітряної ВС здійснюється за методикою, приведеною у нормативному документі НАПБ Б.03.002.

Приміщення виробництв, пов'язаних з газоподібним воднем, в яких технологічний процес з урахуванням дії природної витяжної вентиляції унеможливорює появу розрахункового надмірного тиску вибуху, що перевищує визначене галузевими нормами значення як під час нормальної роботи, так і в разі аварії чи виробничої неполадки, мають вибухонебезпечну зону класу 2 тільки у верхній частині приміщення від відмітки 0,75 загальної його висоти від рівня підлоги, але не вище кранової колії, якщо така є (наприклад, приміщення електролізу, зарядні станції тягових і стартерних акумуляторних батарей).

У разі використання для фарбування виробів, які можуть утворювати вибухонебезпечні суміші, коли фарбувальні та сушильні камери розміщуються у загальному технологічному потоці виробництва при виконанні вимог ГОСТ 12.3.005, зона вважається вибухонебезпечною в межах до 5 м по горизонталі і вертикалі від відкритих прорізів фарбувальних і сушильних камер.

При безкамерному фарбуванні виробів зона вважається вибухонебезпечною в межах до 5 м по горизонталі і вертикалі від краю ґрат, від свіжо-пофарбованих виробів і ємностей з горючими матеріалами.

Клас вибухонебезпечної зони на відстані 5 м визначається галузевими нормативними документами залежно від способу фарбування і характеристики лакофарбових матеріалів, а також з урахуванням класу вибухонебезпечної зони у приміщенні.

Зона у приміщеннях витяжних вентиляторів вважається вибухонебезпечною того самого класу, що й зона приміщень, які вони обслуговують. Зони у приміщеннях припливних вентиляторів, які обслуговують приміщення з вибухонебезпечними зонами будь-якого класу, не належать до вибухонебезпечних, якщо припливний повітропровід обладнаний зворотним клапаном, що сам закривається і не допускає проникнення вибухонебезпечних сумішей у приміщення припливних вентиляторів у разі припинення подачі повітря.

За відсутності зворотних клапанів зони у приміщеннях припливних вентиляторів вважаються вибухонебезпечними того самого класу, що й зони приміщень, які вони обслуговують.

Класи і розміри вибухонебезпечних зон для зовнішніх вибухонебезпечних установок повинні прийматися відповідно до норм технологічного проектування та особливостей технологічних процесів і затверджуватися в установленому порядку згідно з чинним законодавством.

У всіх випадках слід враховувати досвід експлуатації діючих вибухонебезпечних установок.

За відсутності обмежень у відомчих нормативних документах для зовнішніх установок допускається приймати вибухонебезпечну зону класу 2 в межах до:

- 0,5 м по горизонталі і вертикалі від закритих віконних і дверних прорізів зовнішніх стін приміщення в разі примикання до прорізу вибухонебезпечних зон класів 1, 21 (виняток – для прорізів вікон, заповнених склоблоками);

- 3 м по горизонталі і вертикалі від закритих технологічних апаратів, заповнених ГГ та ЛЗР; від витяжних вентиляторів, які встановлені зовні приміщень і обслуговують приміщення з вибухонебезпечними зонами класів 1, 21;

- 5 м по горизонталі і вертикалі від пристрою для викиду із запобіжних і дихальних клапанів ємностей і технологічних апаратів з ГГ або ЛЗР; від відкритих прорізів у зовнішніх стінах приміщення в разі примикання до прорізу вибухонебезпечних зон класів 1, 2, 21; від розташованих на захисних конструкціях будинків пристроїв для викиду повітря із систем витяжної вентиляції приміщень з вибухонебезпечними зонами класів 1, 21;

- 20 м по горизонталі і вертикалі від місця відкритого зливу і наливу для естакад з відкритим зливом і наливом ЛЗР.

Біля зовнішніх установок, які виділяють в атмосферу ГГ, пару ЛЗР під час нормальної роботи, має місце обмежена вибухонебезпечна зона класу 1 (наприклад, біля нафтових свердловин, клапанів, місць відкритого зливу і наливу ЛЗР). За відсутності даних у відомчих нормативних документах зону класу 1 допускається приймати в межах не більше 1 м від місця викиду газів, пари ЛЗР. За межами вибухонебезпечної зони класу 1 буде, як правило, наявна вибухонебезпечна зона класу 2.

Зони біля трубопроводів ГГ, ЛЗР не є вибухонебезпечними, за винятком зон класу 2, в межах до 3 м по горизонталі і вертикалі від запірної арматури і фланцевих з'єднань трубопроводів.

Зони у приміщеннях і зони навколо зовнішніх установок, у яких тверді, рідкі і газоподібні горючі речовини спалюються як паливо або утилізуються шляхом спалювання, не належать до вибухонебезпечних.

При технологічних процесах з використанням відкритого вогню або поверхонь, нагрітих вище температури самозаймання горючих речовин, що використовуються в цих приміщеннях, зони у приміщеннях і зовні приміщень у межах до 5 м по горизонталі і вертикалі від відкритого вогню або нагрітих поверхонь не є вибухонебезпечними (наприклад, простір біля електричних печей, що відкриваються).

Вибухонебезпечні зони у приміщеннях, де містяться легкі гази, пара ЛЗР та ГР, що характеризуються як вибухонебезпечні зони класу 1, допускається зараховувати до вибухонебезпечних зон класу 2 за умови:

1) улаштування систем вентиляції з установкою декількох вентиляційних агрегатів. У разі аварійної зупинки одного з них решта агрегатів повинна повністю забезпечити потрібну продуктивність систем вентиляції, а також достатню рівномірність дії вентиляції в усьому об'ємі приміщення, включаючи підвали, канали та їх повороти;

2) улаштування автоматичної сигналізації, що діє на відключення електроживлення установки в разі виникнення в будь-якому пункті приміщення концентрації ГГ або пари ЛЗР, що не перевищує 20 % нижньої концентраційної межі поширення полум'я, для шкідливих вибухонебезпечних газів з урахуванням їх концентрації до гранично допустимої за ГОСТ 12.1.005. Кількість сигнальних приладів, їх розташування, а також система їх резервування повинні забезпечувати безвідмовну дію сигналізації.

Приміщення лабораторій з вибухонебезпечними зонами класу 2 при дотриманні вказаних заходів допускається не зараховувати до вибухонебезпечних.

У приміщеннях без вибухонебезпечних зон, відділених стінами (з дверними прорізами або без них) від вибухонебезпечних зон суміжних приміщень, зону в межах до 5 м по горизонталі і вертикалі від прорізу дверей слід приймати відповідно до табл. 7.9.

У всіх випадках стіни і перегородки між приміщеннями повинні бути пилогазонепроникними, а двері – протипожежними і такими, що відчиняються в бік менш небезпечної зони та самі зачиняються.

Таблиця 5.1 – Клас зони приміщення, суміжного з вибухонебезпечною зоною іншого приміщення

Клас вибухонебезпечної зони	Клас зони приміщення, суміжного з вибухонебезпечною зоною іншого приміщення і відділеного від нього	
	стіною (перегородкою) з дверима, які знаходяться у вибухонебезпечній зоні	стіною (перегородкою) без отворів або з отворами, обладнаними тамбуршлюзами або дверима, які знаходяться поза вибухонебезпечною зоною
1	2	не вибухо- і не пожежонебезпечна зона
2	не вибухо- і не пожежонебезпечна зона	"-
21	22	"-
22	не вибухо- і не пожежонебезпечна зона	"-

Класифікація пожежонебезпечних зон за ПУЕ. Пожежонебезпечною зоною називається простір у приміщенні або за його межами, в якому постійно або періодично знаходяться горючі речовини як при нормальному технологічному процесі, так і при його порушенні в такій кількості, яка вимагає спеціальних заходів у конструкції електрообладнання під час його монтажу та експлуатації.

Зона класу II-I – простір у приміщенні, в якому знаходиться ГР, яка має температуру спалаху більше +61 °С.

Приклади зони класу П-I: приміщення складів мінеральних олив, приміщення для просочування бавовняно-паперових виробів оливою, камери оливних трансформаторів.

Зона класу П-II – простір у приміщенні, в якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна.

Приклади зони класу П-II: деревообробні, прядильні цеха, мало запилені приміщення елеваторів.

Зона класу П-IIa – простір у приміщенні, в якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Приклади зони класу П-IIa: склади або виробничі приміщення з наявністю паперу (бібліотеки, архіви), деревини, горючих пластмас.

Зона класу П-III – простір поза приміщенням, в якому знаходяться ГР з температурою спалаху понад +61°C або тверді горючі речовини.

Приклади зони класу П-III: відкриті або під навісом склади мінеральних олив, пиломатеріалів.

У разі розміщенні в приміщеннях або на відкритому повітрі одиничного пожежонебезпечного технологічного обладнання, коли спеціальних заходів проти розповсюдження пожежі не передбачено, зона в межах до 3 м по горизонталі і вертикалі від цього обладнання вважається пожежонебезпечною.

Найбільш пожежонебезпечними зонами є зони класів П-I і П-II.

Маркування електрообладнання загального призначення

Для надійної і безпечної роботи електрообладнання його заключають у корпус (оболонку). Залежно від виконання оболонки, електрообладнання розділяють на два типи – електрообладнання загального призначення та вибухозахищене електрообладнання. Електрообладнання загального призначення повинне мати захисну оболонку, вибухозахищене електрообладнання – вибухозахист.

Оболонка – частина, що забезпечує захист обладнання від певних зовнішніх впливів і захист в усіх напрямках від прямих контактів.

Ступінь захисту оболонки – спосіб захисту від доступу до небезпечних частин, попадання зовнішніх твердих предметів і (або) води.

Маркування електрообладнання загального призначення регламентується міждержавним стандартом ГОСТ 14254. Система кодифікації, що застосовується для позначення ступенів захисту, називається *код IP* (IP – скорочення від англійського словосполучення "International Protection" – міжнародний захист). Код IP складається з певного набору літер та цифр – двох характеристичних цифр, додаткової та допоміжної літер. Додаткової та допоміжної літер може не бути.

Перша характеристична цифра позначає захист людини від наближення до небезпечних частин, запобігаючи або обмежуючи проникнення якої-небудь частини тіла людини або предмета, що знаходиться у руках людини, а також захист обладнання всередині оболонки від проникнення зовнішніх твердих предметів:

- цифра "0" – немає захисту;
- цифра "1" – захищено від доступу до небезпечних частин тильним боком руки, захищено від проникнення твердих сторонніх тіл діаметром, рівним або більше 50 мм;
- цифра "2" – захищено від доступу до небезпечних частин пальцем руки, захищено від проникнення твердих сторонніх тіл діаметром, рівним або більше 12,5 мм;
- цифра "3" – захищено від доступу до небезпечних частин інструментом, захищено від проникнення твердих сторонніх тіл діаметром, рівним або більше 2,5 мм;
- цифра "4" – захищено від доступу до небезпечних частин дротом, захищено від проникнення твердих сторонніх тіл діаметром, рівним або більше 1 мм;
- цифра "5" – захищено від доступу до небезпечних частин дротом, захищено від шкідливого проникнення пилу, що цілком не запобігається;
- цифра "6" – захищено від доступу до небезпечних частин дротом, повний захист від проникнення пилу;

– літера "X" – за відсутності нормування.

Друга характеристична цифра позначає ступінь захисту, що забезпечується оболонкою для захисту обладнання від проникнення води:

- цифра "0" – немає захисту;
- цифра "1" – захищено від вертикально падаючих крапель;
- цифра "2" – захищено від крапель, що падають під кутом до 15°;
- цифра "3" – захищено від дощу;
- цифра "4" – захищено від суцільного збризкування;
- цифра "5" – захищено від водяних струменів будь-якого напрямку;
- цифра "6" – захист від сильних водяних струменів;
- цифра "7" – захист при зануренні у воду (вказується тиск і час занурення у воду);
- цифра "8" – захист при необмежено довгому зануренні у воду під визначеним обумовленим тиском;
- літера "X" – за відсутності нормування.

Додаткова літера позначає захист людини від наближення до небезпечних частин. Застосовується, якщо захист від доступу до небезпечних частин вище захисту, вказаного першою характеристичною цифрою, або захист від пилу відсутній, але є захист людини від наближення до небезпечних частин (перша характеристична цифра замінена літерою X):

- літера "A" – захищено від доступу до небезпечних частин тильним боком руки;
- літера "B" – захищено від доступу до небезпечних частин пальцем руки;
- літера "C" – захищено від доступу до небезпечних частин інструментом;
- літера "D" – захищено від доступу до небезпечних частин дротом.

Допоміжна літера позначає додаткову інформацію про наявність захисту:

- літера "H" – високовольтні апарати;
- літера "M" – захищено від небезпечного впливу води для обладнання з рухомими частинами у стані руху;

– літера "S" – захищено від небезпечного впливу води для обладнання з рухомими частинами у нерухомому стані;

– літера "W" – особливий захист від зовнішніх факторів.

Приклад коду IP: IP23CH. Розшифровується наступним чином: IP – літери коду, 2 – перша характеристична цифра (захищено від доступу до небезпечних частин пальцем руки, захищено від проникнення твердих сторонніх тіл діаметром, рівним або більше 12,5 мм); 3 – друга характеристична цифра (захищено від дощу); C – додаткова літера (захищено від доступу до небезпечних частин інструментом); H – допоміжна літера (високовольтний апарат).

Маркування вибухозахисту електрообладнання

Вибухозахищене електрообладнання – електротехнічний виріб спеціального призначення, який виконано таким чином, що усунена або утруднена можливість запалювання навколишнього вибухонебезпечного середовища під час експлуатації цього виробу.

В Україні діє три способи маркування вибухозахисту електрообладнання: за ПУЕ, за ПИВРЭ ОАА.684.053-67 та за ПИВЭ. Маркування виконується на корпусі електрообладнання рельєфним виливком, фотохімічним способом або штампуванням.

Маркування вибухозахисту електрообладнання за ПУЕ (НПАОП 40.1-1.32). Електричне обладнання маркують із зазначенням рівня вибухозахисту, знаку "Ex", виду вибухозахисту, групи (підгрупи) та температурного класу.

Рівень вибухозахисту – характеризує ступінь надійності вибухозахисту електрообладнання. Встановлено 3 рівні:

1) *Підвищена надійність проти вибуху* – вибухозахищене електричне обладнання, у якому вибухозахист забезпечується тільки у визначеному режимі його роботи. Знак рівня – цифра "2".

2) *Вибухозахищене* – вибухозахищене електричне обладнання, у якому вибухозахист забезпечується як при нормальному режимі роботи електрообладнання,

так і при ймовірних пошкодженнях, які визначаються умовами експлуатації, крім пошкоджень засобів вибухозахисту. Знак рівня – цифра "1".

3) *Особливо вибухозахищене* – вибухозахищене електричне обладнання, у якому щодо вибухозахищеного електричного обладнання вжито додаткових заходів вибухозахисту, які передбачені стандартами на види вибухозахисту. Знак рівня – цифра "0" (нуль).

Найвищим є рівень вибухозахисту, що позначається цифрою "0".

Знак "Ex" (Ex – скорочення від англійського слова "explosion" – вибух) – указує на відповідність електрообладнання стандартам Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) на вибухозахищене електрообладнання.

Вид вибухозахисту – сукупність заходів, які встановлені нормативними документами та характеризують конструктивні особливості вибухозахисту електрообладнання. Встановлено 9 видів вибухозахисту:

1) *Вибухонепроникна оболонка* – оболонка, яка витримує тиск вибуху в її середині та унеможлиблює його розповсюдження з оболонки в навколишнє вибухонебезпечне середовище. Позначення виду – літера "d".

2) *Заповнення або продування оболонки захисним газом під надлишковим тиском* – оболонка електричного обладнання заповнюється або продувається надлишковим тиском повітря чи інертного газу. Позначення виду – літера "p".

3) *Іскробезпечне електричне коло* – електричне коло виконане так, що електричний розряд або нагрівання не може запалити вибухонебезпечне середовище в умовах спеціальних випробувань. Позначення виду – літера "i".

4) *Кварцове заповнення оболонки* – оболонка електричного обладнання заповнюється кварцовим або іншим негорючим порошком. Позначення виду – літера "q".

5) *Оливне заповнення оболонки* – оболонка електричного обладнання заповнюється оливою або рідким негорючим діелектриком. Позначення виду – літера "o".

6) *Захист виду "e"* – в електричному обладнанні або його частинах немає деталей, що нормально іскрять, і вжито низку заходів додатково до використаних в

електрообладнання загального призначення, які утруднюють появу небезпечного нагрівання, електричних іскор і дуг. Позначення виду – літера "e".

7) *Герметизація компаундом* – будь-яка частина електричного обладнання, здатна запалити вибухонебезпечне середовище через іскріння або нагрівання, замкнена в компаундну оболонку. Позначення виду – літера "m".

8) *Спеціальний вид вибухозахисту* – вибухозахист забезпечується на принципах, відмінних від наведених у пунктах 1)-7), але достатніх для його здійснення. Позначення виду – літера "s".

9) *Спеціальний вид вибухозахисту* – електрообладнання відповідає вимогам стандартів щодо електричних приладів, які в нормальному режимі експлуатації не мають гарячих поверхонь, здатних до загоряння, та не створюють електричних дуг або іскор. Електрообладнання з цим видом вибухозахисту слід застосовувати у вибухонебезпечних зонах класу 2. Позначення виду – літера "n".

Група електрообладнання – вказує сферу застосування вибухозахищеного електрообладнання. Встановлено 2 групи:

1) *рудничне електрообладнання* – призначене для підземних виробіток, шахт, рудників. Знак групи – римська цифра "I";

2) *електрообладнання, призначене для внутрішньої і зовнішньої установки у вибухонебезпечних зонах (крім рудничного)*. Знак групи – римська цифра "II".

Електрообладнання групи II, яке має вибухозахист видів "d" або "i", поділяється на три підгрупи IIА, IIВ, IIС, що відповідають категоріям ВС (таблиця 7.2).

Температурний клас електрообладнання – поняття застосовується лише для електрообладнання групи II, вказує граничну температуру електрообладнання та відповідає групі ВС (таблиця 7.3).

При маркуванні вибухозахисту електрообладнання з видом вибухозахисту "іскробезпечне електричне коло" при літері "i" підстроковим індексом вказується рівень вибухозахисту: підвищена надійність проти вибуху – літера "с", вибухозахищене – літера "в", особливо вибухозахищене – літера "а".

Приклади маркування вибухозахисту за ПУЕ (НПАОП 40.1-1.32):

1ExdIIAT6. Розшифровується наступним чином: 1 – знак рівня вибухозахисту (вибухозахищене); Ex – знак, що вказує на відповідність електрообладнання стандартам МЕК на вибухозахищене електрообладнання; d – знак виду вибухозахисту (вибухонепроникна оболонка); II – знак групи електрообладнання (електрообладнання, призначене для внутрішньої і зовнішньої установки у вибухонебезпечних зонах (крім рудничного)); IIA – знак підгрупи електрообладнання (БЕМЩ більше 0,9 мм); T6 – знак температурного класу (гранична температура +85 °C).

ExiцIT6. Розшифровується наступним чином: Ex – знак, що вказує на відповідність електрообладнання стандартам МЕК на вибухозахищене електрообладнання; i – знак виду вибухозахисту (іскробезпечне електричне коло); индекс "с" – знак рівня вибухозахисту (підвищена надійність проти вибуху); II – знак групи електрообладнання (електрообладнання, призначене для внутрішньої і зовнішньої установки у вибухонебезпечних зонах (крім рудничного)) для усіх підгруп; T6 – знак температурного класу (гранична температура +85 °C).

2ExsI. Розшифровується наступним чином: 2 – знак рівня вибухозахисту (підвищена надійність проти вибуху); Ex – знак, що вказує на відповідність електрообладнання стандартам МЕК на вибухозахищене електрообладнання; s – знак виду вибухозахисту (спеціальний); I – знак групи електрообладнання (рудничне).

ЛЕКЦІЯ №6. ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА КАБЕЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ

У сучасному світі електрична енергія є основою функціонування практично всіх сфер життєдіяльності людини — від побуту до промисловості, транспорту, медицини та сфери інформаційних технологій. Кабельна продукція, як невід’ємна складова електричних мереж, забезпечує передачу енергії та сигналів, і водночас є потенційним джерелом підвищеної пожежної небезпеки. Саме тому питання забезпечення пожежної безпеки кабельної продукції завжди було і залишається надзвичайно актуальним.

Особливої гостроти ця проблема набуває в умовах воєнних дій, які тривають на території України. З початку повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України об’єкти енергетичної інфраструктури стали одними з основних цілей для атак. Пошкодження підстанцій, трансформаторних вузлів, розподільчих щитів, ліній електропередач і кабельних мереж призводить не лише до перебоїв з електропостачанням, а й до виникнення численних аварійних ситуацій, серед яких — пожежі.

Кабельна продукція, яка використовується для передачі електроенергії, має складну структуру: вона складається з металевих жил, ізоляційних матеріалів, оболонки, а часто й додаткових захисних шарів. Більшість ізоляційних матеріалів, що застосовуються у виробництві кабелів, є горючими. У разі пошкодження ізоляції або порушення цілісності кабелю виникає ризик короткого замикання, іскріння, локального перегріву, що може стати причиною займання. В умовах мирного часу такі ситуації здебільшого контролюються завдяки регулярним оглядам, профілактиці, своєчасній заміні зношених елементів мережі.

Проте в умовах воєнних дій ситуація кардинально змінюється. Внаслідок артилерійських обстрілів, авіаударів, вибухів та інших руйнівних впливів кабельна продукція часто зазнає механічних пошкоджень: розривів, здавлювань, розгерметизації ізоляції, що призводить до контакту струмопровідних жил з навколишнім середовищем. Такі пошкодження можуть залишатися непоміченими через складнощі доступу до місць аварій, відсутність електроживлення,

руйнування будівель або інфраструктурних об'єктів. Усе це суттєво підвищує ризик виникнення пожеж, які можуть швидко поширюватися по кабельних трасах, особливо в умовах обмеженої роботи аварійних та пожежних служб.

Додатковим фактором є те, що під час війни часто виникає необхідність у швидкому відновленні електропостачання. В таких умовах іноді використовуються тимчасові або несертифіковані кабелі, які не відповідають вимогам пожежної безпеки. Через дефіцит матеріалів і часу, а також через руйнування складів і логістичних ланцюгів, у мережах можуть з'являтися кабелі з недостатньою ізоляцією, підвищеною горючістю або з порушенням технології монтажу. Це ще більше підвищує ризики виникнення пожеж.

Не менш важливим є і соціальний аспект. Пожежі, спричинені пошкодженням кабельної продукції, несуть загрозу життю та здоров'ю людей, створюють додаткове навантаження на рятувальні служби, які й так працюють у надскладних умовах. Крім того, пожежі можуть призводити до знищення важливих об'єктів інфраструктури, житлових будинків, лікарень, шкіл, що ускладнює гуманітарну ситуацію в регіонах, які постраждали від бойових дій.

Таким чином, пожежна небезпека кабельної продукції в умовах воєнних дій — це комплексна проблема, яка потребує особливої уваги з боку фахівців, керівників підприємств, працівників енергетичної галузі, а також органів державної влади. Вивчення причин, наслідків та шляхів мінімізації ризиків виникнення пожеж, пов'язаних із кабельною продукцією, є запорукою збереження життів, матеріальних цінностей і стабільної роботи критичної інфраструктури країни.

У ході нашої лекції ми детально розглянемо основні причини виникнення пожеж через кабельну продукцію, особливості її експлуатації під час воєнних дій, сучасні підходи до забезпечення пожежної безпеки, а також практичні рекомендації щодо профілактики та ліквідації аварійних ситуацій.

Пожежна небезпека кабельної продукції

Половина всіх пожеж від електротехнічних виробів виникає від загоряння проводів та кабелів. Даний факт змушує приділити окрему увагу цим видам електротехнічних виробів.

Кабельна продукція (КП) – сукупність кабельних виробів (визначення, що відносяться до КП, приведено відповідно до ГОСТ 15845).

Кабельний виріб (КВ) – електротехнічний виріб, призначений для передачі по ньому електричної енергії, електричних сигналів інформації або такий, що служить для виготовлення обмоток електричних пристроїв, й відрізняється гнучкістю.

КВ, що застосовуються на території України, підлягають обов’язковій сертифікації, у тому числі за показниками пожежної безпеки.

3.1. Класифікація кабельних виробів

КВ залежно від форми енергії або сигналу, що передаються, поділяють на ізолювані та неізолювані електричні кабелі і проводи та оптичні кабелі.

Електричний кабель – КВ, який містить одну або більше ізолюваних жил (провідників) в металевій або неметалевій оболонці, на зовнішній поверхні якої, залежно від умов прокладання й експлуатації, може бути відповідне захисне покриття, до складу якого може входити броня, та придатний, зокрема, для прокладання в землі і під водою. Залежно від наявності у захисному покритті броні кабелі бувають: *неброньовані* та *броньовані*.

Електричний провід – КВ, який містить одну або більше ізолюваних жил зі скручених дротів, на зовнішній поверхні яких, залежно від умов прокладання й експлуатації, може бути легка неметалева оболонка, обмотка та (або) обплетення з волокнистих матеріалів або дроту, та не призначений, зокрема, для прокладання в землі і під водою. Електричні проводи бувають: *неізолюваними* (оголеними); *ізолюваними незахищеними* (від механічних пошкоджень); *ізолюваними захищеними* (від механічних пошкоджень).

Електричний шнур – провід з ізолюваними жилами підвищеної

гнучкості для з'єднання з пересувними пристроями.

Оптичний кабель (або *волоконно-оптичний кабель*) – кабель, сконструйований з одного або більшої кількості оптичних волокон чи пучків волокон усередині спільної оболонки, призначеної для захисту їх від механічного впливу та впливу інших зовнішніх чинників зі збереженням якості передавання у волокнах.

Залежно від номінальної напруги кабелі (проводи) поділяють на *низьковольтні* (до 1 кВ змінного струму і 1,5 кВ постійного струму включно) та *високовольтні* (понад 1 кВ змінного струму і 1,5 кВ постійного струму).

Кабелі та проводи залежно від гнучкості поділяють на негнучкі та гнучкі. *Негнучкі кабелі (проводи)* призначені для застосування у стаціонарних електроустановках, а *гнучкі* – в нестаціонарних (в переносних та пересувних) електроустановках та стаціонарних електроустановках з рухливими пристроями. У зв'язку з цим розрізняють *стаціонарні* та *нестаціонарні кабелі (проводи)*.

Залежно від функціонального призначення виділяють:

- *силові кабелі (проводи)* – кабелі (проводи) для передавання електричної енергії струмами промислової частоти;
- *кабелі (проводи, шнури) зв'язку* – кабелі (проводи, шнури), призначені для передавання сигналів інформації струмами різних частот. До цього класу, зокрема, належать телефонні кабелі, проводи і шнури, кабелі для передавання даних, радіочастотні кабелі, а також оптичні кабелі;
- *радіочастотні кабелі* – кабелі для передавання електромагнітної енергії на радіочастотах. До цього класу, зокрема, належать радіочастотні розподільні кабелі для телевізійної розподільної мережі;
- *контрольні кабелі* – кабелі, призначені для кіл контролю та вимірювання на відстані електричних і фізичних параметрів;
- *кабелі управління* – кабелі, призначені для дистанційного управління, релейного захисту й автоматики;
- *сигнально-блокувальні кабелі* – кабелі, призначені для кіл сигналізації та

блокування;

- *установочні проводи* – проводи для розподільних низьковольтних електромереж;

- *монтажні проводи* – проводи, призначені для з'єднання електричних схем в електротехнічних, радіотехнічних та інших пристроях;

- *нагрівальні кабелі (проводи)* – кабелі (проводи) з жилами високого електричного опору, призначені для обігрівання різних об'єктів;

- *самоутримні кабелі (проводи)*, у тому числі ізольовані – кабелі (проводи) з утримуючим елементом, призначеним для збільшення його (кабеля) механічної міцності, кріплення і підвішування. До цього класу належать кабелі і проводи з утримуючим тросом та вантажонесні кабелі і проводи;

- *обмотувальні проводи* – проводи, призначені для виготовлення обмоток електротехнічних пристроїв;

- *термопарні кабелі (проводи)* – кабелі (проводи) для виготовлення термопар та передавання по них термоелектрорушійної сили;

- *ліфтові кабелі* – кабелі, призначені для керування ліфтами;

- *кабелі систем безпеки* – кабелі, здатні до збереження цілісності кіл в умовах вогневої дії, які призначені для живлення, контролю параметрів і управління систем безпеки (систем протипожежного захисту, систем підтримання життєдіяльності, систем аварійної зупинки ядерних реакторів тощо) під час пожежі;

- інші спеціальні кабелі та проводи.

Кабелі і проводи можуть застосовуватись на різних об'єктах. Залежно від сфери застосування розрізняють: кабелі (проводи) загального призначення; кабелі (проводи) спеціального призначення.

Кабелі та проводи можуть прокладатися поодинокі або у пучках. У пучках кабелі та проводи прокладаються із зазором і без нього. Із зазором прокладають кабелі і проводи задля забезпечення їх роботи з максимально допустимим струмом навантаження та витримування теплового режиму

функціонування.

3.2. Конструкція кабельних виробів

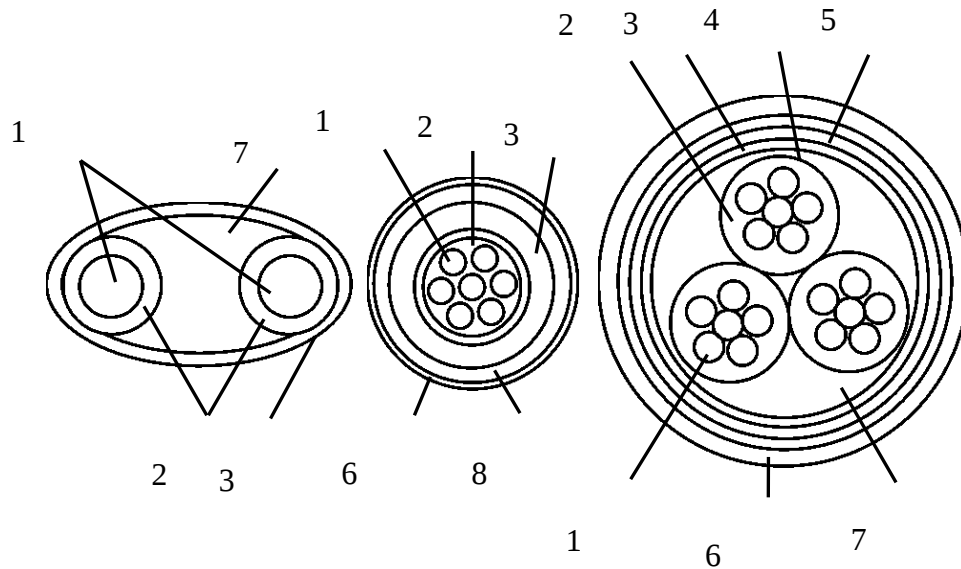
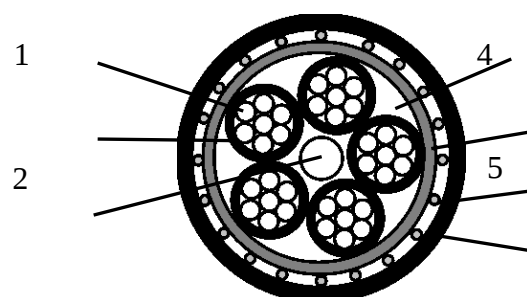


Рис. 3.2 – Конструкції ізолюваного проводу

1 – струмовідні жили; 2 – ізоляція; 3 – заповнювач; 4 – статичний екран; 5 – оболонка; 6 – концентричний провідник з мідних проволоку; 7 – поясна ізоляція; 8 – металевий екран



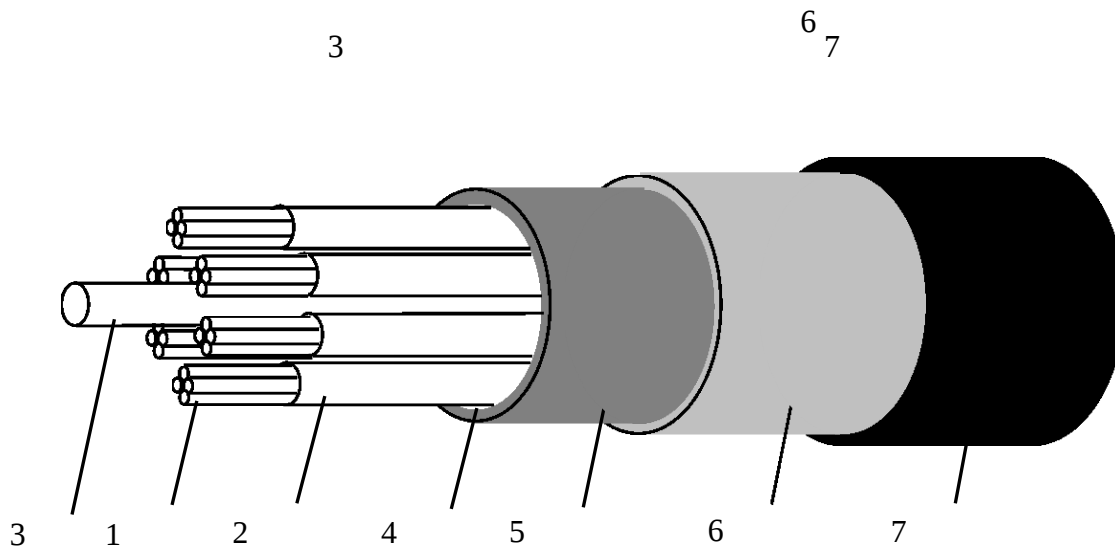


Рис. 3.3 – Конструкція оптичного кабелю

1 – оптичне волокно; 2 – ізоляція оптичного модуля; 3 – силовий елемент; 4 – гідрофобний заповнювач; 5 – скріплююча обмотка; 6 – арамідні нитки; 7 – пластмасова оболонка

Основними елементами всіх типів кабелів, проводів і шнурів є: струмовідні жили, ізоляція струмовідних жил, екрани, оболонка, зовнішні покрови.

Струмовідна жила (провідник) – елемент кабельного виробу, призначений для проходження електричного струму. Струмовідні жили основних типів ізольованих проводів і кабелів виготовляють з мідних, мідних луджених або алюмінієвих дротів без покриття. Струмовідні жили повинні мати технічні та економічні характеристики відповідно до призначення КВ.

Оптичне волокно – діелектрична структура, уздовж якої може розповсюджуватись електромагнітна енергія у видимій та інфрачервоній ділянках спектра.

Ізоляція струмовідної жили – елемент кабельного виробу у вигляді суцільного шару діелектрика, розміщений на поверхні струмовідної жили і призначений для ізолювання струмовідних жил від контакту між собою. У

деяких конструкціях проводів, наприклад, установочних, монтажних, обмотувальних, оболонка може не застосовуватись, тому її функції виконує ізоляція.

Заповнювач – елемент, призначений для заповнення вільних проміжків у кабелі або проводі з метою надання належної форми, механічної стійкості, повздовжньої герметичності тощо. Як матеріал можуть застосовуватися спеціальні рецептури ПВХ пластикатів, високонаповнених гум або гідрофобні заповнювачі (у конструкціях оптичних кабелів).

Екран – елемент з електропровідного немагнітного та (або) магнітного матеріалу у вигляді циліндричного шару навколо струмовідної або ізольованої жили, групи, пучка, усього осердя або його частини, чи у вигляді розмежувального шару різної конфігурації. Екрани виконують у вигляді мідних та алюмінієвих трубок, обплетення з мідної або алюмінієвої стрічки, мідними або мідними лудженими дротами, сталевим оцинкованим дротом та кабельним папером, ПЕ, ПВХ та гумою, що є електропровідними.

Оболонка – безперервна металева чи неметалева трубка, розміщена назовні осердя, яка призначена для захисту його від вологи та інших зовнішніх факторів. Матеріал та товщина оболонки визначаються конструкцією кабелю або проводу, їх призначенням та умовами експлуатації.

Захисний покрив – елемент, накладений на ізоляцію, екран, оболонку, чи зміцнений покрив кабельного виробу, призначений для додаткового захисту від зовнішніх факторів. Захисний покрив складається з броні, подушки (розміщується під бронею) та зовнішнього покриття (розміщується зовні броні). Сам захисний покрив та кожний з його елементів можуть бути відсутні в конструкціях кабельних виробів.

Броня призначена для захисту кабелю від зовнішніх механічних та електричних впливів. Броню виконують у вигляді сталевих стрічок або з оцинкованих сталевих дротів. Броня застосовується у високовольтних і вантажонесучих кабелях і може бути відсутньою в кабелях з металевою оболонкою.

Броньовані кабелі застосовують у прокладках, які зазнають значного подовжнього навантаження та можуть пошкоджуватись гризунами.

Подушка призначена для захисту від корозії та запобігання механічним пошкодженням стрічками або дротами броні. Подушка являє собою концентричні шари з попередньо просоченої кабельної пряжі, крепованого паперу або попередньо просоченого кабельного паперу з покриттям бітумом або бітумним складом по оболонці і поверх подушки.

Зовнішній покрив призначений для захисту броні кабелю від корозії та механічних впливів. Зовнішні покриття кабелів складаються з шару бітумного складу або бітуму, просоченої кабельної пряжі зі штапельованого скловолокна, шару бітумного складу або бітуму і крейди або дробленої слюди, що захищає витки кабелю від злипання на барабані. Пластмасові зовнішні покриття кабелів складаються з шару бітумного складу або бітуму, ПВХ стрічки, поліетилентерафталату, поліаміду або іншого, рівноцінного матеріалу і поліетиленового або ПВХ шланга.

У деяких конструкціях низьковольтних кабелів і проводів може застосовуватись легкий захисний покрив: обмотка або обплетення.

3.3. Маркування кабельних виробів

Для розрізнення та ідентифікації за призначенням, конструкцією та умовами експлуатації КВ поділяють на марки та маркорозміри.

Марка кабельного виробу – умовна літерно-цифрова позначка КВ, що відображає його призначення й основні конструктивні ознаки, тобто тип КВ, а також додаткові конструктивні ознаки: матеріал оболонки, вид захисного покриття тощо.

Маркорозмір кабельного виробу – умовна літерно-цифрова позначка, що характеризує, крім марки, основні конструктивні та електричні параметри КВ: діаметр або переріз струмовідних жил, кількість жил (груп), напругу, хвилеву напругу тощо, які є достатніми, щоб відрізнити даний КВ від іншого.

На сьогодні випускається широка номенклатура КВ. Тому розглянемо позначення марок кабелів і проводів (шнурів), які найбільш широко застосовуються в побуті та у промисловості, а саме позначення кабелів і проводів для побутових електричних приладів та силових кабелів для стаціонарного прокладання.

Маркування силових кабелів

Основне маркування цих кабелів включає символи, які характеризують тип струмовідних жил, ізоляції, оболонки, захисного покритву, наявність екрана тощо.

Перша літера «А» вказує на наявність жили з алюмінію. Ця літера відсутня, якщо жили – мідні.

Друга літера позначає матеріал ізоляції. Ця літера відсутня, якщо ізоляція – паперова. Поліетиленова ізоляція позначається літерою «П», ізоляція зі стійкого до горіння поліетилену – літерою з індексом «П_с», ізоляція з вулканізованого поліетилену – літерою з індексом «П_в», ПВХ ізоляція – літерою «В», а гумова – літерою «Р».

Третя літера вказує на матеріал оболонки. Оболонка свинцева позначається літерою «С», алюмінієва – літерою «А», ПВХ – літерою «В», гумова на основі хлоропренового каучуку (наїриту) – літерою «Н», поліетиленова – літерою «П».

Далі в марці силових кабелів на напругу 1÷10 кВ позначається тип захисного покритву.

Перша позиція вказує тип броні. Якщо броня складається зі сталевих чи оцинкованих стрічок, то її позначають літерою «Б», з оцинкованих сталевих плоских дротів – літерою «П», і якщо такі дроти круглі – літерою «К». Для кабелів з металевою оболонкою, в яких відсутня броня з подушкою, позначення броні та подушки не вказують.

Друга позиція вказує на тип подушки. Відсутність подушки позначається літерою «б». Якщо існує звичайна подушка, то її не позначають. Подушки, до складу яких додатково входять

поліетилентерафталатні стрічки, позначають літерою «л», і якщо така подушка складається з двох шарів – цифрою і літерою «2л». Подушки, до складу яких входять додатково поліетилентерафталатні стрічки та поліетиленовий шланг, позначають літерою «п», а подушки, до складу яких замість ПЕ шланга входить ПВХ шланг, – літерою «в».

Третя позиція вказує на тип зовнішнього захисного покриття. Звичайний зовнішній захисний покрив літерою не позначається. Зовнішній захисний покрив зі складом, стійким до горіння, позначається літерою «н», із застосуванням ПЕ шланга – літерами «Шп», із застосуванням ПВХ шланга – літерами «Шв». Якщо зовнішній захисний покрив відсутній, то це позначають літерою «Г».

Сформоване таким чином літерно-цифрове позначення можна вважати основою марки кабелю, в якій використовуються, крім того, додаткові позначення:

- у кабелях із паперовою ізоляцією, просоченою складом, що не стікає (для вертикального прокладання), в марці на першому місці стоїть літера «Ц»;
- у кабелях із паперовою ізоляцією зі збідненим просоченням у кінці ставлять літеру «В» з дефісом перед нею;
- у кабелях з металевим екраном у кінці додають літеру «Э».

Після літерного коду у стандартному позначенні кабелю розташований цифровий код, в якому послідовно вказані кількість жил, переріз жил у міліметрах квадратних та номінальна напруга у кіловольтах.

Приклад маркорозмірів силових кабелів номінальною напругою до 10 кВ:

ААБ2лШв 1×240-1. Розшифровується наступним чином: силовий кабель номінальною напругою 1 кВ, з однією алюмінієвою жилою перерізом 240 мм², з алюмінієвою оболонкою, захисним покриттям, що складається з подушки під бронею, яку посилено двома пластмасовими стрічками, броні із двох сталевих стрічок і зовнішнього покриття типу Шв. Відсутність буквеного позначення ізоляції означає, що кабель має звичайну просочену паперову ізоляцію.

Маркування проводів (шнурів).

Маркування проводів подібне до маркування кабелів. Марка складається з певної кількості літер російського алфавіту. При цьому додержуються певного порядку.

Перша літера указує на матеріал, з якого виготовлено жилу (як і для кабелю).

Друга літера «П» указує, що це провід, «Ш» – шнур.

Третя літера «П» позначає, що провід (шнур) плоский, тобто що це 2 або 3 ізолювані жили, сполучені тонкою плівкою ізоляційного матеріалу, «В» – витий. Третьої літери може не бути.

Четверта літера вказує на ізоляцію жили (як і для кабелю).

П'ята літера позначає матеріал оболонки, наприклад: «О» – покриття, «Ф» – фальцована оболонка (цієї букви може не бути).

Приклад марок проводів (шнурів):

ПВС. Розшифровується наступним чином: провід зі скрученими жилами з ПВХ ізоляцією, з ПВХ оболонкою, гнучкий, на напругу до 380 В для систем 380/660 В.

3.4. Пожежна небезпека кабельних виробів

До виникнення і розвитку пожеж від КВ призводить їх робота в аварійних режимах та утворення при цих режимах джерел запалювання. Займання КВ може статися під впливом внутрішніх та зовнішніх джерел запалювання.

Для КВ характерними є внутрішні джерела запалювання електричного походження, до основних з яких слід віднести наступні: надмірне нагрівання, електричні дуги й іскри, розжарені чи палаючі частки. До утворення цих джерел запалювання можуть призвести такі аварійні режими роботи КВ: струм КЗ, струм перевантаження, перенапруга, струм витоку, збільшення перехідного опору в контактних з'єднаннях.

Зовнішніми джерелами запалювання для КВ є відкрите полум'я, що

утворюється під час займання об'єктів, розташованих поблизу них, та надмірна кількість теплоти, що виділяється від теплогенеруючих установок та виробів, що горять. Звичайно, вплив зовнішніх джерел запалювання на КВ спричиняє їх КЗ, що також може сприяти прискоренню процесу розвитку пожежі від них.

Ізольовані проводи і кабелі також потенційно сприяють розвитку пожежі. У КВ на одиниці довжини може зосереджуватися до 1 кг неметалевих ізоляційних матеріалів, а для окремих типів кабелів – до 10 – 15 кг. Ці матеріали здатні до горіння, утворення теплоти, диму, токсичних і корозійно-активних продуктів горіння. Кабельні лінії та системи електропроводки на об'єктах можуть містити декілька десятків КВ. Довжина таких прокладок може сягати, наприклад, в житловому будинку (1 секція на 150 квартир) до 100 км, а на об'єктах атомної енергетики – декілька сотень кілометрів. Усе це й характеризує потенційну небезпеку розвитку пожежі на об'єкті від КВ.

Після займання КВ полум'я від місця займання поширюється вздовж них та на інші елементи системи електропроводки або елементи будівельних конструкцій. Під час горіння від КВ можуть відділятися палаючі частки, які спричиняють займання горючих виробів та матеріалів, розміщених під ними. Поширювання полум'я вздовж протяжних кабельних ліній, у тому числі через неущільнені проходи перегородок та перекриттів, та втягнення до цього процесу інших об'єктів, розміщених поряд з ними, призводить до охоплення пожежею значної поверхні будівель і споруд.

Під час горіння КВ та втягнення у пожежу інших виробів виділяється велика кількість тепла, диму, токсичних і корозійно-активних продуктів згоряння в небезпечній кількості для людей та матеріальних цінностей. Причому зосередження в самих кабельних прокладках великої маси горючих матеріалів може бути достатнім, щоб їхні продукти згоряння могли призвести до загибелі людей.

Оскільки на об'єктах КВ мають велику протяжність та велику кількість

з'єднань, імовірність їх займання і пошкодження від внутрішніх тззовнішніх джерел запалювання є дуже великою. У зв'язку з цим є великий ризик невиконання системами безпеки своїх функцій через вихід з ладу кабельних ліній живлення цих систем.

Пожежну небезпеку КВ можна звести до мінімуму, якщо вказані вище аспекти пожежної небезпеки в комплексі враховувати під час проектування КВ, їх виготовлення та застосування на об'єктах.

3.5. Вимоги до експлуатації електропроводок

У процесі експлуатації електричних мереж і електроустановок ізоляція КВ піддається різним ушкодженням (механічним, хімічним, тепловим тощо), а також старінню, у результаті чого погіршуються її властивості (в основному зменшується активний опір). Для виявлення дефектів проводиться періодичний контроль ізоляції, який полягає у вимірі її активного опору.

Контроль ізоляції підрозділяється на приймально-здавальний, періодичний і постійний.

Приймально-здавальний контроль ізоляції здійснюється при введенні в експлуатацію електромереж – нових або відремонтованих.

Періодичний контроль ізоляції полягає у періодичному замірі її опору в діючій електричній мережі чи електроустановці. Забір опору ізоляції електричних мереж має проводитися в особливо вологих та жарких приміщеннях, у зовнішніх установках, а також у приміщеннях із хімічно активним середовищем у повному обсязі не рідше 1 разу на рік, в інших випадках – 1 раз на 2 роки, якщо інші терміни не обумовлені «Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів».

Вимірювання опору ізоляції необхідно здійснювати на відключеній електроустановці чи ділянці мережі. Вимірюють опір ізоляції кожної фази відносно землі і між фазами на кожній ділянці між двома послідовно встановленими апаратами захисту.

Опір ізоляції кожної ділянки в мережах напругою до 1000 В повинен бути не нижче 0,5 МОм на фазу. Для періодичного контролю ізоляції застосовують мегомметри типів М4100, Ф4102 та інші. На рис. 9.4 для прикладу приведено схему вмикання мегомметра для виміру опору ізоляції між лінійним провідником L3 та провідником PEN.

Постійний контроль ізоляції необхідно виконувати під робочою напругою з підключеними споживачами. Найпростішою схемою контролю є метод трьох вольтметрів, що включаються в зірку із заземленою нейтральною точкою. Приклад контролю ізоляції методом трьох вольтметрів приведений на рис. 9.5.

При справній ізоляції вольтметри покажуть напругу, приблизно рівну фазній; при глухому замиканні на землю один з вольтметрів покаже нуль, а два інших – лінійну напругу. Таким чином, схема здійснює самоконтроль, тому що несправний вольтметр покаже нуль, як при глухому замиканні на землю.

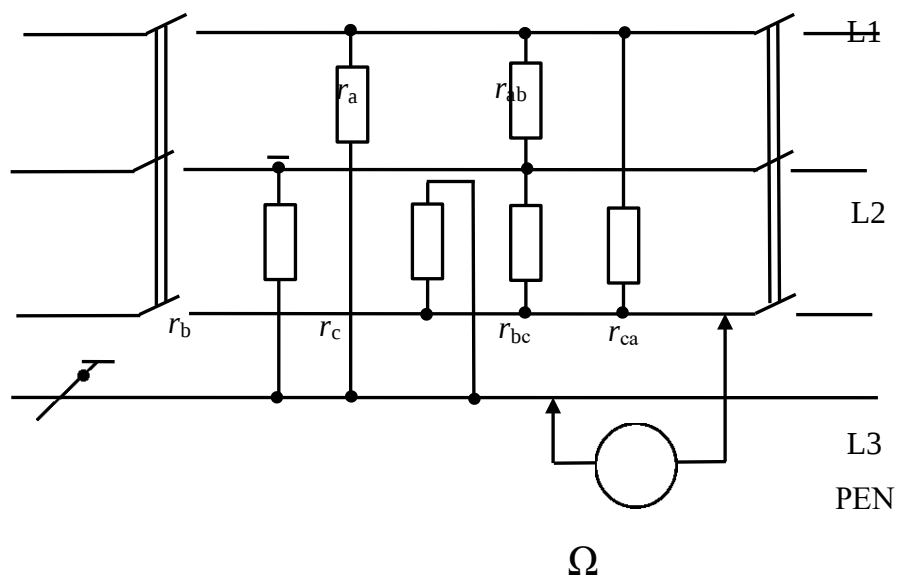
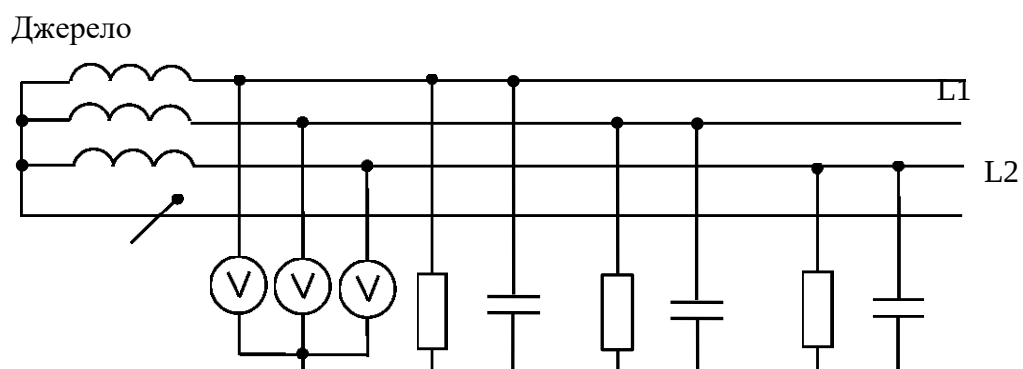


Рис. 3.4 – Схема виміру опору ізоляції мережі за допомогою мегомметра



$$r_a \quad C_a \quad r_b \quad C_b \quad r_c \quad C_c$$

Рис. 3.5 – Контроль ізоляції мережі методом трьох вольтметрів

За показаннями вольтметрів можна судити лише про наявність або відсутність замикань на землю, а не про величину опору ізоляції. Недоліком методу є те, що при симетричному зниженні опорів ізоляції вольтметри будуть показувати напруги, рівні фазним.

МЕТОДИ ЗАХИСТУ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ВІД ОБСТРІЛІВ ТА ДРОНІВ

Захист кабельних ліній в умовах сучасних воєнних дій – надзвичайно актуальна задача для енергетичної інфраструктури України. Обстріли, атаки дронів та використання високотехнологічних засобів ураження створюють нові виклики для збереження цілісності та функціонування кабельних мереж. Нижче розглянемо основні методи захисту кабельних ліній від таких загроз.

Фізичний захист та інженерні рішення:

Заглиблення кабелів. Один із найефективніших способів — прокладання кабельних ліній на значній глибині під землею або у спеціальних захисних лотках і трубах. Це суттєво знижує ризик прямого ураження уламками снарядів, вибуховими хвилями чи уламками дронів.

Використання броньованих кабелів. Для підвищення стійкості до механічних пошкоджень застосовують кабелі з металевою бронею або додатковими захисними шарами, що здатні витримувати удари та часткові вибухи.

Захисні споруди та бар'єри. Важливі ділянки кабельних трас можуть захищатися бетонними або металевими кожухами, а також розміщуватися під захисними спорудами (наприклад, у тунелях чи спеціальних колекторах), що

мінімізує ризик пошкодження під час обстрілів².

Технічні засоби виявлення та локалізації пошкоджень:

Системи моніторингу стану кабелів. Встановлення датчиків температури, струму, напруги та цілісності ізоляції дозволяє оперативно виявляти пошкодження, спричинені обстрілами або атаками дронів, і швидко локалізувати аварійну ділянку для подальшого ремонту¹.

Автоматизовані системи керування аварійними режимами. Такі системи дозволяють автоматично відключати пошкоджені ділянки, запобігаючи поширенню аварії та зменшуючи ризик виникнення пожежі¹.

Захист від дронів:

Системи радіоелектронної боротьби (РЕБ). Для захисту від атак дронів на об'єктах критичної інфраструктури встановлюють комплекси РЕБ, які пригнічують сигнали управління та навігації дронів, змушуючи їх втрачати керування або повертатися на базу. Такі системи можуть бути мобільними або стаціонарними, охоплювати окремі об'єкти або створювати "купол" захисту над цілою територією⁴.

Високоточні радары та оптичні системи. Для раннього виявлення дронів використовують радары та камери, що дозволяє своєчасно реагувати на загрозу та активувати засоби протидії⁴.

Фізичне знищення дронів. У разі виявлення дрона, що несе загрозу кабельним лініям, можуть застосовуватися спеціальні засоби для його знищення — від стрілецької зброї до спеціальних сіток або лазерних систем⁴.

Організаційні та стратегічні заходи:

Децентралізація та резервування мереж. Створення резервних схем електропостачання та дублювання кабельних ліній дозволяє зберегти функціонування критичних об'єктів навіть при пошкодженні основної лінії².

Обмеження доступу та маскування. Важливі кабельні траси маскують, обмежують доступ сторонніх осіб, а також використовують засоби для ускладнення виявлення кабелів дронами-розвідниками.

Підвищення готовності аварійних служб. Забезпечення швидкого

реагування ремонтних бригад та наявність запасу матеріалів для оперативного відновлення пошкоджених ліній.

Висновок:

Комплексний підхід до захисту кабельних ліній — поєднання фізичних, технічних, організаційних та інформаційних заходів — дозволяє мінімізувати ризики пошкодження під час обстрілів та атак дронів, зберегти енергетичну безпеку й забезпечити стабільне функціонування критичної інфраструктури навіть в умовах війни.

ЛЕКЦІЯ №7. АВАРІЙНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Класифікація небезпечних режимів роботи електричних мереж

Восени 2022-го росія регулярно почала обстрілювати енергетичну інфраструктуру України. У грудні повідомлялось, що через російські обстріли з ладу виведена половина енергосистеми України. Наслідки для країни були найсерйознішими за всю історію нашої енергетики: абсолютна більшість споживачів залишилась без електрозабезпечення. Деякі міста, включно зі столицею, на добу залишились ще і без тепло та водопостачання, а також без мобільного зв'язку. А після обстрілів 16 грудня 2022 року запровадили надзвичайний стан в енергетиці. В Україні були застосовані заходи, заготовлені на випадок повного блекауту.

Через пошкодження мережі в Україні вимушено були розвантажені енергоблоки на всіх чотирьох атомних електростанціях. Подія для галузі абсолютно унікальна: вперше в історії в країні зупинилися всі АЕС. Відбулось фактично розділення енергетичної системи України на окремі островки. Тобто відбулася системна аварія внаслідок відключення споживачів від об'єктів генерації. Через це впала частота, внаслідок чого відбулося відключення атомних енергоблоків. Цей випадок міг призвести до непередбачуваних важких наслідків з точки зору ядерної безпеки.

Загалом за перший рік повномасштабного вторгнення росіяни 255 разів вдарили по об'єктах енергетики. Найбільше постраждали Донецька, Дніпропетровська та Київська області. Розподіл обстрілів об'єктів енергетики по областях представлений на рис. 10.

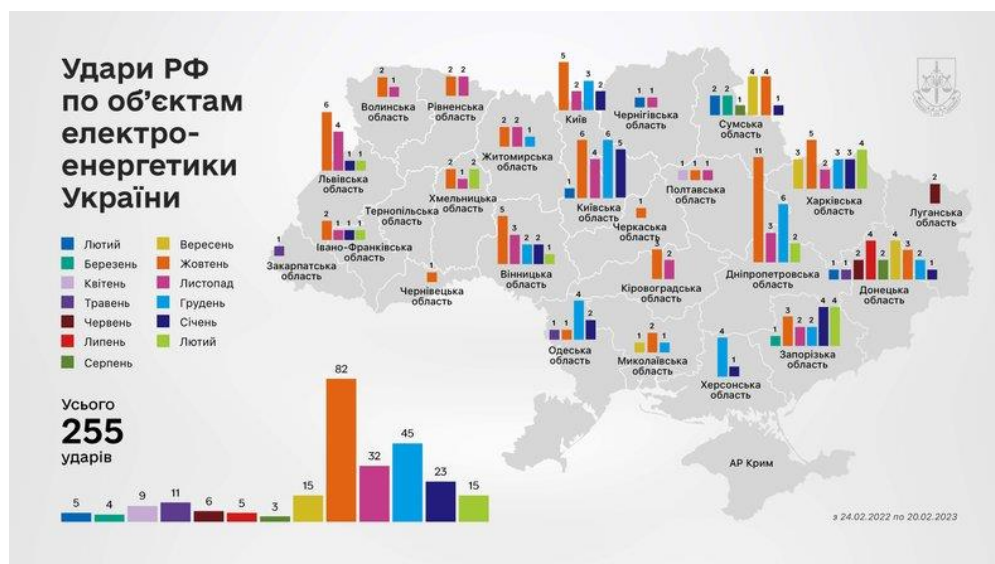


Рис. 4. – Розподіл обстрілів об'єктів енергетики по областям України

Варто зазначити, що окрім ракетних обстрілів, ніхто не відміняв місцевих аварій, які обленерго ліквідовує щорічно через перенапругу в мережі, падіння дерев на лінії електропередачі або льодяний дощ.

Наявність обстрілів та інші аварії на об'єктах енергетичної промисловості можуть приводити до небезпечних режимів роботи електричних мереж, внаслідок чого можливе виникнення пожеж та інших надзвичайних ситуацій.

Небезпечними режимами роботи електричних мереж є:

- 1) короткі замикання (КЗ);
- 2) електричні іскри (краплі металу);
- 3) іскри статичної електрики;
- 4) перевантаження;
- 5) нагрівання електричних контактів при виникненні великих перехідних опорів;
- 6) прямий удар блискавки;
- 7) вторинні дії блискавки;
- 8) перенапруга;
- 9) струм витоку.

Коротке замикання (КЗ) – аварійний режим роботи електроустановки, при якому відбувається з'єднання (замикання) провідників, що мають різний потенціал, через малий опір, не передбачений нормальним режимом роботи даної електроустановки. При КЗ в електричному колі протікає *струм КЗ*, який є надструмом. Може виникати у електромережах у наслідок пошкодження електричної проводки внаслідок влучання уламків.

Надструм – загальне поняття, яке включає в себе будь-який струм, величина якого перевищує робоче (розрахункове) значення.

Небезпека КЗ пояснюється тепловою дією електричного струму, яка кількісно виражається законом Джоуля-Ленца. Відповідно до закону Ома за зменшення опору R сила струму I збільшується. У законі Джоуля-Ленца сила струму I знаходиться у квадраті, а опір R має першу ступінь, тому кількість теплоти Q , що виділяється у провіднику при виникненні струму КЗ, різко збільшується. За збільшення температури відбувається руйнування ізоляції та загоряння горючих елементів конструкцій та обладнання, що знаходяться біля розігрітої струмом КЗ струмоведучої частини електроустановки.

Розрізняють наступні види КЗ:

- різнополюсне – з'єднуються різнополюсні провідники (позитивний та негативний провідники, або позитивний провідник та провідник середньої точки, або негативний провідник та провідник середньої точки) в електричних мережах постійного струму;
- однофазне – один лінійний (фазний) провідник з'єднується з нейтральним провідником в електричних мережах змінного струму;
- двофазне – один лінійний (фазний) провідник з'єднується з іншим лінійним (фазним) провідником в електричних мережах змінного струму;
- трифазне – три лінійних (фазних) провідники з'єднуються між собою в електричних мережах змінного струму;

— складне — замикання відбуваються в різних точках мережі.

З'єднання лінійного (фазного) провідника із землею в системах з нейтральним провідником, ізольованим від землі, не є КЗ, а називається "замикання на землю".

Основна причина виникнення КЗ — порушення ізоляції провідників. Профілактика виникнення КЗ здійснюється у двох напрямках:

недопущення виникнення КЗ та обмеження часу дії небезпечних струмів КЗ. Заходи щодо попередження виникнення КЗ: правильний вибір, монтаж і експлуатація електроустановок; проведення планово-попереджувальних оглядів і випробувань (зокрема — вимір опору ізоляції).

Для обмеження часу дії небезпечних струмів КЗ в електричних мережах встановлюють апарати захисту, що вимикають електроустановку раніше, ніж станеться займання ізоляції або розплавлення струмовідних жил. З цією метою застосовуються плавкі запобіжники й автоматичні вимикачі з максимальними розчіплювачами струму КЗ. У разі несвоєчасного спрацювання апаратів захисту при КЗ відбувається надмірне нагрівання жил кабельних виробів по всій їх довжині, внаслідок чого може утворитись осередок пожежі зі значною протяжністю або декілька осередків пожежі.

Електричні іскри (краплі металу) та *дуга* виникають при проходженні електричного струму крізь повітря. Під дією електричного поля повітря між контактами іонізується і за деякої величини напруги починається тліючий розряд. За збільшення напруги тліючий розряд переходить в іскровий. Дуги виникають за великої потужності іскрового розряду. Іскріння і дуги спостерігаються завжди за наявності малого повітряного проміжку між провідниками зі струмом (вимикачі, щітки, поганий контакт тощо).

Електричні іскри (краплі металу) утворюються, зокрема, при КЗ електричних провідників. Розмір розпечених часток металу при КЗ електропроводки може досягати 3 мм.

При КЗ іскри вилітають у всіх напрямках, і їхня швидкість не перевищує 10 м/с. Зона розльоту часток при КЗ залежить від висоти розташування проводу, початкової швидкості польоту часток, кута вильоту й носить імовірнісний характер. За висоти розташування проводу 10 м імовірність влучення часток на відстань 9 м становить 0,06; 7 м — 0,45; 5 м — 0,92; за висоти розташування 3 м імовірність влучення часток на відстань 8 м становить 0,01; 6 м — 0,29; 4 м — 0,96; а за висоти 1 м імовірність розльоту

часток на 6 м — 0,06; 5 м — 0,24; 4 м — 0,66 і 3 м — 0,99.

Температура розпечених часток залежить від виду металу й не може бути меншою за температуру його плавлення. Температура часток алюмінію при КЗ досягає +2500 °С.

Іскри статичної електрики. Заряди статичної електрики можуть накопичуватися при транспортуванні рідин, газів і пилу, при ударах, подрібнюванні, розпиленні і подібних процесах механічного впливу на діелектричні матеріали і речовини.

Енергію іскри, що може виникнути під дією напруги між пластиною і яким-небудь заземленим предметом (іскри статичної електрики), розраховують за накопиченою еквівалентним конденсатором енергією за формулою:

$$W_i = 0,5 \cdot C \cdot U^2, \quad (4.1)$$

де W_i – енергія іскри, [Дж]; C – ємність еквівалентного конденсатора, [Ф]; U – напруга, [В].

Різницю потенціалів між зарядженим тілом і землею вимірюють електрометрами в реальних умовах виробництва.

Реальну небезпеку має «контактна» електризація людей, які працюють з діелектричними матеріалами, що рухаються. При зіткненні людини з заземленим предметом виникає іскра з енергією від 2,5 до 7,5 мДж. Для захисту від статичної електрики застосовують ряд заходів,

основним з яких є заземлення.

Перевантаження – аварійний режим роботи електроустановки, при якому у провідниках електричної мережі існують електричні струми, значення яких протягом тривалого часу перевищують величини, що допускаються нормами (у главі 1.3 ПУЕ приведено таблиці зі струмами, тривало допустимими для кабельних виробів різних марок та різних умов їх прокладання). При перевантаженні в електричному колі протікає *струм перевантаження*, який є надструмом, що при тривалому впливі може призвести до ушкодження кола. Цей режим може виникати при підключенні великої кількості електричних приладів до мережі одночасно. Часто такі режими роботи виникали після блекаутів та під час застосування графіків відключень, оскільки після підключення споживачів виникала потреба у використанні побутових, обігрівальних приладів, засобів зв'язку тощо.

Небезпека перевантаження, як і небезпека КЗ, пояснюється тепловою дією електричного струму, яка кількісно виражається законом Джоуля-Ленца. За законом Джоуля-Ленца за збільшення сили струму I збільшується кількість теплоти Q , що виділяється у провіднику при виникненні перевантаження. За збільшення температури відбувається руйнація ізоляції та загоряння горючих елементів конструкцій та обладнання, що знаходяться

біля розігрітої надструмом струмовідної частини електроустановки.

За ПУЕ температура голих (неізольованих) провідників не повинна перевищувати +70 °С, температура провідників із гумовою, наїрітовою, полівінілхлоридною ізоляцією – +65 °С, з паперовою ізоляцією – +80 °С при температурі навколишнього середовища +25 °С. При двократному і більшому перевантаженні кабельних виробів можливе займання їхніх ізоляційних матеріалів. За невеликих перевантажень займання ізоляції не спостерігається, але відбувається швидке її теплове старіння.

Причинами струмових перевантажень у кабельних виробках є:

- помилки при проектуванні електричних мереж;

- вмикання в мережу споживачів, не передбачених проектом;
- підвищення температури навколишнього середовища;
- КЗ у вторинних колах трансформаторів;
- механічні перевантаження електродвигунів
- пошкодження електричних систем внаслідок обстрілів тощо.

Виявити струмове перевантаження можливо двома способами:

- розрахунковим – за загальною потужністю усіх включених електроприймачів;
- експериментальним – за допомогою вимірювальних приладів (амперметра, струмовимірювальних кліщів тощо).

Для профілактики виникнення струмових перевантажень необхідно дотримуватися наступних правил:

- правильно визначати переріз провідників;
- обмежувати вмикання у мережу струмоприймачів, потужність яких перевищує допустиму для даної мережі;
- створювати необхідні умови для охолодження кабельних виробів, електричних машин і апаратів, не допускаючи їх нагрівання вище допустимої температури;
- правильно вибирати двигуни за потужністю, не допускати їх механічного перевантаження, роботи на двох фазах, своєчасно очищати двигуни від пилу і бруду.

Для обмеження часу дії небезпечних струмів перевантаження в електричних мережах встановлюють апарати захисту: плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі з максимальним розчіплювачем струму перевантаження, теплові реле.

Нагрівання електричних контактів при виникненні великих перехідних опорів. *Перехідним опором* називається опір, що виникає в місцях переходу струму з одного провідника на інший. При погіршеному контакті перехідний опір може бути великим.

Причинами виникнення великих перехідних опорів у контактних з'єднаннях є:

- електрохімічна корозія металевих частин через їх несумісність;
- окислення та руйнування металевих поверхонь контактних з'єднань внаслідок корозії під впливом тепла, вологи, агресивних речовин та іскріння;
- текучість та втома металів у з'єднаннях;
- послаблення поверхні контакту через внутрішню та зовнішню вібрацію;
- виконання з'єднань методом "скрутки" та за допомогою нестандартних з'єднувальних пристроїв;
- застосування пристроїв з'єднання, параметри яких не відповідають допустимому струмовому навантаженню та умовам експлуатації, вказаним в інструкціях виробників;
- недостатнє притиснення провідників під час виконання монтажу з'єднання.

Відповідно до “Правил пожежної безпеки в Україні” з’єднання провідників повинне виконуватися паянням, зварюванням, опресуванням або болтовим з’єднанням. Правила виконання з’єднань провідників регламентуються нормативним документом ВСН 139 та стандартом ГОСТ 10434.

Прямий удар блискавки (ПУБ) – безпосередній контакт каналу блискавки з об’єктом (будівлею або спорудою), що супроводжується протіканням через нього струму блискавки.

Небезпека прямого удару блискавки полягає в контакті горючого середовища з каналом блискавки, температура в якому досягає $+30000^{\circ}\text{C}$ за сили струму близько 200000 А й часу дії близько 100 мкс. Величина пробивної напруги становить не менше 20 кВ/см. Від прямого удару блискавки запалюються всі горючі середовища.

Захист будівель та споруд від ПУБ здійснюється улаштуванням блискавковідводів.

Вторинні дії блискавки – дії електромагнітного поля блискавки на металеві елементи будівельних конструкцій, електричні й електронні системи.

Небезпека вторинних дій блискавки полягає в іскрових розрядах, що виникають у результаті індукційного й електромагнітного впливу атмосферної електрики на виробниче устаткування, трубопроводи й будівельні конструкції. Енергія іскрового розряду перевищує 250 мДж і є достатньою для запалення горючих речовин з мінімальною енергією запалювання до 0,25 Дж.

Крім того, небезпеку являє собою занесення високого потенціалу в будинок по металевих комунікаціях не тільки при прямому влученні блискавки, але й при розташуванні комунікацій у безпосередній близькості від блискавковідводу. При недотриманні безпечних відстаней між блискавковідводами й комунікаціями енергія можливих іскрових розрядів досягає значень 100 Дж і більше, тобто є достатньою для запалення всіх горючих речовин.

Захист будівель та споруд від вторинних дій блискавки здійснюється екрануванням, улаштуванням системи вирівнювання потенціалів та встановленням в електричних мережах спеціальних пристроїв – пристроїв захисту від імпульсної перенапруги (ПЗІП).

Перенапруга – аварійне підвищення напруги вище за номінальну (номінальні значення приведені у міждержавному стандарті ГОСТ 13109). Перенапруга в електричній мережі небезпечна поломками техніки – побутової, комп’ютерної, телевізійної. Також вона може призвести до займання електропроводки – це особливо актуально для будинків старого житлового фонду, дач. Погані контакти та оплавлена від перегріву ізоляція зрештою можуть призвести до пожежі. Саме тому для захисту від перенапруги в мережі придумані стабілізатори, мережеві фільтри, блискавкозахист та інше обладнання.

Перенапруги бувають імпульсними (короткочасними) та тривалими. Імпульсні перенапруги виникають внаслідок вторинних дій блискавки та

перехідних процесів під час вмикання або вимикання потужних споживачів електричної енергії. Вплив таких перенапруг може призвести до електричного пробоя ізоляції, наслідком якого може стати утворення електричних дуг та іскор в місцях пробоя або пошкодження ізоляції з подальшим протіканням струму витоку та виникненням КЗ в кабельних виробках. Для захисту електричних кіл від імпульсних перенапруг в електричних мережах встановлюють ПЗІП.

Тривалі перенапруги виникають внаслідок аварійних режимів роботи електромережі (нерівномірного навантаження фаз, КЗ фазного і нейтрального провідників в електромережах з нейтральним провідником, ізольованим від землі), що може бути викликано, в тому числі і пошкодженням внаслідок обстрілів та порушень правил виконання ремонтних робіт, коли виконується приєднання до нейтрального провідника споживача лінійного (фазного) провідника електропроводки чи здійснюється механічне пошкодження кабельних ліній. За тривалих перенапруг, згідно із законом Ома, пропорційно збільшується струм. Отже, такі перенапруги призводять до струмового перевантаження кабельних виробів, прояв якого було розглянуто вище.

Струм витоку в мережі, в якій нейтральний провідник ізольований від землі, та у мережі постійного струму – струм, що протікає між фазним провідником, що знаходиться під напругою (полюсом), і землею в результаті зниження опору ізоляції.

Струм витоку в мережі, в якій нейтральний провідник заземлений, – струм, що протікає по ділянці мережі паралельно струму в нейтральному провіднику (визначення взято зі стандарту ГОСТ12.4.155).

Струм витоку виникає в місцях локальних дефектів і пошкодження ізоляції та там, де відстань уздовж шляхів витоку й між повітряними зазорами струмовідних частин є меншою за допустиме значення.

Струм витоку в кабельних виробках може протікати між лінійними (фазними) провідниками та лінійним (фазним) провідником і нейтральним провідником або захисним провідником. На початковій стадії струм витоку є незначним за величиною та протікає в місцях, де опір ізоляції є найменшим. Проте протягом часу величина цього струму збільшується внаслідок утворення струмопровідних містків на поверхні ізоляції. Струмопровідні містки утворюються внаслідок комбінованої дії напруги, змінної температури та вологи. Під впливом напруги через містки протікає струм, який породжує теплоту, що спричиняє випаровування вологи та залишення на поверхні ізоляції солей. Коли волога повністю випаровується, протікання струму припиняється. При повторних зволоженнях процес утворення струмопровідних містків починається знову. Нове відкладення солей призводить до зростання електропровідності містків, отже, до зростання струму витоку, протікання якого може супроводжуватись іскрінням. Це призводить до обвуглювання ізоляції і, врешті-решт, до КЗ.

Струм витоку також може протікати між будь-яким фазним провідником кабельного виробу та іншими елементами системи проводки, електричних приладів та конструкціями будівель і споруд. Шлях протікання такого струму

витоку на землю обмежується електричним колом з найменшим опором. Тому струм витоку протікає переважно по металевих конструкціях. Причому в місцях контакту провідника з такою конструкцією можуть виникати електричні дуга й іскри, що призводить до розплавлення металу та може спричинити пожежу. Пожежонебезпечним вважається струм витоку, значення якого перевищує 0,2 А.

Причинами виникнення струму витоку в кабельних виробках є:

- мікродефекти ізоляції, отримані при порушенні технології виготовлення;
- механічні пошкодження ізоляції під час транспортування, монтажу та експлуатації;
- теплове й електричне старіння ізоляції, вплив вологи та агресивного середовища;
- обрив або від'єднання проводів і доторкання їх до елементів будівель і споруд тощо.

Для захисту електричних мереж від струмів витоку встановлюють спеціальні пристрої – пристрої автоматичного захисного вимикання живлення (ПЗВ).

Призначення і класифікація апаратів захисту

Апаратом захисту називається апарат, що автоматично відключає захищуване електричне коло при ненормальних режимах (визначення приведено у п. 3.1.2 ПУЕ).

Апарати захисту класифіковані за видом аварійного режиму, від наслідків якого здійснюється захист електричної мережі, за принципом дії, за ступенем захисту оболонки.

Класифікація апаратів захисту за видом аварійного режиму, від наслідків якого здійснюється захист електричної мережі:

- захист від КЗ (здійснюється за допомогою плавкого запобіжника, автоматичного вимикача з розчіплювачем струмів КЗ – електромагнітним, комбінованим або напівпровідниковим);
 - захист від перевантажень (здійснюється за допомогою плавкого запобіжника (за малих перевантажень – ненадійно), теплового реле, автоматичного вимикача з розчіплювачем струмів перевантаження – тепловим, комбінованим або напівпровідниковим);
 - захист від струмів витоку (здійснюється за допомогою ПЗВ);
 - захист від зниження напруги (здійснюється за допомогою автоматичного вимикача з мінімальним або нульовим розчіплювачем напруги);
 - захист від імпульсних перенапруг (здійснюється за допомогою ПЗІП).
- Захист від КЗ повинні мати всі електричні мережі.

Захист від перевантажень повинні мати мережі житлових будинків і споруд громадського призначення, службово-побутових приміщень промислових підприємств, торгових установ, електромережі у вибухо- та

пожежонебезпечних зонах. Силові мережі повинні мати захист від перевантажень, тільки якщо за умовами технологічного процесу може статися тривале перевантаження провідників.

Захист від струмів витоку за допомогою улаштування ПЗВ є обов'язковим для електричних мереж житлових будинків, будівель та споруд громадського призначення.

Захист від перенапруг, викликаних розрядами блискавки, рекомендується виконувати шляхом встановлення ПЗІП в електричних мережах на межах зон захисту від вторинних дій блискавки.

Класифікація апаратів захисту за принципом дії:

- роз'єднання кола в результаті розплавлення струмоведучого елемента (плавкий запобіжник);
- роз'єднання кола в результаті спрацювання електромагніту (автоматичний вимикач з електромагнітним розчіплювачем);
- роз'єднання кола в результаті безпосереднього або непрямого нагрівання і вигинання біметалевого елемента апарата захисту (автоматичний вимикач з тепловим розчіплювачем, теплове реле);
- роз'єднання кола за допомогою напівпровідникового силового приладу (автоматичний вимикач з напівпровідниковим розчіплювачем);
- роз'єднання кола за досягнення (перевищення) диференційним струмом заданої величини струму (пристрій захисного відключення, керований диференційним струмом (ПЗВД));
- шунтування електричного кола при виникненні імпульсної перенапруги (ПЗІП).

Класифікація апаратів захисту за ступенем захисту оболонки. За ступенем захисту оболонки апарати захисту повинні відповідати умовам навколишнього середовища. Апарати захисту у вибухозахищеному виконанні не випускаються. Як правило, апарати захисту встановлюються в розподільних пристроях, захисна оболонка (або вибухозахист) яких повинна відповідати умовам навколишнього середовища.

Конструкція і принцип роботи апаратів захисту

Плавкий запобіжник – електричний комутаційний апарат одноразової дії, який при розплавленні одного або декількох спеціально спроектованих та розрахованих елементів (плавких вставок) розмикає електричне коло, в яке він включений, відключаючи струм, величина якого перевищує задане значення протягом достатньо тривалого часу.

Плавкий запобіжник є історично першим та найбільш поширеним апаратом захисту. Плавкий запобіжник надійно захищає електричне коло від КЗ та великих перевантажень, ненадійно – від малих перевантажень. Технічні вимоги до плавких запобіжників регламентуються національним стандартом ДСТУ ІЕС 60269-1.

Плавкий запобіжник складається з трьох основних частин: корпусу (призначений для монтажу складових елементів плавкого запобіжника),

контактів (призначені для вмикання плавкого запобіжника в монтажну панель) і *плавкої вставки* (чутливий елемент). Деякі плавкі запобіжники оснащуються показником спрацювання (індикатором), який дозволяє візуально визначати стан (цілісність) плавкої вставки.

Принцип дії плавкого запобіжника базується на виділенні тепла струмом, що проходить по плавкій вставці. У нормальних умовах це тепло розсіюється в навколишнє середовище. Якщо кількість виділеного тепла перевищує кількість відведеного тепла, то його надлишок викликає підвищення температури вставки і вона перегоряє (плавиться або спрацьовує).

Плавкі запобіжники бувають *розбірними* та *нерозбірними*. В розбірних запобіжниках можлива заміна плавких вставок після їх спрацювання. Нерозбірні запобіжники після спрацювання плавкої вставки підлягають заміні.

За конструкцією корпусу виділяють плавкі запобіжники *трубчасті* (рис. 4.1), *пластинчаті* (рис. 4.2) і *пробкові* (рис. 4.3).

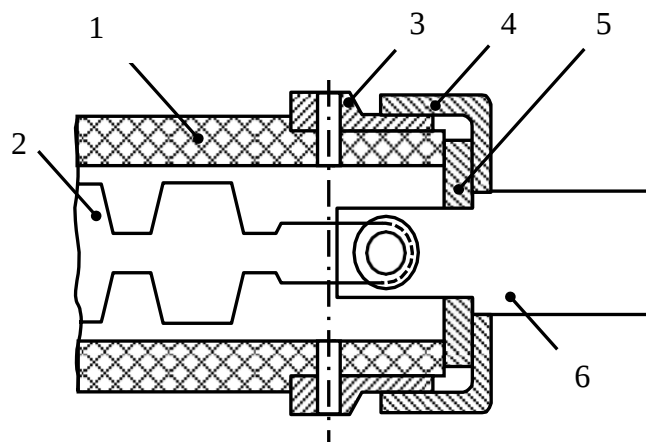


Рис. 4.1 – Конструкція плавкого трубчастого запобіжника серії ПР-2

1 – фібровий корпус; 2 – плавка вставка; 3 – латунна втулка; 4 – латунний ковпачок; 5 – шайба; 6 – мідний контакт

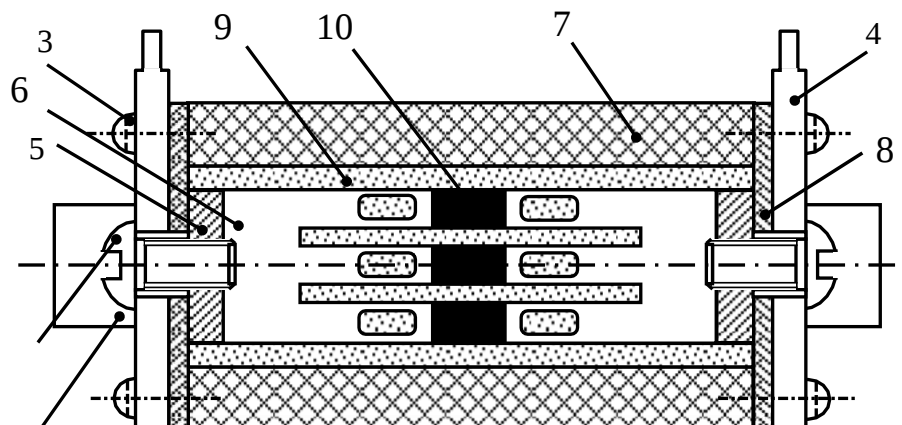


Рис. 4.2 – Конструкція плавкого пластинчатого запобіжника серії ПН-2

1 – контакт; 2, 3 – гвинти; 4 – пластини кріплення; 5 – диски; 6 – плавка вставка; 7 – порцелянова трубка; 8 – азбестова прокладка; 9 – кварцовий пісок; 10 – свинцево-олов'яна напайка

Корпус плавкого запобіжника виготовляється з негорючих полімерних матеріалів, скла, кераміки. Більшість плавких запобіжників виготовляється із закритим корпусом. Плавкі запобіжники із закритим корпусом можуть бути з наповнювачем і без нього. У плавких запобіжниках з наповнювачем електрична дуга, що виникає при розплавленні плавкої вставки, гаситься в порошкоподібному або зернистому наповнювачі, а у плавких запобіжниках без наповнювача – внаслідок високого тиску газів у корпусі. 1 6 5

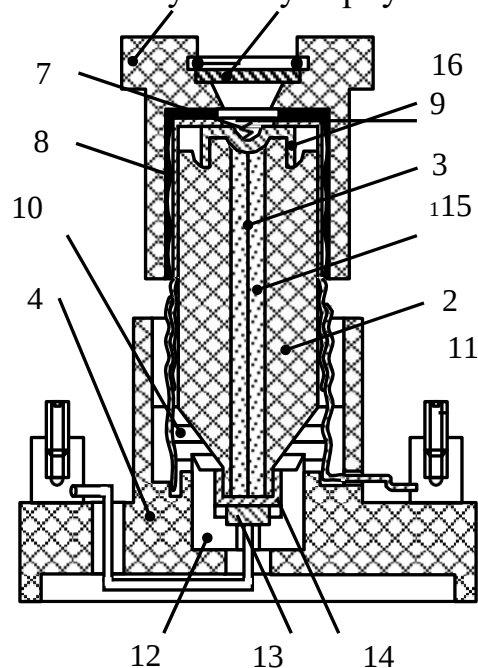


Рис. 4.3 – Конструкція плавкого пробкового запобіжника серії ПД

1 – порцелянова головка; 2 – порцелянова трубка; 3 – плавка вставка; 4 – порцелянова підстава; 5 – скло; 6 – фіксує кільце; 7 – пружина; 8 – ущільнення; 9 – металевий верхній контакт плавкої вставки; 10 – різьбовий контакт; 11 – затиск контактний; 12 – контрольна порцелянова гільза; 13 – контакт; 14 – металевий нижній контакт плавкої вставки; 15 – кварцовий пісок; 16 – показчик

Матеріали для виготовлення плавких вставок повинні мати малий питомий електричний опір, невелику температуру плавлення і, крім того, повинні бути

стійкими до окислювання. У сучасних плавких запобіжниках для виготовлення плавких вставок звичайно застосовують мідь або цинк, рідше – олово та свинець. У відповідальних пристроях, коли необхідно мати повну гарантію від помилкових спрацьовувань через окислювання матеріалу плавкої вставки, застосовують срібло.

Мідь має високу температуру плавлення ($+1083\text{ }^{\circ}\text{C}$) і схильна до окислювання. У процесі експлуатації окисли міді відшаровуються і переріз плавкої вставки поступово зменшується. У результаті змінюються і величина струму, за якого починається процес перегорання плавкої вставки.

Срібло так само, як і мідь, має малий питомий електричний опір і, крім того, не окислюється, що обумовлює високу стабільність мінімальних величин струмів плавлення срібних плавких вставок. Температура плавлення срібла, хоча і є дещо нижчою, ніж у міді, але усе ж є достатньо високою ($+961^{\circ}\text{C}$). У плавких запобіжниках із мідними або срібними плавкими вставками за невеликих струмів перевантаження, за яких потрібен дуже

тривалий час для розплавлення плавкої вставки, можливий значний нагрів корпуса плавкого запобіжника і його руйнація.

До позитивних якостей цинкових плавких вставок слід віднести, крім невисокої температури плавлення ($+419\text{ }^{\circ}\text{C}$), незмінність їхнього перерізу при експлуатації. Цинк на повітрі утворює плівку окислів, яка має достатню механічну тривкість та захищає плавку вставку від подальшого окислювання.

Свинець має невисоку температуру плавлення ($+327\text{ }^{\circ}\text{C}$), але великий питомий електричний опір, і з цієї причини як матеріал для плавких вставок застосовується рідко.

Одним зі способів зниження температури плавлення (зменшення інерційності спрацьовування) плавкої вставки є застосування *металургійного ефекту*, коли на мідну або срібну плавку вставку напаяють кульки з металу з низькою температурою плавлення (олово, свинець). При нагріванні струмом перевантаження кулька плавиться і розчиняє в собі метал плавкої вставки, що призводить до її розплавлення в цьому місці. Металургійний ефект сприяє помітному зменшенню часу спрацьовування плавких вставок за невеликих величин струмів перевантаження. Приклад плавкого запобіжника із плавкою вставкою з металургійним ефектом приведено на рис. 4.2.

Другим способом зниження температури плавлення плавкої вставки є її виконання із пластини (мідної або цинкової) зі змінним перерізом. В частині пластини за зменшеним перерізом підвищується опір, збільшується щільність струму, виділяється більша кількість тепла. Плавка вставка плавиться саме в цих частинах. При нормальному режимі роботи тепло відводиться до широких частин пластини та розсіюється в навколишнє середовище. При КЗ плавка вставка швидко розплавляється по частинах зі зменшеним перерізом. При перевантаженні плавка вставка звичайно розплавляється в одній частині зі зменшеним перерізом. Цей факт необхідно враховувати при дослідженні пожеж від електроустановок. Приклад плавкого запобіжника із плавкою вставкою зі змінним перерізом приведено на рис. 4.1.

Третім способом зниження температури плавлення плавкої вставки є її виконання у вигляді декількох паралельних віток.

Плавкі вставки повинні відповідати типу плавкого запобіжника та бути *каліброваними* – мати на корпусі найменування виробника або його товарний знак, позначення плавкої вставки за каталогом виробника, номінальну напругу та величину номінального струму. Приклад каліброваної плавкої вставки для розбірного плавкого запобіжника приведено на рис. .4.

Застосування саморобних некаліброваних плавких вставок у плавких запобіжниках суворо забороняється.

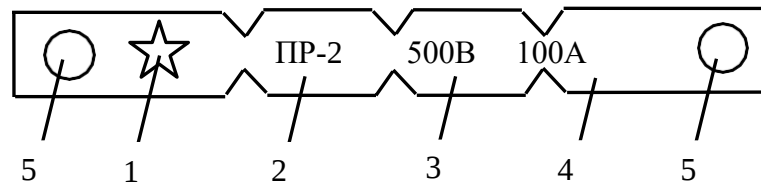


Рис. 4.4 – Калібрована плавка вставка

1 – товарний знак виробника; 2 – позначення плавкої вставки за каталогом виробника (для плавкого запобіжника ПР-2); 3 – номінальна напруга; 4 – номінальна сила струму; 5 – отвори для вмикання плавкої вставки

Основні електричні параметри плавкого запобіжника:

- номінальна напруга плавкого запобіжника – діюче значення напруги мережі, в яку дозволяється установка даного плавкого запобіжника (як правило, 230 В, 400 В, 500 В, 600 В);

- номінальний струм плавкого запобіжника – встановлене виробником діюче значення сили струму, який плавкий запобіжник спроможний проводити у тривалому режимі за визначеної температури навколишнього повітря. Дорівнює найбільшому з номінальних струмів плавких вставок, призначених для даного типу плавкого запобіжника;

- номінальний струм плавкої вставки – діюче значення сили струму, при протіканні якого плавка вставка не перегорить тривалий час (стандартні значення – 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 А);

- умовний струм плавлення плавкої вставки – сила струму, при протіканні якого плавка вставка розплавиться через встановлений інтервал часу;

- максимальний струм відключення – найбільша величина струму в мережі, за якої гарантується надійна робота плавкого запобіжника, тобто забезпечується гасіння дуги без яких-небудь ушкоджень плавкого запобіжника.

Плавкі запобіжники також відрізняються габаритом, який позначається арабською цифрою.

Для побудови сімейства захисних характеристик на горизонтальній осі відкладається не кратність перевантаження, а сила струму, за якої спрацьовує плавкий запобіжник; на вертикальній осі – інтервал часу, за який перегорить плавка вставка. Для кожної плавкої вставки є окрема крива. Сімейство захисних характеристик для різних плавких вставок розміщується на одному графіку. Приклад сімейства захисних характеристик для плавкого запобіжника серії ПН-2 приведено на рис. 10.6.

Захисна характеристика дозволяє визначити надійність захисту електричних мереж плавкими запобіжниками від струмів КЗ та перевантаження. Для цього необхідно на одному графіку побудувати захисну характеристику плавкого запобіжника і теплову характеристику електричної мережі або електроустановки.

Сучасні плавкі вставки за вимогами міжнародних стандартів ІЕС (International Electrotechnical Commission) класифікуються за наступними параметрами:

- діапазон відключення (позначається маленькою літерою англійського алфавіту): а – плавка вставка, яка спроможна відключати всі струми в діапазоні від $k \cdot I_{\text{ном.вст}}$ ($k > 1$) до максимального струму відключення; g – плавка вставка, яка спроможна відключати всі струми в діапазоні сил струмів, що призводять до її розплавлення. Плавкі вставки типу а застосовуються для захисту електричних мереж від КЗ;

- категорія застосування (позначається великою літерою англійського алфавіту): D – із затримкою часу; G – загального призначення; M – для захисту електричних двигунів; N – без затримки часу.

Приклад класифікації діапазону відключення та категорії застосування плавких вставок (або класифікаційна група плавкої вставки):

- gG – плавка вставка загального призначення, яка спроможна відключати всі струми в діапазоні сил струмів, що призводять до її розплавлення;

- gM – плавка вставка для захисту електричних кіл двигунів, яка спроможна відключати всі струми в діапазоні сил струмів, що призводять до її розплавлення;

- aM – плавка вставка для захисту електричних кіл двигунів, яка спроможна відключати всі струми в частині діапазону сил струмів, що призводять до її розплавлення.

Для сучасних плавких вставок також будується характеристика $I^2 \cdot t$

(«інтеграл Джоуля») – функція залежності $I^2 \cdot t$ від сили струму. Ця значення

характеристика дозволяє визначити спроможність плавкого запобіжника обмежувати інтеграл Джоуля, що є необхідним при застосуванні деяких типів ПЗВ, що не мають вбудованого захисту від КЗ.

Перевагами плавкого запобіжника є простота конструкції і відносна дешевина.

Недоліки плавкого запобіжника наступні:

- враховуючи, що плавкий запобіжник є однополюсним апаратом захисту, при перегорянні плавкої вставки можливі неповнофазні режими роботи трифазних електроустановок (ці режими є особливо небезпечними для трифазних двигунів);

- при перегорянні плавкої вставки для її заміни необхідна калібрована плавка вставка того ж номіналу та типу, що перегоріла. У практичній діяльності її часто замінюють саморобними некаліброваними плавкими вставками, що може призвести до виникнення пожежонебезпечного режиму роботи електричної мережі;

Марка плавкого запобіжника, як правило, обмежується зазначенням його типу та номера серії.

Приклади маркування плавких запобіжників:

ПР-2. Розшифровується наступним чином: П – плавкий запобіжник, Р – розбірний, 2 – серія.

ПН-2. Розшифровується наступним чином: П – плавкий запобіжник, Н

- з наповнювачем, 2 – серія.

НПН. Розшифровується наступним чином: Н – корпус нерозбірний, П – плавкий запобіжник, Н – з наповнювачем.

НПНИ-37. Розшифровується наступним чином: Н – корпус нерозбірний, П – плавкий запобіжник, Н – з наповнювачем, И – з індикатором, 37 – серія. Плавкі запобіжники встановлюються у спеціальну монтажну панель, змонтовану у відповідному розподільному пристрої. Заміну плавких запобіжників здійснюють за допомогою спеціальних кліщів або рукояток.

Автоматичний вимикач (автомат) – електромеханічний комутаційний апарат багаторазової дії, спроможний вмикати, проводити та вимикати струми при нормальному стані електричного кола, а також вмикати, проводити протягом заданого часу й автоматично вимикати струми у визначених ненормальних режимах роботи електричного кола. Технічні умови до автоматичних вимикачів регламентуються національним стандартом ДСТУ 3025.

Автоматичні вимикачі за номінальної напруги та номінальної сили струму до 100 А повинні витримувати не менше 1500 вмикань, за номінальної сили струму від 100 до 630 А – 1000 вмикань, вище 630 А – 500 вмикань.

Автоматичний вимикач складається з наступних основних частин: корпус, кришка, дугогасна камера, механізм керування, механізм вільного розчіплювання, розчіплювач (автоматичний вимикач може мати декілька розчіплювачів).

Корпус автоматичного вимикача, як правило, виготовляється з пластмаси. У корпусі монтуються всі частини автоматичного вимикача, і він закривається кришкою. Конструкція корпусів сучасних автоматичних вимикачів є модульною, що дозволяє виконувати їх монтаж на стандартну рейку (DIN-рейку спеціального профілю; DIN – позначення стандартів Німеччини) у розподільних пристроях.

Дугогасні камери складаються з керамічних перегородок і сталевих обміднених пластин, вставлених у ці камери головних контактів автомата. Електрична дуга під дією магнітного поля, збуджуваного струмом самої дуги, втягується в дугогасні камери, розривається на окремі частини, які там деіонізуються й інтенсивно гасяться.

Механізм керування виконується таким чином, що розімкнуте (відключене) положення вимикача відповідає відпущеному положенню кнопки, замкнене положення – натиснутому положенню кнопки. Розімкнуте (відключене) положення вимикача, що керується не натискними кнопками, позначається знаком «О», замкнене положення – знаком «І». Затискач автоматичного вимикача для підключення нейтрального провідника позначається літерою «N», затискач для підключення захисного провідника – символом « $\perp$ ».

Механізм вільного розчіплювання забезпечує повернення рухомих контактів головного кола в розімкнуте положення та залишення у ньому, коли операція автоматичного розмикання починається після початку операції замикання, навіть якщо команда на замикання зберігається. Наприклад, при ручному керуванні автоматичним вимикачем на вмикання електричного кола, в якому є КЗ, при замиканні головних контактів через головне коло буде протікати струм КЗ. Під його впливом максимальний розчіплювач струму звільнить утримувальний пристрій в механізмі вільного розчіплювання автоматичного вимикача, і його головні контакти будуть автоматично розмикатися, незважаючи на те, що здійснюється їх ручне замикання.

Розчіплювач – чутливий пристрій, що механічно пов'язаний з автоматичним вимикачем або вбудований в нього і звільняє утримувальний пристрій в механізмі автоматичного вимикача та викликає його автоматичне спрацювання.

Автоматичні вимикачі класифіковані:

- за категорією застосування: категорія А (застосовуються для відключення електричних кіл при КЗ за відсутності спеціальної селективності в часі відносно послідовно з'єднаних автоматичних вимикачів з боку навантаження) та категорія В (застосовуються для відключення електричних кіл при КЗ за наявності спеціальної селективності в часі відносно послідовно з'єднаних автоматичних вимикачів з боку навантаження. Автоматичні вимикачі категорії В повинні бути термічно та динамічно стійкими до максимальних значень короткочасно припустимого струму);

- за середовищем, в якому здійснюється відключення: повітряні,

вакуумні, газові;

- за конструктивним виконанням: відкритого виконання та в оболонці;
- за способом керування: з ручним приводом та з приводом від двигуна;
- за можливістю обслуговування: такі, що обслуговуються, та такі, що не обслуговуються;
- за способом монтажу: стаціонарні, що втикаються (зі штирьовими виводами для підключення в основу, до виводів якої підключаються провідники електричної мережі), висувні;
- за ступенем захисту оболонки за ГОСТ 14254: IP00, IP20, IP30, IP54. Більшість автоматичних вимикачів випускається зі ступенем захисту оболонки IP20;
- за родом струму головного кола (головне коло – всі струмовідні частини, що входять у коло, яке комутує автоматичний вимикач): постійного струму (позначається DC), змінного струму (позначається AC), постійного та змінного струму (позначається А або В);
- за кількістю полюсів (полюс – один струмовідний шлях головного кола автоматичного вимикача) головного кола: однополюсні, двополюсні (з одним або двома захищеними полюсами), триполюсні (з трьома захищеними полюсами) та чотириполюсні (з трьома або чотирма захищеними полюсами);
- за видами розчіплювачів: з максимальним розчіплювачем струму, з незалежним розчіплювачем, з мінімальним розчіплювачем напруги, з нульовим розчіплювачем напруги;
- за наявністю вільних контактів: з вільними контактами та без вільних контактів.

Основні електричні параметри автоматичного вимикача:

номінальна робоча напруга – діюче значення напруги, що встановлене виробником, за якого забезпечується працездатність автоматичного вимикача (звичайно, 120 В, 230 В, 240 В, 400 В);

– номінальна напруга ізоляції – діюче значення напруги, за яким визначається величина випробувальної напруги при випробуваннях автоматичного вимикача на електричну міцність ізоляції;

– номінальна імпульсна напруга, що витримується – діюче значення імпульсної напруги, за якого забезпечується працездатність автоматичного вимикача;

– номінальний робочий струм – діюче значення сили струму (встановлене виробником), який автоматичний вимикач спроможний проводити у тривалому режимі за визначеної температури навколишнього повітря (рекомендуються значення 1,00, 1,60, 2,50, 4,00, 6,30 А, а також десяткові кратні та часткові значення);

– номінальна частота – значення частоти електричного струму, на яку розрахований автоматичний вимикач.

Розглянемо види розчіплювачів, якими можуть комплектуватися автоматичні вимикачі.

Максимальний розчіплювач струму – розчіплювач, що приводить до спрацьовування автоматичного вимикача з витримкою часу або без неї, коли струм в розчіплювачі перевищує задане значення. Максимальні розчіплювачі струму розрізняють:

- за видом: розчіплювач струму КЗ (електромагнітний або напівпровідниковий розчіплювач), розчіплювач струму перевантаження (тепловий розчіплювач), розчіплювач для захисту від однофазних замикань на землю;

- за часом витримки: миттєвої дії; з витримкою часу, не залежною від струму; з витримкою часу, обернено залежною від струму.

Максимальний розчіплювач струму КЗ миттєвої дії повинен привести до спрацьовування автоматичного вимикача при виникненні надструму визначеної величини з відхиленням не більше $\pm 20\%$.

Автоматичні вимикачі з максимальними розчіплювачами струму з витримкою часу не повинні спрацьовувати, а розчіплювачі повинні повертатися у вихідне положення, якщо надструм падає до значення номінального робочого струму після закінчення часу, що становить до 70 % мінімального припустимого часу спрацьовування.

Деякі автоматичні вимикачі мають спеціальні максимальні розчіплювачі струму, в яких можливе регулювання струму спрацьовування – струму уставки. *Струмом уставки* називають значення величини струму спрацьовування, на яке можна здійснювати регулювання розчіплювача. Наприклад, для автоматичного вимикача з максимальним розчіплювачем струму з витримкою часу, обернено залежною від струму (тепловим розчіплювачем), діапазон регулювання струму уставки складає $0,6 \div 1,0$ від номінального струму розчіплювача.

Незалежний розчіплювач – розчіплювач, що збуджується окремим джерелом напруги. Незалежний розчіплювач призначений для дистанційного відключення автоматичного вимикача. Вмикання автоматичного вимикача після його дистанційного відключення здійснюється або вручну, або приводом від двигуна.

Мінімальний та нульовий розчіплювач напруги – розчіплювачі, призначені для відключення автоматичного вимикача за неприпустимого для електрообладнання зниження напруги.

Мінімальний розчіплювач напруги за номінальних умов роботи автоматичного вимикача:

- повинен забезпечувати відключення включеного автоматичного вимикача за напруги в межах $70 \div 35\%$ від номінальної та перешкоджати включенню автоматичного вимикача за напруги 35% й нижче від номінальної;

- не повинен приводити до відключення включеного автоматичного вимикача за напруги вище 70% від номінальної та перешкоджати включенню автоматичного вимикача за напруги 85% й

вище відномінальної.

Нульовий розчіплювач напруги за номінальних умов роботи автоматичного вимикача:

- повинен забезпечувати відключення включеного автоматичного вимикача за напруги в межах $35 \div 10$ % від номінальної та перешкоджати включенню автоматичного вимикача за напруги 10 % й нижче від номінальної;

- не повинен приводити до відключення включеного автоматичного вимикача за напруги вище 55 % від номінальної та перешкоджати включенню автоматичного вимикача за напруги 85 % й вище відномінальної.

Розглянемо принцип дії розчіплювачів автоматичних вимикачів, що здійснюють захист від КЗ та перевантаження.

Електромагнітний розчіплювач автоматичного вимикача забезпечує захист електромереж від небезпечних струмів КЗ. Електромагнітний розчіплювач є максимальним розчіплювачем струму й може бути миттєвої дії (без витримки часу) та з витримкою часу.

Конструкція електромагнітного розчіплювача миттєвої дії пояснюється на рис. 4.7.

Спрацьовування електромагнітного розчіплювача залежить від зусилля, що створюється струмом головного кола автоматичного вимикача в котушці електромагніту. У включеному стані розчіплювач утримується засувкою 4, зчепленою з важелем 3. Пружина 7 забезпечує надійність цього зчеплення. При КЗ в колі яр 8 притягається до осердя котушки 9, засувка 4 повертається на осі 5 і звільняє важіль 3. Під дією пружини 2 рухливий контакт 1 розмикає коло, положення засувки 4 при цьому фіксується упором

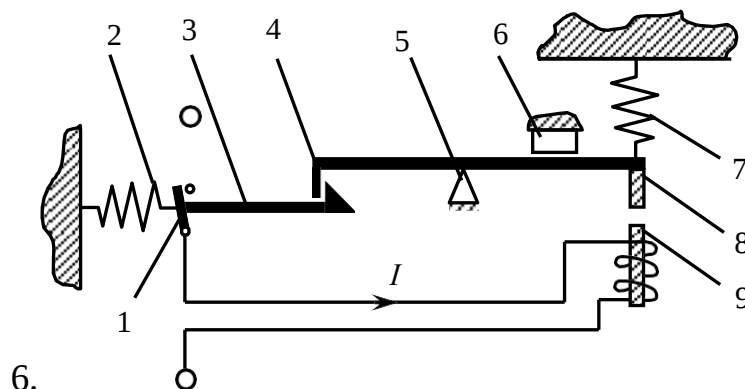


Рис. 4.7 – Конструкція електромагнітного розчіплювача миттєвої дії

1 – рухливий контакт; 2, 7 – пружина; 3 – важіль; 4 – засувка; 5 – вісь; 6 – упор; 8 – яр; 9 – осердя котушки

Час спрацьовування автоматичного вимикача при протіканні струму, величина якого дорівнює струму спрацьовування електромагнітного

розчіплювача, не перевищує 0,1 с. При цьому струм КЗ не встигає досягти очікуваного значення.

В електромагнітному розчіплювачі з витримкою часу для витримки часу застосовується спеціальний годинниковий механізм, оливне гальмо, електромагнітний сповільнювач тощо. У такому розчіплювачі осердя електромагніту повернеться у вихідне положення, якщо кидок струму закінчиться раніше, ніж механізм витримки часу дозволить звільнити засувку.

Тепловий розчіплювач автоматичного вимикача забезпечує захист електромереж від небезпечних наслідків перевантаження. Тепловий розчіплювач є максимальним розчіплювачем струму з витримкою часу, обернено залежною від струму.

Конструкція теплового розчіплювача з непрямым нагрівом приведена на рис. 4.8.

Спрацьовування теплового розчіплювача залежить від теплової дії електричного струму. При перевантаженні електричного кола біметалева пластина 1 нагрівається нагрівальним елементом 2, вигинається нагору (у бік металу з меншим коефіцієнтом лінійного поширення) і звільняє засувку 3, яка під дією пружини 4 повертається навколо осі 5 у напрямку стрілки годинника, розмикає контакти 7 у колі керування за допомогою тяги 6.

Тепловий розчіплювач відразу після спрацьовування повторно включати не можна. Слід зачекати декілька хвилин, поки біметалева пластина не остигне, та після цього повернути важіль спочатку униз, а потім угору. Цей факт необхідно враховувати при дослідженні пожеж від електроустановок при висуненні версії про причетність електроустановки до виникнення пожежі.

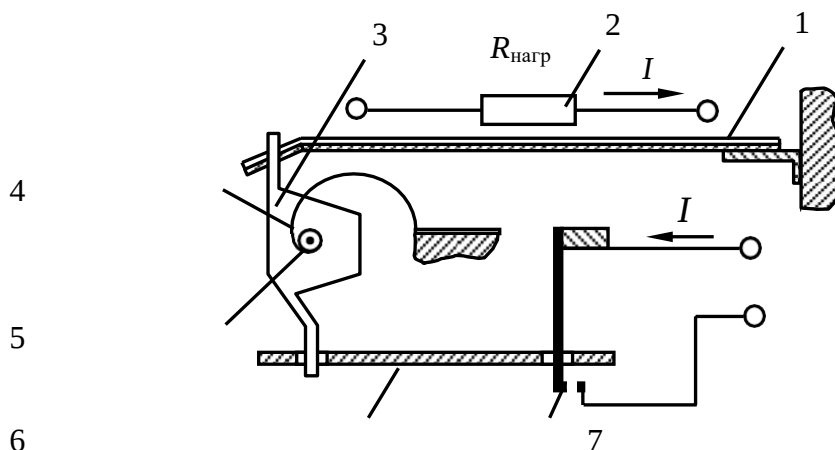


Рис. 4.8 – Конструкція теплового розчіплювача з непрямым нагрівом

1 – біметалева пластина; 2 – нагрівальний елемент; 3 – засувка; 4 – пружина; 5 – вісь; 6 – тяга; 7 – контакти

Комбінований розчіплювач автоматичного вимикача забезпечує захист електроустановок від небезпечних наслідків КЗ і перевантаження одночасно. Автоматичний вимикач комплектується двома розчіплювачами: електромагнітним та тепловим. Відключення аварійної ділянки електричної мережі автоматичним вимикачем відбувається при спрацьовуванні будь-якого з розчіплювачів. При КЗ спрацьовує електромагнітний розчіплювач (максимальний розчіплювач струму миттєвої дії). При перевантаженні спрацьовує тепловий розчіплювач (максимальний розчіплювач струму з витримкою часу, обернено залежною від струму).

Напівпровідниковий розчіплювач автоматичного вимикача відрізняється підвищеною швидкістю дії та високою надійністю. Час спрацьовування напівпровідникового розчіплювача менше 0,01 с. Напівпровідниковий розчіплювач є електронним приладом. На рис. 4.9 приведено блок-схему напівпровідникового розчіплювача.

У кожній фазі електричної мережі встановлено трансформатор струму

1. З кожного трансформатора 1 сигнали, що є пропорційними струму в мережі, поступають на блок виділення найбільшого сигналу 2, звідкіля сигнал надходить на блок КЗ 3 та блок перевантаження 4.

При виникненні КЗ різко збільшується струм і спрацьовує реле КЗ 3.1, з якого сигнал через елемент часової затримки поступає на схему формування сигналу 5.

При виникненні перевантаження спрацьовує реле перевантаження 4.1. Сигнал з реле перевантаження через схему розподілення сигналів 4.2 надходить на вхід накопичувального лічильника 4.3. Імпульси на накопичувальний лічильник поступають з виходу генератора сигналів 4.4. Сигнал переповнення накопичувального лічильника 4.3 через схему розподілення сигналів поступає на схему формування сигналу 5.

Сигнал зі схеми 5 призводить до спрацьовування розчіплювача.

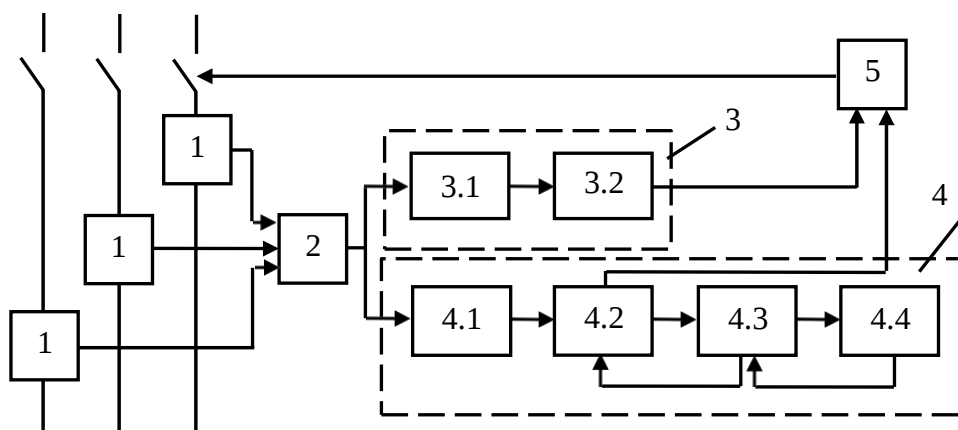


Рис. 4.9 – Блок-схема напівпровідникового розчіплювача

1 – вимірювальний елемент; 2 – блок виділення найбільшого сигналу; 3 – блок КЗ; 3.1 – реле КЗ; 3.2 – елемент часової затримки; 4 – блок перевантаження; 4.1 – реле перевантаження; 4.2 – схема розподілення

сигналів; 4.3 – накопичувальний лічильник; 4.4 – генератор сигналів; 5 – схема формування сигналу

Основні електричні параметри розчіплювачів автоматичних вимикачів:

– номінальний струм розчіплювача – діюче значення найбільшого струму, при протіканні якого через розчіплювач останній не спрацьовує тривалий час; для автоматичних вимикачів з уставками вказується номінальний струм уставки – діюче значення струму, на який можливе регулювання розчіплювача і при якому він не спрацьовує;

– струм спрацьовування (уставки) розчіплювача – діюче значення найменшого струму, за якого спрацьовує розчіплювач автоматичного вимикача.

Сучасні автоматичні вимикачі, що випускаються відповідно до вимог стандартів ІЕС, мають стандартні діапазони струмів спрацьовування (уставок) максимальних розчіплювачів струму миттєвої дії, які позначаються англійськими літерами:

– тип А – не передбачений стандартами ІЕС, але деякі виробники автоматичних вимикачів, наприклад, фірма Siemens, виготовляють автоматичні вимикачі з максимальним розчіплювачем струму миттєвої дії типу А. Автоматичний вимикач з таким розчіплювачем забезпечує захист від надструмів електричних кіл із напівпровідниковими приладами, вимірювальних кіл, а також електропроводок великої довжини за необхідності їх відключення за час, не більший за 0,2 с;

– тип В – автоматичний вимикач з максимальним розчіплювачем струму миттєвої дії; забезпечує захист від надструмів електричних кіл в електроустановках житлових будинків та будівель громадського призначення; тип С – автоматичний вимикач з максимальним розчіплювачем струму миттєвої дії; забезпечує захист від надструмів електричних кіл, в яких можливі великі пускові струми, наприклад, при вмиканні електродвигунів;

– тип D – автоматичний вимикач з максимальним розчіплювачем струму миттєвої дії забезпечує захист від надструмів електричних кіл, в яких можливі великі імпульсні струми, наприклад при вмиканні трансформаторів.

Автоматичні вимикачі поділяються на серії, які мають літерно-цифрове позначення, наприклад, є серії А3700, АЕ1000, АЕ2000, А3100, АП50, АБ25, ВА47. У структурі умовного позначення автоматичного вимикача міститься інформація про кількість полюсів, ступінь захисту оболонки від впливу навколишнього середовища, види розчіплювачів, номінальний струм вимикача, можливість регулювання номінального струму розчіплювача.

Сучасні автоматичні вимикачі маркуються із зазначенням наступних параметрів: товарний знак виробника; типове позначення та номер серії; номінальний струм автоматичного вимикача в [А]; кількість полюсів; тип розчіплювача; номінальний струм розчіплювача в [А]; комутаційна схема

(якщо правильний спосіб підключення не є очевидним); контрольна температура навколишнього середовища (якщо вона не дорівнює $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$); ступінь захисту оболонки (якщо вона відрізняється від IP20). Маркування, що вказує тип розчіплювача та його номінальний струм, повинне бути чітко видне після установки автоматичного вимикача.

Приклад маркування сучасного автоматичного вимикача: ВА47-100/2/С80. Розшифровується наступним чином: ВА (вимикач автоматичний) – типове позначення, 47 – номер серії, 100 – номінальний струм автоматичного вимикача 100 А, 2 – двополосний, С – тип електромагнітного розчіплювача, 80 – номінальний струм розчіплювача 80 А.

Автоматичні вимикачі підлягають періодичній перевірці на працездатність. Завимогами "Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів" така перевірка повинна виконуватися не рідше одного разу на 12 років.

Захисним автоматичним вимкненням живлення в електроустановках називається автоматичне розмикання одного або кількох лінійних (фазних) провідників і, у разі потреби, нейтрального провідника, яке виконується з метою електробезпеки (визначення приведено в п. 1.7.42 ПУЕ).

Захисне автоматичне вимкнення живлення забезпечується за допомогою ПЗВ. Технічні вимоги до ПЗВ регламентуються стандартом ГОСТ 12.4.155.

ПЗВ не тільки забезпечує електробезпеку, але й запобігає пожежам. ПЗВ здійснює вимкнення споживачів електричної енергії при виникненні струмів витоку, величина яких є значно меншою за струму КЗ. Тому ПЗВ запобігає нагріву провідників – тобто забезпечує пожежну безпеку.

ПЗВ також здійснює захист від глухих замикань на землю, захист від неповних замкнень на землю, автоматичний контроль ізоляції, автоматичний контроль кола заземлення, самоконтроль.

За видом вхідного сигналу виділяють ПЗВ, що реагують на: струм нульової послідовності; напругу нульової послідовності; суму, різницю, фазові співвідношення між струмом і напругою нульової послідовності (або виділених гармонік напруги та струму), а також між струмом або напругою нульової послідовності й фазними напругами мережі; струм витоку; напругу корпусу відносно землі; оперативний струм (постійний, змінний непромислової частоти), що накладається на робочий струм електроустановки; два й більше вказаних фактори (багатофакторні ПЗВ). Конкретне схемо-технічне рішення ПЗВ є ноу-хау фірми-виробника. Найкраще зарекомендували себе пристрої захисного відключення, керовані диференційним струмом.

Диференційний струм – діюче значення векторної суми сил струмів, що протікають у головному колі ПЗВ.

Пристрій захисного автоматичного вимкнення живлення, керований диференційним струмом (ПЗВД) – комутаційний апарат, який за досягнення

(перевищення) диференційним струмом заданого значення за певних умов експлуатації повинен викликати відключення мережі. ПЗВД є найбільш поширеними в усьому світі, у першу чергу – у країнах-членах ІЕС.

Робота ПЗВД базується на застосуванні електромагнітного векторного (за амплітудою та фазою) суматорів струмів – диференційного трансформатора струму.

Основні електричні параметри ПЗВД:

- номінальна напруга – діюче значення напруги (встановлене виробником), за якого забезпечується працездатність ПЗВД;
- номінальний струм – діюче значення сили струму (встановлене виробником), який ПЗВД спроможний проводити у тривалому режимі за визначеної температури навколишнього повітря (стандартні значення 16, 25, 32, 40, 50, 63, 800, 100 А);
- номінальний диференційний струм відключення – діюче значення диференційного струму, за якого спрацьовує ПЗВД (стандартні значення 10, 30, 100, 300, 500 мА);
- номінальний умовний диференційний струм КЗ – діюче значення сили струму КЗ, яке може витримати ПЗВД (ПЗВД не спрацьовує при протіканні через нього струму КЗ);
- час відключення за номінального диференційного струму відключення;
- робоча характеристика. Виділяють робочі характеристики типу А та типу АС. ПЗВД із робочою характеристикою типу А спрацьовує як від синусоїдального, так і від пульсуючого постійного диференційного струму, що виникають або раптово, або повільно (пульсуючі постійні струми виникають, наприклад, при роботі пральних машин із регулятором швидкості, телевізорів, комп'ютерів тощо). ПЗВД із робочою характеристикою типу АС спрацьовує тільки від синусоїдального диференційного струму, що виникає або раптово, або повільно.

ПЗВД виготовляють двополюсними (для однофазних мереж) та чотириполюсними (для трифазних мереж).

Для людини смертельним вважається струм величиною 100 мА, але час спрацьовування ПЗВД не перевищує часток секунди (наприклад, для фазної напруги 220 В – 0,4 с). ПЗВД зі струмом спрацьовування 10 мА застосовується за підвищеної електробезпеки, наприклад, в електричних мережах ванних та душових кімнат. ПЗВД зі струмом спрацьовування 30 мА застосовується у звичайних випадках, наприклад, у групових лініях живлення штепсельних розеток для пересувних електричних приладів. ПЗВД зі струмом спрацьовування 300 мА застосовується для захисту групи споживачів, наприклад, для підвищення рівня захисту від загоряння при замиканнях на заземленні частини, коли величина струму замикання є недостатньою для спрацьовування автоматичного вимикача або плавкого запобіжника (при цьому також забезпечується виконання вимоги селективності для ПЗВД).

ПЗВД не слід застосовувати в електричних мережах із системою TN-C. Не допускається установка ПЗВД у колах, раптове вимикання яких може призвести з технологічних причин до виникнення ситуацій, небезпечних для користувача і обслуговуючого персоналу, відключення пожежної, охоронної сигналізації тощо.

Маркування ПЗВД виконується із зазначенням наступних параметрів: товарний знак виробника; типове позначення та номер серії; кількість полюсів; номінальний струм в [А]; номінальний диференційний струм відключення в [мА]; робоча характеристика; комутаційна схема (якщо правильний спосіб підключення не є очевидним); контрольна температура навколишнього середовища (якщо вона не дорівнює +30 °С); ступінь захисту оболонки (якщо вона відрізняється від IP20). Маркування повинно бути чітковидно після установки ПЗВД.

Приклад маркування ПЗВД: ВД1-63/2/16/10. Розшифровується наступним чином: ВД (вимикач, керований диференційним струмом) – типове позначення, 1-63 – серійний номер, 2 – двополюсний, 16 – номінальний струм 16 А, 10 – номінальний диференційний струм відключення 10 мА.

Конструкція корпусу сучасних ПЗВД є модульною, що дозволяє виконувати його монтаж на стандартну DIN-рейку у розподільних пристроях. За вимогами "Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів" перевірка працездатності ПЗВД повинна виконуватися не рідше одного разу на квартал шляхом натискання на кнопку "Тест". Результати перевірки фіксуються в оперативному журналі.

Диференційний автоматичний вимикач (диференційний автомат) поєднує в одному апараті автоматичний вимикач та ПЗВД, тобто здійснює захист як від КЗ та перевантаження, так і від струмів витоку. Характеристики диференційного автомата поєднують у собі характеристики відповідно автоматичного вимикача та ПЗВД.

Пристрій захисту від імпульсної перенапруги (ПЗІП) – пристрій, призначений для обмеження перехідних перенапруг і для відводу імпульсного струму. Випускаються ПЗІП одноразової та багаторазової дії.

Чутливим елементом ПЗІП може бути або напівпровідниковий резистор (варистор), або іскровий розрядник, або їх комбінація. При виникненні імпульсної перенапруги варистор змінює свій опір і шунтує електричне коло, обмежуючи величину амплітуди перенапруги. В іскровому розряднику відбувається пробій між двома електродами, розташованими на заданій відстані, яка визначає напругу пробією ПЗІП.

Для забезпечення ефективного захисту від імпульсних перенапруг передбачено чотири ступені захисту від них.

Перший ступінь захисту від імпульсної перенапруги призначений для обмеження рівня пульсацій напруги в електричній мережі до рівня, що є максимально допустимим для наступних ступенів захисту. Для захисту застосовується ПЗІП класу А, який встановлюється, наприклад, на опорі повітряної лінії електропередачі. ПЗІП класу А обмежує максимальний

рівень напруги до значення 1,5 кВ та витримує при цьому струм величиною до 70 кА.

Другий ступінь захисту від імпульсної перенапруги призначений для обмеження рівня пульсацій напруги в електричній мережі до рівня, що є достатнім для більшості електротехнічного обладнання, наприклад, побутових електричних приладів. Для захисту застосовується ПЗІП класу В, який встановлюється у ГРЩ після ПЗІП класу А. У випадку живлення об'єкта по підземній кабельній лінії електропередачі ПЗІП класу В може бути першим ступенем захисту від імпульсних перенапруг. ПЗІП класу В обмежує максимальний рівень напруги до значення 1,5 кВ та витримує при цьому струми величиною від 35 кА до 70 кА.

Третій ступінь захисту від імпульсної перенапруги призначений для повного згладжування пульсацій напруги в електричній мережі. Для захисту застосовується ПЗІП класу С, який встановлюється у вторинні РЩ після ПЗІП класу В.

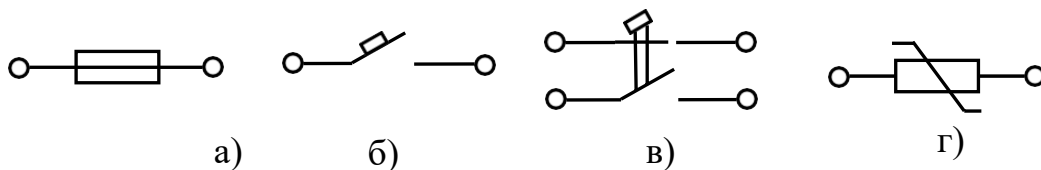
Четвертий ступінь захисту від імпульсної перенапруги застосовується тільки у випадку, коли електричне обладнання, що вмикається в електричну мережу, потребує стабілізованої напруги живлення. Для захисту застосовується ПЗІП класу D, який встановлюється безпосередньо перед електротехнічним обладнанням, що потребує стабілізованої напруги, або вбудовується в нього. ПЗІП класу D гарантує напругу в мережі не більше 275 В та забезпечує при цьому струми розряду величиною до 3 кА.

Приклад маркування ПЗІП: ОПС1-С. Розшифровується наступним чином: ОПС (обмежувач перенапруги) – типове позначення, 1 – однополюсний, С – клас захисту.

Конструкція корпусу ПЗІП є модульною, що дозволяє виконувати його монтаж на стандартну DIN-рейку у розподільних пристроях.

ПЗІП вмикається в електричну мережу таким чином, щоб була можливість вирівнювання потенціалів між провідниками. У випадку виходу зладу ПЗІП між цими провідниками може статися КЗ і, як наслідок, виникнути пожежа. Таким чином, не можна встановлювати ПЗІП в електричній мережі за відсутності захисту від струмів КЗ.

На рис. 4.12 приведено умовні позначення розглянутих апаратів захисту на електричних схемах. Зовнішній вигляд деяких сучасних апаратів захисту наведено на рис. 4.13.



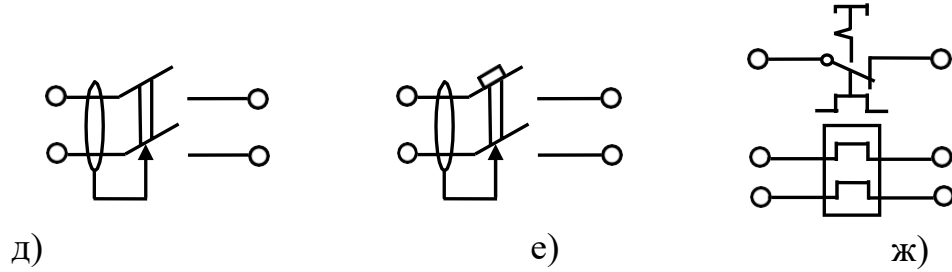


Рис. 1

4.12 – Умовні позначення апаратів захисту на електричних схемах: а – плавкий запобіжник, б – однополюсний автоматичний вимикач, в – двополюсний автоматичний вимикач, г – однополюсний ПЗП, д – двополюсний ПЗВД, е – двополюсний диференційний автоматичний вимикач, ж – двополюсне теплове реле із засувкою

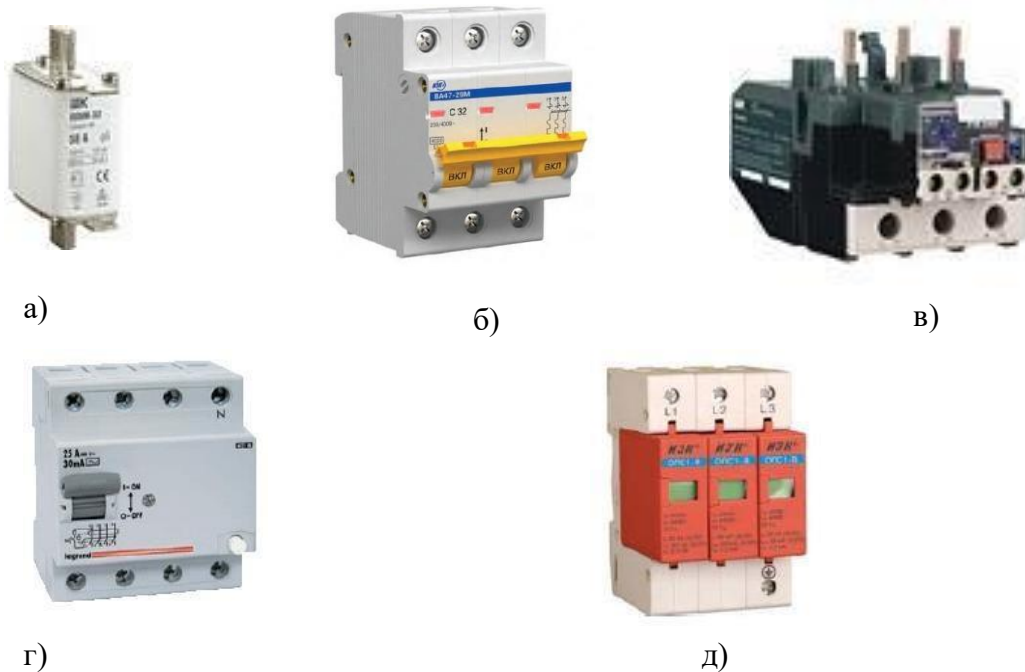


Рис. 4.13 – Зовнішній вигляд сучасних апаратів захисту:

а – плавкий запобіжник ППНИ, б – триполюсний автоматичний вимикач серії ВА47, в – теплове реле серії РТИ, г – чотириполюсний ПЗВД фірми Legrand, д – триполюсний ПЗП ОПС 1

Правила поводження з електричними приладами при блекаутах

Вимкніть з розеток електроприлади, щоб уникнути їх пошкодження через перепади напруги. В момент включення електроенергії можливо виникнення перенапруги у електричній мережі, що в свою чергу може призвести до короткого замикання.

Не використовуйте газові плити для обігріву оскільки існує небезпека отруїтись чадним газом. Також не встановлюйте газові плити поблизу горючих матеріалів. Якщо в домі є ліфт, переконайтеся, що у ньому ніхто не застряг. Стежте за офіційними повідомленнями влади або ДСНС. Якщо мобільна мережа не працює, знайдіть радіо на батарейках.

Якщо ви використовуєте генератор, то дотримуйтесь правил його використання. Використовуйте генератор лише на відкритому повітрі. Місце розташування від будівлі має сягати не менше 6 метрів, пам'ятайте, вихлопні гази з електроприлада небезпечні для життя. Захистіть генератор від вологи. У вас мають бути гумові рукавиці та чоботи або будь-яке інше взуття із гумовою підошвою. Перш, ніж включати генератор, перевірте стан електропроводки. Не змішуйте різні види мастила, теж стосується і пального. Заправляти генератор можна лише вимкненим (якщо ви його вже вмикали і потрібно дозаправити - дочекайтеся, поки всі запчастини охолонуть). Не залишайте пальне біля генератора, адже воно може спалахнути. Не змінюйте самостійно конструкцію електроприлада.

Рекомендовано завжди під рукою мати вогнегасник порошкового або вуглекислотного типу. Під час гасіння займання вогнегасника відстань від насадки вогнегасника до електроустановки, яка горить – має бути не менше 1 метра. Встановіть його поза межами приміщення і подалі від вікон.

Заздалегідь на випадок блекауту майте вдома:

- радіоприймач та ліхтарики на батарейках
- запас сірників, свічок і сухого спирту
- заряджений павербанк
- тижневий запас питної води та консервів або сублімованої їжі
- аптечку, включаючи особисті ліки мінімум на тиждень.

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІД ОБСТРІЛІВ ТА УДАРІВ БПЛА

Захист енергетичної інфраструктури України від обстрілів та ударів безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є одним із найважливіших завдань у контексті воєнної агресії, що триває. Російські атаки на критично важливі об'єкти енергосистеми мають на меті дестабілізацію роботи електропостачання, що загрожує життю мільйонів громадян та функціонуванню держави загалом. Для протидії цим загрозам Україна застосовує комплексний підхід, який включає як технічні, так і організаційні заходи.

Протиповітряна оборона (ППО)

Найважливішим щитом для захисту енергетичних об'єктів є системи протиповітряної оборони. Україна активно інвестує у посилення ППО, що дозволяє виявляти та знищувати ворожі ракети, дрони та інші засоби повітряного нападу ще на підльоті до критичних об'єктів¹. Військові постійно змінюють розташування та маршрути систем ППО, щоб уникати їх ураження ворогом, що підвищує ефективність захисту. Окрім імпорتنих систем, Україна розробляє власні інноваційні рішення, зокрема дрони-перехоплювачі, які можуть нейтралізувати ворожі безпілотики.

Інженерний захист та децентралізація

Для зменшення ризиків пошкодження енергетичної інфраструктури застосовують інженерні заходи першого та другого рівня захисту. Це включає будівництво захисних споруд, заглиблення кабельних ліній, бронювання обладнання та створення резервних потужностей. Важливим напрямом є децентралізація енергетики — розподіл генерації на численні менші об'єкти, що знижує залежність від окремих великих вузлів і підвищує стійкість системи до масованих атак.

Розробка та застосування нових технологій

Україна активно працює над створенням нових технологічних засобів захисту. Окрім дронів-перехоплювачів, це системи радіоелектронної боротьби (РЕБ), які пригнічують сигнали управління ворожих БПЛА, змушуючи їх втрачати керування або повертатися на базу¹⁶. Встановлення високоточних радарів і оптичних систем раннього виявлення дозволяє оперативно реагувати на загрозу та активувати заходи протидії.

Організаційні заходи та оперативне реагування.

Важливою складовою є підвищення готовності аварійних та ремонтних служб, що забезпечують швидке відновлення пошкоджених ділянок енергосистеми. Формування флоту власних БПЛА та ракет для нанесення дзеркальних ударів по інфраструктурі ворога дозволяє не лише захищатися, а й ефективно відповідати на масовані атаки. Крім того, обмеження доступу до критичних об'єктів, маскуваність інфраструктури та постійний моніторинг стану мереж підвищують загальний рівень безпеки.

Міжнародна підтримка та законодавчі ініціативи.

Україна отримує значну допомогу від міжнародних партнерів, що дозволяє модернізувати енергетичний сектор та впроваджувати європейські стандарти безпеки. Водночас триває адаптація законодавства та зміна моделі функціонування ринків електроенергії і газу, що сприяє покращенню інвестиційного клімату та підвищенню стійкості енергосистеми.

Таким чином, захист енергетичної інфраструктури України від обстрілів і ударів БПЛА базується на поєднанні сучасних систем ППО, інженерних рішень, інноваційних технологій, організаційних заходів та міжнародної підтримки. Цей комплексний підхід дозволяє зменшити вплив ворожих атак, зберегти стабільність енергопостачання і забезпечити національну безпеку.

ЛЕКЦІЯ №8. ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ

Електричне освітлення є одним із найпоширеніших джерел пожежної небезпеки, особливо в умовах воєнного стану, який зараз триває на території України. Основні фактори, що роблять електричне освітлення потенційно небезпечним, пов'язані з особливостями його роботи та станом електромереж у складних умовах.

Причини пожежної небезпеки електричного освітлення:

Нагрівання світильників і ламп. Лампи розжарювання, особливо старого типу, можуть мати температуру колби до 250–300 °С, що при контакті з горючими матеріалами (папір, тканина, пил) може спричинити займання. В умовах воєнних дій, коли будівлі можуть бути пошкоджені, а порядок експлуатації порушений, ризик підвищується.

Перевантаження електромережі. Воєнний стан часто призводить до нестабільності електропостачання, частих перепадів напруги, що викликає перегрів проводів, світильників і електрообладнання. Перевантаження мережі є однією з головних причин пожеж, особливо у період осінньо-зимового опалювального сезону, коли електроспоживання зростає.

Пошкодження електропроводки. Внаслідок обстрілів, вибухів та інших бойових дій електричні кабелі, розетки, світильники можуть бути механічно пошкоджені, що призводить до коротких замикань, іскріння та займання. Такі пожежі особливо небезпечні, оскільки ускладнюють роботу пожежних служб через обмежений доступ до осередків займання.

Несправності електрообладнання. Старі або несертифіковані світильники, пошкоджені розетки, неправильно встановлені чи відремонтовані електроприлади підвищують ризик виникнення пожежі. У воєнний час через дефіцит ресурсів та поспіх часто порушуються норми експлуатації та ремонту електрообладнання.

Відсутність або порушення протипожежних заходів. У звичайних умовах електричні мережі контролюються та обслуговуються регулярно, проте в зоні бойових дій це часто неможливо, що призводить до накопичення технічних несправностей і підвищує ймовірність займання.

Особливості пожежної небезпеки електричного освітлення в умовах воєнного стану в Україні:

Пошкодження інженерних комунікацій і електромереж через обстріли збільшує кількість коротких замикань і аварійних ситуацій, що можуть спричинити пожежі.

Пожежі, викликані електричними несправностями, ускладнюють роботу рятувальних служб, які вже перевантажені через пожежі, спричинені бойовими діями, що підвищує загальний ризик масштабних руйнувань і загибелі людей.

У закладах освіти, лікарнях та інших соціально важливих об'єктах, де одночасно перебуває багато людей, електричне освітлення має бути особливо надійним і безпечним, адже пожежа може мати катастрофічні наслідки. В

умовах війни дотримання норм пожежної безпеки щодо електрообладнання набуває критичного значення.

Використання сучасних світлодіодних світильників знижує ризик пожежі через менше нагрівання, але не усуває загрозу, пов'язану з пошкодженнями електропроводки та аварійними режимами роботи.

Отже, у воєнний час в Україні електричне освітлення стає одним із ключових факторів пожежної небезпеки через підвищену ймовірність аварійних ситуацій, пошкоджень електромереж і порушення норм експлуатації. Це вимагає особливої уваги до стану електрообладнання, регулярного контролю і дотримання правил пожежної безпеки, щоб мінімізувати ризики та захистити життя людей і майно.

5.1. Освітлювальні електроустановки. Вимоги пожежної безпеки

У житті людини освітлення має велике значення. З одного боку, неправильно обране освітлення погіршує зір людини, викликає загальне стомлення і є причиною травматизму. З іншого боку, помилки, допущені при улаштуванні освітлення, наприклад, вибухо- чи пожежонебезпечних зон (неправильний вибір світильників, кабельних виробів тощо), можуть призвести до вибуху або пожежі.

Серед всіх електротехнічних виробів світильники за сумарним числом пожеж є причиною близько 10 % випадків від загальної кількості пожеж від порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок. Більшість пожеж від електричних світильників виникає внаслідок недотримання правил пожежної безпеки при їх експлуатації.

Види освітлення. За походженням джерела світла освітлення буває природне та штучне.

Штучне освітлення призначене для забезпечення можливості виконання людьми різноманітних дій у приміщеннях і на місцевості, де природне освітлення є недостатнім або відсутнє.

Освітленість – щільність світлового потоку на поверхні, що освітлюється. Норми освітленості регламентовані санітарними нормами. Роботи в санітарних нормах освітленості розділені на 8 розрядів (позначаються римськими цифрами): від найвищої точності (I розряд) до таких, що вимагають загального спостереження (VIII розряд). Найвища освітленість становить 5000 лк ([лк] – одиниця виміру освітленості, називається "люкс") при комбінованому освітленні для робіт найвищої точності для I розряду зорової роботи. Найменша освітленість становить 30 лк при загальному освітленні у приміщеннях для періодичного перебування людей для VIII розряду зорової роботи.

Штучне освітлення за призначенням підрозділяється на робоче, аварійне, охоронне та чергове.

Робоче освітлення – освітлення, яке забезпечує необхідні умови праці при нормальному режимі роботи освітлювальної установки у приміщеннях і в місцях виконання робіт на відкритих просторах.



Світильники евакуаційного освітлення повинні установлюватись на лініях головних проходів: у вестибюлях, ліфтових холах і на площадках перед ліфтами, а також у коридорах завдовжки понад 10 м, у сходових клітках.

Лінії освітлення незадимлюваних сходових кліток необхідно приєднати до мережі евакуаційного освітлення. При цьому рівень освітленості забезпечується згідно з нормами робочого освітлення, мережа якого в цьому випадку не передбачається.

Світлові покажчики "Вихід" (літери білого кольору, фон – зелений) необхідно встановлювати:

а) біля виходів з приміщень обідніх і актових залів, аудиторій, конференц-залів та інших приміщень, в яких можуть перебувати одночасно понад 100 осіб;

б) біля виходів з коридорів, до яких примикають приміщення із загальною чисельністю постійного перебування в них понад 50 осіб;

в) біля виходів з естрад, конференц-залів і актових залів;

г) уздовж коридорів довжиною понад 25 м у гуртожитках коридорного типу місткістю понад 50 осіб на поверсі. При цьому світлові покажчики необхідно установлювати на відстані не більше 25 м один від одного, а також у місцях поворотів коридорів;

д) біля виходів для покупців із торговельних залів загальною площею 180 м² і більше у всіх магазинах та із торговельних залів загальною площею понад 110 м² у магазинах самообслуговування.

Покажчики виходів можуть бути:

а) світловими, із вбудованими в них джерелами світла, що приєднуються до мережі аварійного освітлення;

б) світловими, із вбудованими в них джерелами світла й автономними джерелами живлення;

в) несвітловими (без джерел світла) за умови, що позначення виходу (надпис, знак тощо) освітлюється світильниками аварійного освітлення.

Світлові покажчики "Вихід" необхідно установлювати на висоті не нижче, ніж 2 м від підлоги.

Для *чергового освітлення* вестибюлів, коридорів, конференц-залів, актових залів, торгових залів необхідно використовувати світильники

евакуаційного освітлення або світильники робочого освітлення (певну кількість) з живленням їх від самостійної групової лінії.

Для чергового (нічного) освітлення палат лікувально-профілактичних закладів необхідно застосовувати спеціальні світильники, що встановлюються в нішах біля входів на висоті 0,3 м від підлоги і приєднуються до мережі евакуаційного освітлення.

У палатах психіатричних і дитячих відділень, спальних приміщеннях та палатах-ізоляторах дитячих дошкільних установ і шкіл-інтернатів указані світильники необхідно встановлювати на висоті не менше, ніж 2,2 м від підлоги (над прорізом дверей). У приміщеннях для дітей допускається встановлення світильників чергового освітлення на висоті 0,3 м від підлоги. При цьому напруга мережі чергового освітлення повинна бути не більше, ніж 50 В.

У торговельних і обідніх залах, конференц-залах, вестибюлях, холах, коридорах громадських будівель слід передбачати можливість включення частини світильників, які створюють по всій площі освітленість, достатню для прибирання приміщення, – 15 % від нормованої освітленості, але не менше, ніж 20 лк, незалежно від джерела світла.

У залах басейнів і палатах ізоляторів дитячих дошкільних установ необхідно улаштовувати опромінюючі установки для профілактичного ультрафіолетового опромінювання.

Освітлення безпеки повинно створювати мінімальну освітленість, що становить 5 % від освітленості, яка нормується для робочого освітлення, але не менше, ніж 2 лк усередині споруд і не менше, ніж 1 лк – для території.

Створювати найменшу освітленість усередині споруд – більш ніж 30 лк при розрядних лампах і більш ніж 10 лк при лампах розжарювання – допускається тільки за наявності відповідних обґрунтувань.

Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати на підлозі головних проходів і на сходах освітленість 0,5 лк.

Нерівномірність евакуаційного освітлення (відношення максимальної освітленості до мінімальної) по осі евакуаційних проходів повинна бути не більше, ніж 40:1.

Світильники освітлення безпеки у приміщеннях можуть використовуватись для евакуаційного освітлення.

Входи в будинки, сміттєзбірні камери, а також номерні знаки і покажчики пожежних гідрантів (якщо для них не використовуються світлові покажчики) повинні освітлюватись світильниками, які приєднуються до мережі внутрішнього аварійного освітлення.

Для аварійного освітлення необхідно застосовувати:

а) лампи розжарювання;

б) люмінесцентні лампи – у приміщеннях з мінімальною температурою не менше, ніж +5 °С та за умови живлення ламп при всіх режимах напруги не нижче, ніж 90 % від номінального;

в) газорозрядні лампи високого тиску, за умови їх миттєвого або швидкого повторного запалювання як в гарячому стані після короткочасного відключення, так і в холодному стані.

Електричні світильники. Електричне освітлення забезпечується електричними світильниками.

Більшість світильників складається з таких основних складових частин: установча арматура (підвіска), патрон, лампа (електричне джерело світла), відбивач, захисний світлопрозорий ковпак (розсіювач), захисна сітка, пускорегулювальна апаратура (ПРА) – для газорозрядних ламп.

Джерелом світла в електричних світильниках є лампа. За принципом роботи лампи електричні світильники поділяють на 2 групи: світильники з лампами розжарювання і світильники з газорозрядними лампами. Газорозрядні лампи також поділяють на дві групи: *газорозрядні лампи низького тиску* (тиск до 0,3 кПа) – люмінесцентні лампи (ЛЛ), натрієві лампи низького тиску та *газорозрядні лампи високого тиску* (тиск вище 0,3 кПа) – дугові ртутні люмінесцентні (ДРЛ) лампи, натрієві лампи високого тиску тощо.

На рис. 5.2 приведено конструкцію вибухозахищеного світильника НОБ-150, в якому як джерело світла застосовується лампа розжарювання.

Маркування світильників. Усі світильники мають умовне позначення і ступінь захисту оболонки (марку вибухозахисту).

Умовне позначення світильників складається з певної послідовності літер і цифр.

Перша літера позначає тип джерела світла: Б – бактерицидна лампа (застосовується для знезаражування приміщень), Г – дугова ртутна лампа типу ДРИ (метало-галогенна лампа, що відрізняється від лампи ДРЛ добавками йодидів металів, має підвищену світловіддачу), Ж – натрієва лампа, И – галогенна лампа розжарювання, К – ксенонова трубчаста лампа, Л – пряма трубчаста ЛЛ, Н – лампа розжарювання загального призначення, Р – лампа ДРЛ, Ф – фігурна ЛЛ, Э – еритемна ЛЛ (застосовується для компенсації недостатності ультрафіолетового випромінювання).

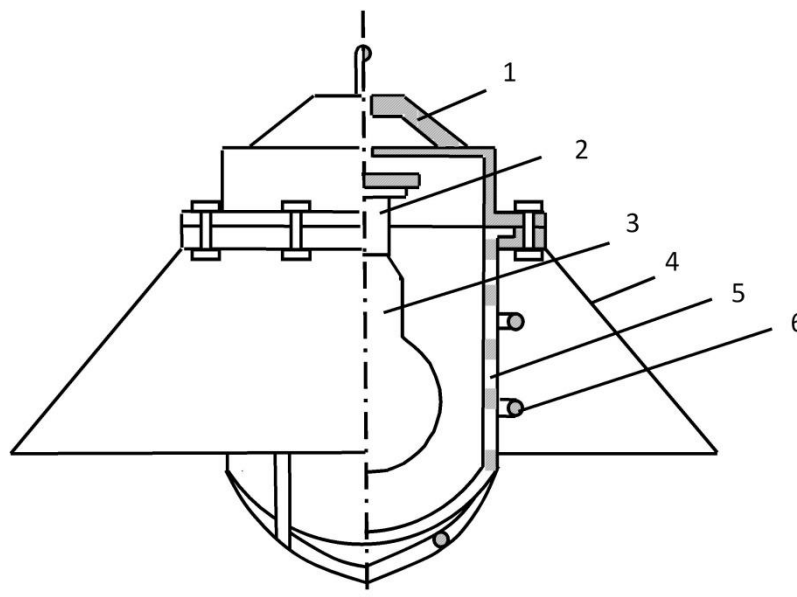


Рис. 5.2 – Конструкція світильника марки Н0Б-150

1 – установча арматура (підвіска); 2 – патрон; 3 – лампа розжарювання; 4 – відбивач; 5 – захисний світлопрозорий ковпак (розсіювач); 6 – захисна сітка

Друга літера позначає спосіб установки світильника: Б – настінний (бра), В – вбудований, Г – головний, Д – прибудований, К – консольний, Н – настільний опорний, П – стельовий, Р – ручний мережний, С – підвісний, Т – на підлозі, що вінчає, Ф – ручний акумуляторний.

Третя літера позначає основне призначення світильника: Б – для житлових (побутових) приміщень, О – для громадських приміщень, П – для промислових і виробничих приміщень, Р – для рудників і шахт, Т – для кінематографічних і телевізійних студій, У – для зовнішнього (вуличного) освітлення.

Далі вказується:

- двозначне число (01-99), що позначає номер серії;
- цифра (цифри), що вказує на кількість ламп у світильнику (якщо світильник одноламповий, цифра може бути відсутня);
- цифри, що позначають максимально припустиму потужність ламп, [Вт];
- тризначна цифра (001-999), що позначає номер модифікації;
- літера (літери) і цифра, що позначають кліматичне виконання і категорію розміщення.

Приклад маркування світильника: НПП01В-60-011-УХЛ4.
Розшифровується наступним чином: світильник з лампою розжарювання (Н), стельовий (П), для промислових і виробничих будівель (П), серія 01В, одноламповий, максимальна потужність лампи 60 Вт, модифікація 011, кліматичне виконання (УХЛ) – для макрокліматичних районів із помірним і холодним кліматом, категорія розміщення (4) – для експлуатації у приміщеннях (об'ємах) зі штучно регульованими кліматичними умовами, наприклад, у закритих виробничих та інших приміщеннях (об'ємах), що

опалюються або охолоджуються і вентилюються, у тому числі підземних приміщеннях, що добре вентилюються (відсутність впливу прямого сонячного випромінювання, атмосферних опадів, вітру, піску й пилу зовнішнього повітря; відсутність або істотне зменшення впливу сонячного випромінювання й конденсації вологи).

Світильники з лампами розжарювання. Лампи розжарювання являють собою джерело світла, що працює за принципом температурного випромінювання. Серійне виробництво ламп розжарювання було налагоджено американським електротехніком Томасом Едісоном в 1878 році. Серійне виробництво ламп розжарювання з вольфрамовою ниткою розжарювання було розпочато американською компанією General Electric у 1906 році.

На сьогодні промисловість здійснює випуск широкої номенклатури ламп розжарювання: загального призначення, місцевого освітлення, транспортних, для оптичних приладів тощо.

Конструкцію сучасної лампи розжарювання загального призначення приведено на рис. 9.3.

Лампа розжарювання загального призначення складається з цоколя 1, скляної колби 2, нитки розжарювання 3, скляної ніжки 4, електродів 5 та тримачів нитки розжарювання 6.

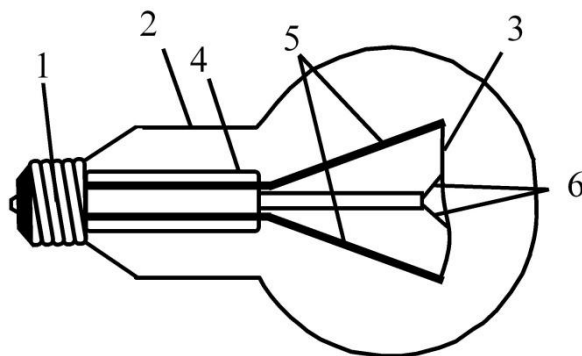


Рис. 5.3 – Конструкція лампи розжарювання

1 – різьбовий цоколь; 2 – скляна колба; 3 – нитка розжарювання; 4 – скляна ніжка; 5 – електроди; 6 – тримачі нитки розжарювання

. Для електричних ламп розжарювання потужністю 150, 200 і 750 Вт температура на колбі дорівнює відповідно +300, +275 і +325 °С. Забруднення колб органічним пилом погіршує відведення тепла і сприяє підвищенню температури. Цей факт зумовлює високу пожежну небезпеку електричних ламп розжарювання.

Електричні лампи розжарювання створюють настільки потужне випромінювання тепла, що на відстані 10 мм від колб ламп розжарювання потужністю 100, 200 Вт виникає тління текстильних матеріалів через 25 хвилин. Дуже небезпечним є доторкання текстильних матеріалів до колб електричних ламп. При цьому погіршується відведення тепла, температура колби зростає до +300-340 °С, після чого починається тління текстильних матеріалів.

При вичерпанні ресурсу роботи, а інколи і значно раніше з різних причин (наприклад, за підвищення напруги в мережі на 1 % від номінальної термін служби лампи розжарювання знижується на 15 % (тобто нормативний термін служби лампи розжарювання знижується з 1000 годин до 850 годин), при технічному браку при виготовленні тощо), відбувається перегорання ниток розжарювання. При цьому розпечені краплі вольфраму потрапляють зсередини на скляну колбу, що достатньо часто призводить до її руйнування. Залишки нитки розжарювання та частки скла колби мають температуру до +1750 °C та розлітаються зі швидкістю до 8 м/с. Теплова енергія залишків нитки розжарювання та часток скла колби значно перевищує мінімальну енергію запалювання більшості горючих речовин. Ця енергія зберігається в частках навіть при падінні їх із висоти до 8 м. Тому залишки нитки розжарювання та частки скла колби можуть викликати тління і наступне горіння горючих матеріалів. Як свідчать експериментальні дані, із двохсот ламп марки БК 215-225-100 вісімдесят шість перегорять із розривом колби.

Таким чином, світильники з лампами розжарювання являють собою достатньо високу пожежну небезпеку.

Основними перевагами ламп розжарювання є їх відносна простота, дешевина, надійність та зручність в експлуатації.

Недоліки ламп розжарювання наступні:

- спектр ламп розжарювання відрізняється від спектра денного світла переважанням жовтих і червоних променів;

- світловий ККД для ламп розжарювання не перевищує 7 % (світлова віддача лампи розжарювання становить до 20 лм/Вт ([лм] – одиниця виміру потужності світлового випромінювання, називається "люмен")), решта потужності йде на теплове випромінювання;

- термін служби ламп розжарювання не перевищує 1000 годин;

- висока пожежна небезпека.

Найбільш ефективною лампою розжарювання є *галогенна лампа розжарювання*, конструкція якої була вперше запропонована у 1959 році компанією General Electric. Підвищення ефективності галогенної лампи розжарювання, у порівнянні з лампою розжарювання загального призначення, досягається підвищенням температури її нитки розжарювання. Для запобігання розплавленню нитки розжарювання в колбу, виготовлену зі спеціального скла, вводять йод (галогенна добавка). Йод за високої температури біля вольфрамової нитки розжарювання випаровується та переміщується до стінок колби й утворює з частками вольфраму, що осіли на колбі, йодистий вольфрам. Біля нитки розжарювання йодистий вольфрам розкладається, й частинки вольфраму осідають на нитку розжарювання, а іони йоду повертаються до стінок колби. Таким чином триває безперервний цикл роботи лампи.

Пожежна небезпека галогенних ламп розжарювання вище пожежної небезпеки ламп розжарювання загального призначення внаслідок більш високої температури колби.

На сьогодні у світі є тенденція до поступового вилучення з обігу ламп розжарювання та заміни їх так званими *енергозберігаючими лампами*, які за принципом дії є ЛЛ із вбудованою електронною ПРА та цоколем E27 для застосування у звичайному патроні. Енергозберігаючі лампи, якщо їх порівнювати з лампами розжарювання, мають більший термін служби і малі витрати електричної енергії (економія становить до 80 % залежно від моделі). З точки зору пожежної небезпеки енергозберігаючі лампи мають низьку температуру нагріву і є значно безпечнішими у порівнянні з лампами розжарювання. Суттєвим недоліком енергозберігаючих ламп є потреба в їх спеціальній утилізації після використання.

Світильники з люмінесцентними лампами. Найбільш широко в електричному освітленні застосовуються трубчасті ртутні лампи низького тиску з нанесеним на внутрішні стінки трубок люмінофором – люмінесцентні лампи. Конструкцію трубчастої ЛЛ приведено на рис. 5.4.

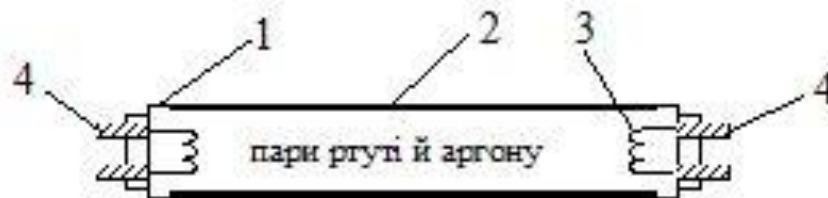


Рис. 5.4 – Конструкція трубчастої люмінесцентної лампи

1 – трубчаста скляна колба; 2 – шар люмінофору; 3 – електроди; 4 – двоштирковий цоколь

Електричний струм, протікаючи між електродами 3, викликає електричний розряд у парах ртуті та інертного газу аргону, що наповнюють трубчасту скляну колбу 1 під тиском близько 0,15 кПа. При цьому виникає ультрафіолетове випромінювання, яке не є видимим для ока людини. Трубчаста скляна колба усередині покрита шаром люмінофору 2, який під дією ультрафіолетового випромінювання починає випромінювати видиме для ока людини світло (цей ефект називається фотолюмінесценцією). У трубчастих ЛЛ з колбою діаметром 40 мм на напругу 220 В, як правило, улаштовуються два двоштиркових цоколі типу G13d з міжцентровою відстанню між штирками 13 мм.

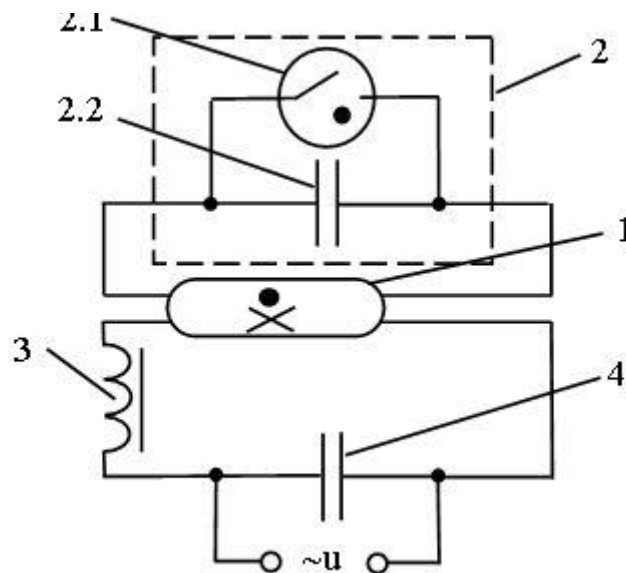


Рис. 5.5 – Схема ПРА зі стартером тліючого розряду для однолампового світильника з ЛЛ

1 – люмінесцентна лампа; 2 – стартер тліючого розряду; 2.1 – неонові лампи стартера; 2.2 – конденсатор для зниження рівня радіоперешкод; 3 – дросель; 4 – конденсатор для підвищення коефіцієнта потужності

Дросель 3 являє собою котушку індуктивності зі сталевим осердям у металевому корпусі, заповненому компаундом. Під час запуску ЛЛ дросель виконує функцію обмежувача струму, без якого в ЛЛ відбувається лавиноподібне збільшення сили струму, що може призвести до її вибуху. Після запуску ЛЛ дросель стабілізує процес електричного розряду в ЛЛ, яка живиться змінним струмом. Наявність дроселя приводить до появи зсуву фази між напругою та силою струму у колі, внаслідок чого відсутні паузи струму. Тому розряд, згаснувши, без паузи знов запалюється. Наявність дроселя призводить до зниження коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ до значення 0,5-0,6. Для компенсації індуктивного опору дроселя у схему включається конденсатор 4.

На умови запалювання ЛЛ при стартерній ПРА впливає напруга мережі живлення, температура навколишнього середовища, величина ємності конденсатора для зниження радіоперешкод, встановленого у стартері, величина пускового струму тощо.

Люмінесцентний світильник зі стартерною ПРА являє собою певну пожежну небезпеку. У процесі роботи ЛЛ не нагріваються вище $+80^{\circ}\text{C}$, але через несправність ПРА (наприклад, злипання контактів неонові лампи стартера) у колі може виникнути великий струм, який призведе до нагріву електродів ЛЛ до температури плавлення (близько $+1500^{\circ}\text{C}$). У результаті плавлення електродів відбувається їх відхилення і дотикання до стінок ЛЛ, які нагріваються при цьому до $+190-200^{\circ}\text{C}$, відбувається розплавлення заливочної маси, руйнування монтажного проводу з поліхлорвініловою або гумовою ізоляцією і міжвиткові замикання у дроселі. Різке підвищення

температури призводить до спалахування фарби, ізоляції розсіювача, виникнення КЗ.

Термін служби ЛЛ залежить від числа вмикань і тривалості циклу горіння. При стартерному запалюванні ЛЛ кожен процес її пуску складається з ряду послідовних спроб запалити ЛЛ, що призводить до зниження її терміну служби. На термін служби ЛЛ також впливає надійність стартера.

До достоїнств стартерних схем пуску ЛЛ слід віднести їх простоту, відносно невеликі розміри, вагу, малі втрати потужності і, відповідно, вартість.

Основними недоліками стартерних схем пуску ЛЛ є зниження терміну служби ЛЛ при роботі в цих схемах, низька надійність ПРА, підвищена пожежна небезпека ПРА.

Крім стартерної ПРА ЛЛ, існує велика кількість схем безстартерних ПРА. Безстартерні схеми поділяють на дві групи: схеми швидкого запалювання з попереднім нагрівом електродів (гаряче запалювання) та схеми миттєвого запалювання без попереднього нагріву електродів.

Найпростішою схемою безстартерного пуску є резонансна схема ПРА, приведена на рис. 5.6.

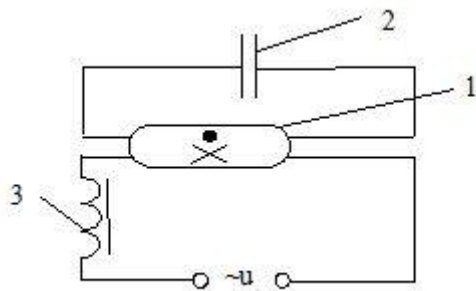


Рис. 5.6 – Найпростіша безстартерна резонансна схема ПРА для однолампового світильника з ЛЛ

1 – люмінесцентна лампа; 2 – конденсатор; 3 – дросель

Ємність конденсатора 2 та індуктивність дроселя 3 підбираються таким чином, щоб за частоти 50 Гц виник резонанс напруг (формула (3.70)). При резонансі напруга на конденсаторі збільшується і стає достатньою для запалювання ЛЛ 1. Після запалювання ЛЛ конденсатор шунтується розрядом в ЛЛ і умови для виникнення резонансного режиму не виконуються.

Недоліком безстартерної резонансної схеми ПРА ЛЛ є негативний вплив конденсатора на роботу ЛЛ, оскільки до перезапалювання ЛЛ конденсатор заряджається й у момент перезапалювання ЛЛ розряджається через неї.

На сьогодні запалювання ЛЛ здійснюється, як правило, за допомогою електронної ПРА, вартість якої у декілька разів перевищує вартість стартерної ПРА.

За статистичними даними, пожежі від світильників із ЛЛ виникають в 1011 разів рідше, ніж від світильників з лампами розжарювання.

Світильники з дуговими ртутними люмінесцентними лампами. Конструкція і принцип дії ламп ДРЛ відрізняються від конструкції і

принципу дії трубчастих ЛЛ низького тиску. Існують двохелектродні (рис. 5.7,а) і чотирьохелектродні (рис. 5.7,б) лампи ДРЛ.

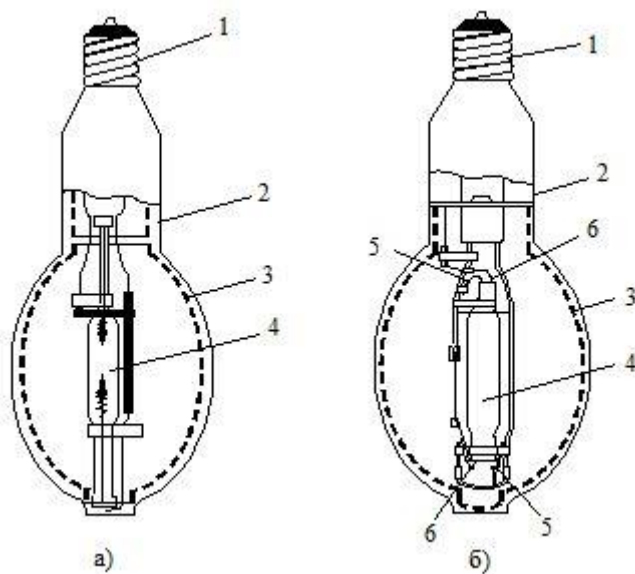


Рис. 5.7 – Конструкція лампи ДРЛ: а – двохелектродна, б – чотирьохелектродна

1 – різьбовий цоколь; 2 – скляна колба; 3 – люмінофор; 4 – ртутна кварцова трубка високого тиску; 5 – головні електроди; 6 – додаткові електроди

Джерелом світла у двохелектродній лампі ДРЛ є електричний розряд у товстостінній кварцовій трубці 4, заповненій парами ртуті й аргоном під високим тиском (5-10 кПа). Трубка розташована всередині скляної колби 2, виготовленої з термостійкого скла (температура колби досягає $+300-400\text{ }^{\circ}\text{C}$), покритої зсередини шаром люмінофору 3 та заповненої вуглекислим газом. Лампа ДРЛ кріпиться в патроні світильника за допомогою різьбового цоколя 1 (типу E27 або E40). Електричний розряд у кварцовій трубці, заповненій парами ртуті й аргоном, викликає випромінювання синюватого кольору, в якому не можливе правильне розпізнавання кольорів (наприклад, обличчя людини сприймається мертвенно-блідим, губи – синювато-сірими). Скляна колба всередині покрита шаром люмінофору 3, який поглинає ультрафіолетове випромінювання ртутного розряду та перетворює його у помаранчево-червоне випромінювання. Видиме синювате випромінювання ртутного розряду люмінофор не поглинає. Таким чином колір випромінювання лампи виправляється.

Для вмикання (запалювання) двохелектродних ламп ДРЛ потрібна спеціальна ПРА, яка має назву ПУРЛ-220 (пристрій для підпалювання ртутної лампи напругою 220 В).

Для спрощення ПРА, а також збільшення терміну служби ламп розроблено чотирьохелектродні лампи ДРЛ. Чотирьохелектродна лампа ДРЛ відрізняється від двохелектродної лампи ДРЛ наявністю двох додаткових електродів 6, розташованих біля головних електродів 5 і з'єднаних з протилежними головними електродами через великий опір. Додаткові

електроди призначені для полегшення умов запалювання лампи. При ввімкненні лампи виникає тліючий розряд між додатковими електродами і найближчими головними електродами, що забезпечує необхідну іонізацію газу. У результаті іонізації газу розряд встановлюється між основними електродами, тому що опір газового проміжку менше опору, включеного в коло додаткового електрода. Чотирьохелектродні лампи ДРЛ комплектуються різьбовим цоколем 1 для кріплення в патроні світильника.

Лампи ДРЛ виробництва країн СНД маркуються із зазначенням типу лампи, її потужності у [Вт] та червоного відношення (відношення світлового потоку червоної області спектра до загального світлового потоку лампи) у відсотках.

Приклад маркування лампи ДРЛ: ДРЛ 400(10). Розшифровується наступним чином: лампа дугова (Д) ртутна (Р) люмінесцентна (Л) потужністю 400 Вт, червоне відношення 10 %.

Лампи ДРЛ випускаються потужністю 250, 500, 750 і 1000 Вт на напругу 220 В з різьбовими цоколями Е27 або Е40. Світлова віддача ламп ДРЛ становить до 60 лм/Вт, світловий ККД досягає значення 20 % (як і для ЛЛ). Термін служби ламп ДРЛ – до 20000 годин.

Схема вмикання ПРА (ПУРЛ-220) двохелектродної лампи ДРЛ приведена на рис. 9.8.

ПУРЛ-220 є однаковим для всіх двохелектродних ламп ДРЛ, а дросель 3 вибирається залежно від потужності лампи. ПУРЛ-220 складається з випрямляча 2.1, обмежувального резистора 2.2, конденсатора 2.3 та розрядника 2.4. Випрямляч 2.1 включений у схему ПУРЛ тому, що застосовується розрядник типу РБ-3, який не може працювати у схемах змінного струму.

При подачі напруги на лампу 1 конденсатор 2.3 заряджається через випрямляч 2.1 і обмежувальний резистор 2.2. Коли конденсатор 2.3 зарядиться до величини напруги запалювання розрядника 2.4, конденсатор 2.3 розряджається через розрядник 2.4 та додаткову обмотку (обмотку запалювання) дроселя 3. На кінцях основної обмотки дроселя 3 індукуються імпульси високої напруги, що запалює лампу 1. Якщо з першого разу лампа 1 не запалилася, конденсатор 2.3 зарядиться знову і процес буде повторюватися доти, поки лампа 1 не запалиться. Після запалювання лампи повторних розрядів конденсатора 2.3 не відбувається, тому що напруга на лампі 1 під час її горіння і на конденсаторі 2.3 нижче пробивної напруги розрядника 2.4.

Схема вмикання двохелектродної лампи ДРЛ за допомогою ПРА ПУРЛ-220 забезпечує практично миттєве запалювання лампи за температури навколишнього середовища від мінус 30 °С до плюс 60 °С.

Схеми вмикання ПРА чотирьохелектродної лампи ДРЛ приведені на рис. 9.9.

Схеми вмикання ПРА для чотирьохелектродної лампи ДРЛ є значно простішими, ніж для двохелектродної, що є наслідком удосконалення конструкції лампи.

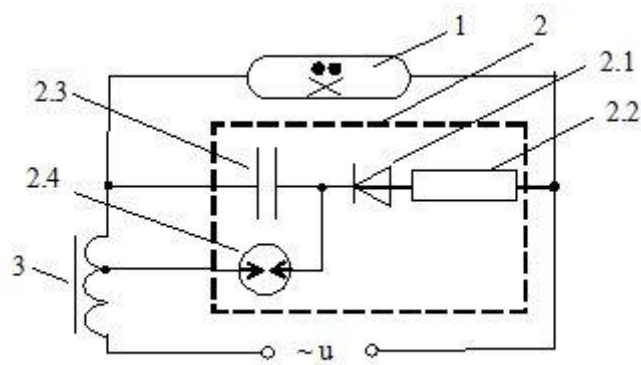
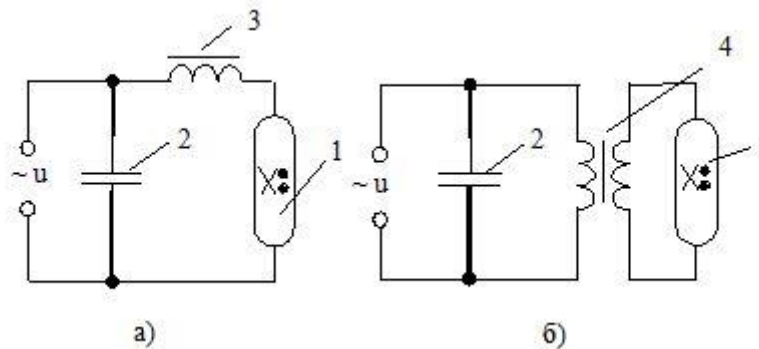


Рис. 5.8 – Схема вмикання ПРА (ПУРЛ-220) двохелектродної лампи ДРЛ

1 – двохелектродна лампа ДРЛ; 2 – ПУРЛ-220; 2.1 – випрямляч; 2.2 – обмежувальний резистор; 2.3 – конденсатор; 2.4 – розрядник; 3 – дросель

Для запалювання чотирьохелектродної лампи ДРЛ за кімнатної температури (рис.9.9,а) достатньо подати на її електроди напругу 220 В. Для стабілізації розряду застосовується дросель 3. Конденсатор 2 призначений для компенсації індуктивного опору дроселя.



**Рис. 5.9 – Схеми вмикання ПРА чотирьохелектродної лампи ДРЛ:
а – за позитивних температур, б – за негативних температур**

1 – чотирьохелектродна лампа ДРЛ; 2 – конденсатор; 3 – дросель; 4 – трансформатор

Для запалювання чотирьохелектродної лампи ДРЛ за негативних температур (до мінус 30 °С) імпульс напруги повинен сягати 300 В. Тому застосовують (рис. 9.9,б) трансформатор 4 з великим магнітним розсіюванням.

Для підвищення коефіцієнта потужності в коло ПРА включають конденсатор 2.

Усталена робота як двохелектродних, так і чотирьохелектродних ламп ДРЛ, тобто припинення помітної пульсації й досягнення номінального світлового потоку, настає через 5-7 хвилин після ввімкнення напруги. Повторне ввімкнення світильника з лампою ДРЛ, що горіла, можливе тільки після остигання лампи ДРЛ, для чого потрібно до 10-15 хв. З цієї причини світильники з лампами ДРЛ не дозволяється використовувати для аварійного освітлення.

Лампи ДРЛ поєднують достоїнство трубчастих ЛЛ низького тиску – високу світлову віддачу – з можливістю зосередити у відносно невеликому об'ємі значну світлову потужність.

Пожежна небезпека світильників з лампами ДРЛ зумовлена тим, що температура поверхні колби може досягати $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище, що може призвести до samozapalювання більшості горючих матеріалів. При невдалих пусках температура елементів ПРА може сягати величини $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$, що також є небезпечним.

Світильники з лампами ДРЛ застосовуються для вуличного освітлення та освітлення великих виробничих приміщень. На сьогодні світильники з лампами ДРЛ поступово замінюються світильниками з натрієвими лампами високого тиску, які є екологічно безпечнішими (лампи, які містять ртуть, потребують спеціальної утилізації).

На рис. 5.10 показано зовнішній вигляд розглянутих електричних джерел світла.



Рис. 5.10 – Сучасні електричні джерела світла: а – лампа розжарювання загального призначення, б – ЛЛ низького тиску, в – енергозберігаюча лампа, г – лампа ДРЛ

Світильники з натрієвими лампами. Принцип дії натрієвих ламп ґрунтується на використанні резонансного випромінювання D-ліній натрію. За робочим тиском натрію виділяють два типи натрієвих ламп – низького і високого тиску. Крива залежності світлової віддачі випромінювання натрієвого розряду від тиску парів натрію має два максимуми. Область першого максимуму відповідає тиску близько $0,2\text{ Па}$ і досягається за температури рідкої фази $+270\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Саме за цих тисків і щільності струму $0,1\text{--}0,5\text{ А/см}^2$ працюють натрієві лампи низького тиску. Другий максимум світлової віддачі досягається за тиску близько 10 кПа . Такий тиск мають насичені пари натрію за температури $+650\text{--}750\text{ }^{\circ}\text{C}$. За цього тиску працюють натрієві лампи високого тиску.

Натрієва лампа низького тиску (рис. 9.11) виконана у вигляді розрядної трубки 2 діаметром $50\text{--}75\text{ мм}$, виготовленої зі спеціального боро-силікатного скла, стійкого до впливу парів натрію. В розрядну трубку введено певну кількість чистого натрію, який у холодному стані осідає на поверхні трубки у вигляді плям з металевим блиском. Для забезпечення запалювання і збільшення терміну служби в розрядну трубку вводиться невелика кількість інертного газу – неону, гелію або аргону. Робочий тиск

парів натрію досягається за температури стінок розрядної трубки $+280-300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для підтримання цієї температури розрядна трубка розташовується всередині зовнішньої скляної теплоізолювальної колби 3 з подвійними стінками, покритої зсередини шаром оксиду індію. Оксид індію – напівпровідник, що пропускає хвилі видимого діапазону довжин хвиль і затримує хвилі інфрачервоного діапазону. Час розігрівання розрядної трубки становить 10-15 хв. Для зменшення довжини лампи і поверхні охолодження розрядна трубка виконується U-подібної форми.

При вмиканні лампи вона випромінює мерехтливе червоно-рожеве світло. Через кілька хвилин, коли металевий натрій випарувався, лампа починає випромінювати яскраве практично монохроматичне жовте світло. З цієї причини кольоровість тіл, що освітлюються, не може бути чітко розпізнана (тіла відбивають вузьку смугу жовтого світла).

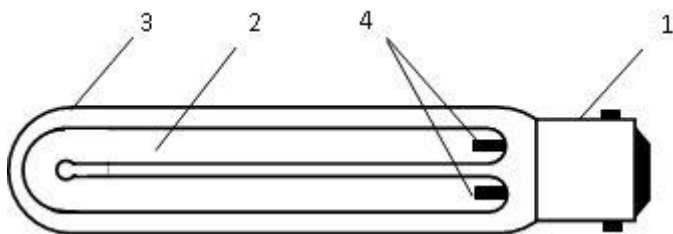


Рис. 5.11 – Конструкція натрієвої лампи низького тиску

1 – штифтовий цоколь; 2 – розрядна трубка U-подібної форми; 3 – скляна теплоізолювальна колба; 4 – електроди

Натрієві лампи високого тиску за принципом роботи є аналогічними лампам ДРЛ, за винятком того, що розряд високої інтенсивності відбувається не в парах ртуті, а у ртутно-натрієво-ксеноновій суміші. Конструкція (рис. 9.12) натрієвої лампи високого тиску являє собою циліндричну розрядну трубку 2, змонтовану всередині циліндричної скляної вакуумної колби 3. Основною робочою речовиною в розрядній трубці 2 є натрій. Ртуть вводиться як буферний газ для підвищення температури розряду, градієнта потенціалу у стовпі розряду і для зниження теплових втрат; внесок у випромінювання ртуть практично не робить. Ксенон вводиться для підвищення світлової віддачі за рахунок зниження теплопровідності плазми.

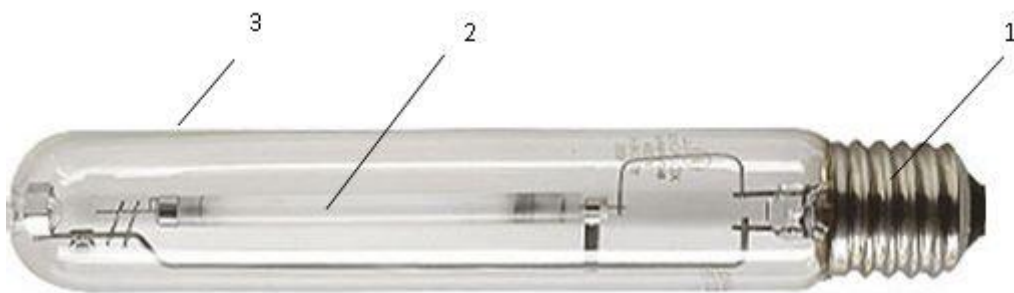


Рис. 5.12 – Конструкція натрієвої лампи високого тиску

1 – цоколь; 2 – розрядна трубка; 3 – скляна колба

Колір випромінювання натрієвих ламп високого тиску має приємний золотисто-білий відтінок. Світловий ККД для натрієвої лампи високого тиску досягає значення 30 %. У жовто-помаранчевій області випромінювання зосереджено 70 % видимого випромінювання.

Натрієві лампи високого тиску використовуються найчастіше там, де не важливе точне відтворення кольору. Ідеально підходять для освітлення спортивних залів, складів, пішохідних зон, доріг, виробничих і комерційних комплексів.

Натрієві лампи високого тиску виробництва країн СНД маркуються із зазначенням типу лампи та її потужності у [Вт].

Приклад маркування: ДНаТ 50. Розшифровується наступним чином: лампа дугова (Д) натрієва (На) трубчаста (Т) потужністю 50 Вт.

Натрієві лампи високого тиску випускаються потужністю 50, 70, 100, 150, 250, 400, 600 і 1000 Вт на напругу 220 В з різьбовими цоколями Е27 або Е40. Термін служби ламп ДНаТ – до 28000 годин.

Натрієві лампи високого тиску не можуть запалюватися від напруги мережі. Для цього застосовується спеціальний імпульсний електронний запалювальний пристрій, що дає імпульси напруги до 4 кВ. Після запалювання лампи пристрій автоматично вимикається і схема функціонує аналогічно ПРА чотирьохелектродної лампи ДРЛ. Імпульсний електронний запалювальний пристрій 4 підключається паралельно лампі (рис. 5.13), причому високовольтний провід з'єднується одночасно з дроселем 3 і лампою 1.

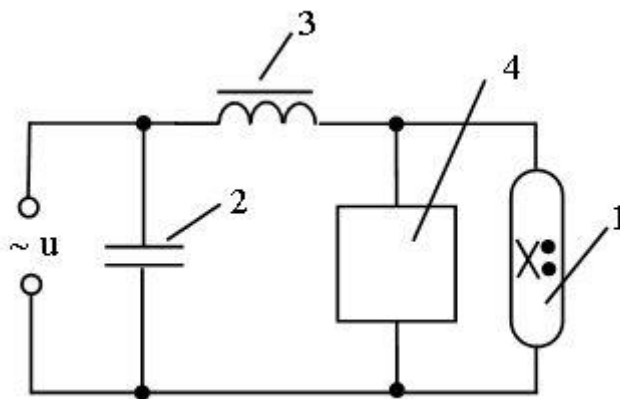


Рис. 5.13 – Схема включення ПРА натрієвої лампи високого тиску

1 – натрієва лампа високого тиску; 2 – конденсатор; 3 – дросель; 4 – імпульсний електронний запалювальний пристрій

Пожежна небезпека світильників з натрієвими лампами низького тиску подібна пожежній небезпеці світильників із трубчастими ЛЛ, а світильників з натрієвими лампами високого тиску – пожежній небезпеці світильників з лампами ДРЛ.

Вимоги пожежної безпеки до електричних світильників. Електричні світильники, як і інші електротехнічні вироби, за ступенем захисту оболонки

повинні відповідати класу зони згідно з ПУЕ, мати апаратуру захисту від струмів КЗ та інших аварійних режимів.

На електричні світильники, встановлені у вибухонебезпечних або пожежонебезпечних зонах, повинні бути нанесені знаки, що вказують ступінь захисту їх оболонки.

Переносні світильники повинні бути обладнані захисними скляними ковпаками й сітками. Для цих світильників та іншої переносної електроапаратури слід застосовувати гнучкі кабелі та проводи (шнури) з мідними жилами, спеціально призначеними для цієї мети, з урахуванням їх захисту від можливих пошкоджень.

Відстань між світильниками з лампами розжарювання та предметами (будівельними конструкціями) з горючих матеріалів, за винятком груп Г1, Г2 за ДБН В.1.1-7, повинна бути не менше 0,5 м – для лампи розжарювання потужністю 100 Вт, 0,8 м – потужністю 300 Вт, 1,0 м – потужністю 500 Вт. Інші види світильників необхідно розміщувати від горючих матеріалів та предметів на відстані не менше 0,5 м; від будівельних конструкцій, що містять горючі матеріали груп горючості Г3, Г4 за ДБН В.1.1-7, – не менше 0,2 м, а від конструкцій із горючих матеріалів груп горючості Г1, Г2 за ДБН В.1.1-7 – не менше 0,1 м. У разі неможливості дотримання вказаних відстаней до будівельних конструкцій вони повинні бути захищені негорючими теплоізоляційними матеріалами.

У разі встановлення світильників на (у) підвісній стелі чи їх облицювання з матеріалів груп горючості Г3, Г4 за ДБН В.1.1-7 місця прилягання цих світильників необхідно захищати негорючим теплоізоляційним матеріалом або матеріалом групи горючості Г1 (крім випадків, коли технічними умовами на світильники передбачена можливість їх монтажу на горючих поверхнях або конструкціях).

Світильники треба регулярно, не рідше одного разу на місяць, а в запиленних приміщеннях – щотижня, очищати від пилу.

У світильниках аварійного та евакуаційного освітлення треба використовувати лампи розжарювання. Дозволяється, в окремих випадках, застосування люмінесцентних світильників для аварійного (евакуаційного) освітлення за умов, що температура навколишнього середовища приміщення становить не менше +5 °С, а живлення здійснюється на змінному струмі й забезпечує напругу мережі не нижче 90 % від номінальної.

Світильники аварійного (евакуаційного) освітлення виділяються з числа світильників робочого освітлення своїм типом чи спеціально нанесеним знаком. Світильники евакуаційного освітлення позначають літерою "Е".

Установлення будь-яких місцевих вимикачів або штепсельних роз'єднувачів у мережах аварійного (евакуаційного) освітлення не дозволяється.

Конструкція світильників повинна виключати можливість випадання з них ламп. Світильники з лампами розжарювання повинні мати суцільне силікатне скло, яке захищатиме колбу лампи.

До світильників, розташованих у пожежонебезпечних зонах, є додаткові вимоги: люмінесцентні світильники у складських приміщеннях не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів; переносні світильники повинні мати ступінь захисту не нижче IP54 і повинні бути захищені від механічних ушкоджень металевою сіткою.

Для освітлення вибухонебезпечних зон допускається використовувати світильники загального призначення в наступних випадках:

- освітлення здійснюється через вікна, що не відчиняються;
- світильник розміщується в ніші стіни за подвійним склом (ніша має природну вентиляцію);
- світильники розміщують у спеціальному ліхтарі, відділеному від основного об'єму приміщення подвійним склом;
- світильники розміщують у коробах, що продуваються чистим повітрям під надлишковим тиском; короб не сполучається з об'ємом приміщення і є повітроводом системи припливної вентиляції.

Не дозволяється: застосування лампи розжарювання для опалення приміщень; підвішування світильників безпосередньо на струмопровідні проводи, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами); використання в пожежонебезпечних зонах світильників з лампами розжарювання без захисного суцільного скла (ковпаків), а також з відбивачами і розсіювачами, виготовленими з горючих матеріалів.

Електричні світильники підключаються до електричної мережі системи TN-S, в іншому випадку їх корпуси підлягають заземленню

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ВІД УРАЖЕНЬ ОБСТРІЛАМИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

В умовах воєнних дій в Україні електричне освітлення піддається підвищеному ризику пошкоджень внаслідок обстрілів, що може призводити до аварій, коротких замикань і пожеж. Для мінімізації цих ризиків застосовуються комплексні заходи захисту, які можна розділити на технічні, конструктивні та організаційні.

Технічні методи захисту:

Використання вибухозахищених і ударостійких світильників. Такі світильники мають посилену конструкцію, що дозволяє витримувати механічні пошкодження і запобігати займанням при ураженні електрообладнання.

Застосування мережових фільтрів та пристроїв захисту від перенапруги. Світлодіодні та інші сучасні світильники чутливі до стрибків напруги, які часто виникають під час обстрілів. Мережеві фільтри захищають електроніку від пошкоджень, продовжуючи термін служби освітлення.

Встановлення пристроїв захисного відключення (ПЗВ) і диференційних автоматів. Вони швидко відключають живлення при коротких замиканнях

або пошкодженні ізоляції, що знижує ризик пожежі та ураження електричним струмом.

Заземлення і занулення електричних мереж. Це знижує небезпеку ураження струмом і забезпечує безпеку експлуатації освітлення у складних умовах.

Конструктивні методи захисту:

Фізичний захист обладнання. Для захисту підстанцій та електрообладнання, у тому числі освітлювальних систем, застосовують багаторівневі захисні конструкції:

Спорудження габіонів і біг-бегів (мішки з піском, землею, щебенем) для захисту від уламків дронів і мінімізації пошкоджень.

Бетонні укриття навколо та над електрообладнанням, що витримують удари ракет і мін.

Перенесення ключових вузлів підземним способом для максимального захисту від прямого влучання.

Герметизація і ізоляція світильників. Для зовнішнього освітлення застосовують світильники з високим ступенем захисту IP65 і вище, що запобігає проникненню пилу, вологи та дрібних уламків.

Використання навісів, плафонів і абажурів. Вони захищають світильники від механічних пошкоджень і атмосферних впливів, що особливо важливо в умовах бойових дій.

Організаційні заходи:

Регулярне технічне обслуговування та огляд. Вчасне виявлення пошкоджень, заміна зношених чи пошкоджених компонентів світильників і проводки знижує ризик аварій і пожеж.

Контроль за станом електромережі і оперативний ремонт. Особливо важливо швидко усувати пошкодження електропроводки, що виникають через обстріли, щоб уникнути коротких замикань і займання.

Навчання персоналу і дотримання правил пожежної безпеки. Працівники, які обслуговують освітлення, повинні знати особливості роботи в умовах воєнного стану та заходи безпеки при експлуатації електрообладнання.

Маскування джерел світла. Для зниження ризику виявлення об'єктів противником освітлення має бути захищене і замасковане, щоб уникнути цілевказування під час обстрілів.

Висновок

Захист електричного освітлення від уражень обстрілами в Україні здійснюється за допомогою комплексного підходу, що включає застосування вибухозахищених світильників, пристроїв захисту від перенапруги, фізичних укриттів для обладнання, герметизації світильників, регулярного технічного обслуговування та організаційних заходів. Ці методи дозволяють значно знизити ризики пожеж і аварій, забезпечуючи безперервність і безпеку електричного освітлення навіть у складних умовах війни.

ЛЕКЦІЯ №9. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Відповідно до вимог "Правил пожежної безпеки в Україні" електричні машини, апарати, обладнання (апарати керування, пускорегулювання, контрольно-вимірювальні прилади, електродвигуни, світильники тощо), електропроводи й кабелі за виконанням та ступенем захисту повинні не тільки відповідати класу зони згідно з ПУЕ, а й мати апаратуру захисту від струмів КЗ та інших аварійних режимів. Для цього здійснюється розрахунок електричних мереж.

Взагалі електричні мережі розраховуються комплексно: за нагрівом (тепловий розрахунок), за втратою напруги, за економічною густиною струму тощо.

Метою проведення теплового розрахунку електричних мереж є визначення відповідності номінальних параметрів апаратів захисту, площі поперечного перерізу жил провідників (маркорозміру КВ) відгалужень і магістральної лінії один одному і розрахунковому навантаженню мережі. Правильно виконаний тепловий розрахунок дозволяє запобігати пожежонебезпечним явищам, що виникають при КЗ та перевантаженнях.

Тепловий розрахунок виконується на стадії проектування електричної мережі житлових, громадських або промислових будівель у проектній організації, а також при проведенні Державної експертизи щодо пожежної безпеки електричних розділів проекту будівництва у підрозділах держпожнадзора. Проведення теплового розрахунку також може бути потрібним при дослідженні пожежі при висуненні версії про причетність електроустановок до її виникнення.

ЗАГАЛЬНИЙ ПОРЯДОК ТЕПЛООВОГО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

1-й етап. Визначення класу зони простору або класифікація приміщення, у якому працює електрична мережа.

2-й етап. Визначення потреби у захисті електричної мережі від КЗ або перевантаження. Є електричні мережі, які захищаються від КЗ і струмового перевантаження одночасно, і є електричні мережі, які захищаються тільки від КЗ.

3-й етап. Визначення номінальної потужності навантаження електричної мережі.

4-й етап. Визначення величини розрахункового та максимального (пускового) струмів в електричній мережі.

5-й етап. Визначення номінальних параметрів апаратів захисту (автоматичних вимикачів, плавких запобіжників, теплових реле) електричної мережі від КЗ і струмового перевантаження.

6-й етап. Визначення маркорозміру КВ, якими підключається навантаження в електричну мережу.

7-й етап. Виконання, якщо у цьому є потреба, перевірконого розрахунку на надійність відключення від джерел електричного живлення при виникненні КЗ на кінці лінії, що захищається.

Надійне відключення пошкодженої ділянки електричної мережі забезпечується, якщо відношення величини найменшого розрахункового струму КЗ до номінального струму плавкої вставки плавкого запобіжника або розчіплювача автоматичного вимикача буде не меншим за наступні значення (п. 3.1.8 ПУЕ):

– для автоматичних вимикачів з електромагнітним розчіплювачем (максимальним розчіплювачем струму миттєвої дії):

$$\frac{I_{\text{КЗ}}}{I_{\text{ном.ел.м}}} \geq 1,25(1,4), \quad (8.16)$$

де $I_{\text{КЗ}}$ – розрахункове значення величини мінімального струму КЗ; коефіцієнт 1,25 – для автоматичних вимикачів на номінальні струми вище 100 А, коефіцієнт 1,4 – для автоматичних вимикачів на номінальні струми до 100 А; – для плавких запобіжників (коефіцієнт у дужках відноситься до електромереж у вибухонебезпечних зонах):

$$\frac{I_{\text{КЗ}}}{I_{\text{ном.вст.}}} \geq 3(4); \quad (8.17)$$

– для автоматичних вимикачів з максимальним розчіплювачем струму з витримкою часу, обернено залежною від струму (тепловим розчіплювачем), або магнітних пускачів з тепловим реле (коефіцієнт у дужках відноситься до електромереж у вибухонебезпечних зонах):

$$\frac{I_{\text{КЗ}}}{I_{\text{ном.тепл.}}} \geq 3(6). \quad (8.18)$$

Для визначення $I_{\text{КЗ}}$ необхідно розрахувати усю електричну мережу від об'єктової трансформаторної ПС до приймача електричної енергії. Тому перевірочний (сьомий) етап виконується після повного розрахунку електричної мережі.

Приклад однолінійної схеми електричної мережі від об'єктової трансформаторної ПС до приймачів електричної енергії подано на рис. 7.4.

ПОРЯДОК ТЕПЛОВОГО РОЗРАХУНКУ ВІДГАЛУЖЕННЯ ДО СИЛОВОГО ПРИЙМАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Відгалуження до силового приймача електричної енергії – ділянка від РЩ до і-го електродвигуна.

1-й етап. Визначення класу зони простору або класифікація приміщення, у якому працює електрична мережа.

2-й етап. Визначення необхідності захисту електричної мережі від КЗ або перевантаження.

Від КЗ захищаються усі електричні мережі (п. 3.1.8 ПУЕ).

Захист електродвигунів від перевантаження має встановлюватися у випадках, коли можливе перевантаження механізму з технологічних причин (п. 5.3.57 ПУЕ).

Крім того, від перевантаження захищаються силові мережі:

- усередині приміщень, виконані відкрито прокладеними провідниками з горючою зовнішньою оболонкою або ізоляцією (п. 3.1.10 ПУЕ);

- на промислових підприємствах, у житлових і громадських будівлях, торговельних приміщеннях – тільки у випадках, коли за умовами технологічного процесу або режимом роботи мережі може виникати тривале перевантаження провідників (п. 3.1.10 ПУЕ);

- у вибухонебезпечних зонах (п. 4.10.2 нормативного документа НПА ОП 40.1-1.32).

3-й етап. Визначення номінальної потужності і-го електродвигуна $P_{\text{ном}}^i$, [кВт]. Здійснюється за паспортними даними на електродвигун.

4-й етап. Визначення величини розрахункового та максимального (пускового) струмів в електричній мережі.

Розрахунковим (номінальним) називається електричний струм, що протікає по провідниках електричної мережі при роботі електродвигуна в номінальному режимі.

Для визначення величини розрахункового струму і-го трифазного асинхронного двигуна $I_{\text{р}}^i$ застосовується математична формула:

$$I_{\text{р}}^i = \frac{P_{\text{ном}}^i \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi_i \cdot \eta_i}, [\text{A}], \quad (8.19)$$

де $U_{\text{л}}$ – лінійна напруга, [В] (як правило, $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$); $\cos \varphi_i$ – коефіцієнт потужності, в частках одиниці; η_i – коефіцієнт корисної дії, в частках одиниці.

Величина максимального (пускового) струму $I_{\text{іоіе}}^i$ трифазного асинхронного двигуна визначається за формулою:

$$I_{\text{пуск}}^i = I_{\text{р}}^i \cdot K_{\text{п}}^i, [\text{A}], \quad (8.20)$$

де $K_{\text{п}}^i = \frac{I_{\text{пуск}}^i}{I_{\text{р}}^i}$ – кратність пускового струму і-го електродвигуна

(визначається з паспортних даних електродвигуна).

5-й етап. Визначення номінальних параметрів апаратів захисту електричної мережі від КЗ і струмового перевантаження.

Захист електродвигуна від КЗ, як правило, здійснюється автоматичними вимикачами або плавкими запобіжниками, захист від перевантаження – тепловими реле, що вбудовуються у магнітні пускачі.

Номінальні параметри електромагнітного розчіплювача (максимального розчіплювача струму миттєвої дії) і-го автоматичного вимикача, що захищає електричну мережу до і-го трифазного асинхронного двигуна від КЗ, визначаються з умови (п. 3.1.4 ПУЕ):

$$\begin{cases} I_{\text{ном.ел.м}}^i \geq I_{\text{р}}^i \\ I_{\text{сп.ел.м}}^i \geq \alpha \cdot I_{\text{пуск}}^i \end{cases}, \quad (8.21)$$

де $I_{\text{ном.ел.м}}^i$ – номінальний струм електромагнітного розчіплювача (максимального розчіплювача струму миттєвої дії) і-го автоматичного вимикача, [А]; $I_{\text{сп.ел.м}}^i$ – струм спрацьовування електромагнітного розчіплювача (максимального розчіплювача струму миттєвої дії) і-го автоматичного вимикача, [А]; α – коефіцієнт, який враховує неточність характеристик автоматичного вимикача при його серійному виробництві та, відповідно, залежить від типу автоматичного вимикача (для більшості автоматичних вимикачів можна вважати $\alpha = 1,25$).

Номінальний струм плавкої вставки і-го безінерційного плавкого запобіжника $I_{\text{ном.вст}}^i$, що захищає електричну мережу до і-го трифазного асинхронного двигуна від КЗ, визначається з умови (п. 5.3.56 ПУЕ):

$$I_{\text{ном.вст}}^i \geq \frac{I_{\text{пуск}}^i}{\beta}, \quad (8.22)$$

де β – коефіцієнт, який залежить від умов пуску трифазного асинхронного двигуна (за легких умов пуску $\beta = 2,5$; за важких умов пуску $\beta = 1,6$).

Номінальний струм нагрівального елемента і-го теплового реле $I_{\text{м}}^i$ магнітного пускача, що захищає і-й трифазний асинхронний двигун від перевантаження, визначається з наступної умови:

$$I_{\text{ном.нагр}}^i = (1,05 \div 1,2) \cdot I_{\text{р}}^i. \quad (8.23)$$

Реальні електромагнітні розчіплювачі (максимальні розчіплювачі струму миттєвої дії), плавкі вставки та нагрівальні елементи апаратів захисту обираються за каталогами з параметрами, найближчими більшими за $I_{\text{ном.ел.м}}^i$,

$I_{\text{ном.вст}}^i$, $I_{\text{ном.нагр}}^i$ з параметричного ряду для визначених типів апаратів захисту.

6-й етап. Визначення маркорозміру КВ, якими підключається навантаження в електричну мережу.

Вибір марки КВ та способу його прокладання здійснюється відповідно до класу зони простору, в якому розташовано електричну мережу.

Визначення маркорозміру КВ здійснюється за струмовим навантаженням, тривало припустимим за ПУЕ для жил даної марки КВ та способу його прокладання.

Величина допустимого струму для жили КВ $I_{\text{прип}}^i$ визначається з умови (п. 3.1.12 ПУЕ):

$$I_{\text{прип}}^i \geq \gamma \cdot I_{\text{р}}^i, \quad (8.24)$$

де γ – коефіцієнт, який залежить від місця розташування електричної мережі (у вибухонебезпечних зонах $\gamma = 1,25$ (для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором); у невибухонебезпечних зонах $\gamma = 1,0$).

Маркорозмір КВ визначається за таблицями глави 1.3 ПУЕ. При цьому слід обирати мінімально можливий переріз, що відповідає умові (8.24).

Обрана з таблиці глави 1.3 ПУЕ допустима сила струму $I_{\text{ідѐї}}^3$ для обраного маркорозміру КВ перевіряється за умовою (п. 3.1.11 ПУЕ): для вибухонебезпечних зон:

$$0,8 \cdot I_{\text{прип}}^i \geq I_{\text{ном.нагр}}^i; \quad (8.25)$$

для невибухонебезпечних зон:

$$I_{\text{прип}}^i \geq I_{\text{ном.нагр}}^i. \quad (8.26)$$

При невиконанні умов (8.25) або (8.26) маркорозмір КВ збільшується до найближчого стандартного значення, що задовольнить цим умовам.

Якщо відгалуження до електродвигуна захищається тільки від КЗ, то необхідно перевірити правильність вибору маркорозміру КВ за наступними умовами (п. 3.1.9 ПУЕ):

- при захисті мережі автоматичними вимикачами:

$$I_{\text{сп.ел.м}}^i \leq 4,5 \cdot I_{\text{прип}}^i; \quad (8.27)$$

- при захисті плавкими запобіжниками:

$$I_{\text{ном.вст}}^i \leq 3 \cdot I_{\text{прип}}^i. \quad (8.28)$$

При невиконанні умов (8.27) або (8.28) необхідно з таблиць глави 1.3 ПУЕ обрати КВ з більшим стандартним маркорозміром, що задовольнить цим умовам.

Порядок теплового розрахунку розподільної силової мережі. Розподільна силова мережа – ділянка від ГРЩ до РЩ (рис. 7.4).

1-й етап. Визначення класу зони простору або класифікація приміщення, в якому працює електрична мережа. Розподільні пристрої, як правило, виносяться за межі небезпечних просторів та розташовуються в окремих приміщеннях.

2-й етап. Визначення необхідності захисту електричної мережі від КЗ або перевантаження.

Розподільна силова захищається тільки від КЗ (п. 3.1.8 ПУЕ).

3-й етап. Визначення номінальної потужності навантаження електричної мережі.

Від РЩ підключено n однакових трифазних асинхронних двигунів з номінальною потужністю $P_{\text{ном}}^i$, [кВт]. $P_{\text{ном}}^i$ визначається за паспортними даними.

4-й етап. Визначення величини розрахункового та максимального струмів в електричній мережі.

Для визначення величини розрахункового струму в розподільній силовій мережі $I_{\text{р}}^{\text{РЩ}}$ застосовується математична формула:

$$I_{\text{р}}^{\text{РЩ}} = K_{\text{с}} \cdot \sum_{i=1}^n I_{\text{р}}^i, [\text{A}], \quad (8.29)$$

де $K_{\text{с}}$ – коефіцієнт попиту, що характеризує імовірність одночасної роботи всіх електродвигунів (визначається з таблиці 8.3).

Таблиця 8.3 – Величина коефіцієнта попиту електродвигунів

Кількість підключених електродвигунів, n	2	3	4	5	6	8	10	20
Коефіцієнт попиту, $K_{\text{с}}$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3

Величина максимального струму в розподільній силовій мережі визначається за формулою:

$$I_{\text{мах}}^{\text{РЩ}} = K_{\text{с}} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{р}}^i + I_{\text{пуск}}^{\text{найб}}, [\text{A}] \quad (8.30)$$

де $I_{\text{пуск}}^{\text{найб}}$ – величина найбільшого пускового струму i -го електродвигуна, підключеного від РЩ, [А].

5-й етап. Визначення номінальних параметрів апаратів захисту електричної мережі від КЗ.

Захист від КЗ, як правило, здійснюється автоматичними вимикачами або плавкими запобіжниками.

Електромагнітний розчіплювач (максимальний розчіплювач струму миттєвої дії) автоматичного вимикача, що захищає розподільну силову мережу від КЗ, вибирається з таким номінальним струмом $I_{\text{ном.рл.м}}^{\text{РЩ}}$, для якого виконується умова (п. 3.14 ПУЕ):

$$\begin{cases} I_{\text{ном.рл.м}}^{\text{РЩ}} \geq I_{\text{р}}^{\text{РЩ}} \\ I_{\text{сп.рл.м}}^{\text{РЩ}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{мах}}^{\text{РЩ}} \end{cases} \quad (8.31)$$

Плавка вставка плавкого запобіжника, що захищає розподільну силову мережу від КЗ, вибирається з таким номінальним струмом $I_{\text{ном.вст}}^{\text{РЩ}}$, для якої виконується умова:

$$I_{\text{ном.вст}}^{\text{РЩ}} \geq \frac{I_{\text{мах}}^{\text{РЩ}}}{2,5}. \quad (8.32)$$

При цьому необхідно забезпечити виконання *вимоги селективності* (п. 3.1.8 ПУЕ) роботи апаратів захисту у відгалуженнях і в розподільній силовій мережі:

- при захисті мережі автоматичними вимикачами – номінальні струми розчіплювачів суміжних автоматичних вимикачів повинні відрізнятися один від одного на один крок за шкалою номінальних струмів;
- при захисті плавкими запобіжниками за умови:

$$\frac{I_{\text{ном.вст}}^{\text{РЩ}}}{I_{\text{ном.вст}}^i} \geq 1,6. \quad (8.33)$$

6-й етап. Визначення маркорозміру КВ, якими підключається навантаження в електричну мережу.

Визначення маркорозміру КВ здійснюється за струмовим навантаженням, тривало допустимим за ПУЕ для жил даної марки КВ та способу його прокладання.

Допустима сила струму $I_{\text{прип}}^{\text{РЩ}}$ для жили КВ визначається з умови (п. 3.1.12 ПУЕ):

$$I_{\text{прип}}^{\text{РЩ}} \geq I_{\text{р}}^{\text{РЩ}}. \quad (8.34)$$

ЛЕКЦІЯ №10.ЗАЗЕМЛЕННЯ

Заземлення — це фундаментальний елемент електричної безпеки, який набуває особливої ваги в умовах воєнного стану в Україні. Воєнний стан, запроваджений з 24 лютого 2022 року у зв'язку з агресією російської федерації, створює надзвичайні умови, що підвищують ризики для життя людей, інфраструктури та обладнання. У таких обставинах надійне заземлення стає не просто технічним заходом, а життєво необхідним засобом захисту від електричних небезпек, що можуть виникнути через пошкодження електромереж, вибухи, пожежі та інші аварійні ситуації, характерні для воєнного часу.

Заземлення — це з'єднання електричного обладнання з землею, яке створює нейтральну точку для відведення надлишкового електричного струму в ґрунт. Це дозволяє уникнути ураження людей електричним струмом, захистити техніку від пошкоджень через перенапруги, а також запобігти пожежам і вибухам, що можуть виникнути внаслідок накопичення статичної електрики чи пробойів ізоляції. У період воєнного стану, коли системи електропостачання часто піддаються обстрілам, пошкодженням та перебоям, правильне заземлення забезпечує безпечну роботу електрообладнання навіть у складних умовах.

Особливу увагу слід приділити заземленню в мобільних і польових умовах, зокрема для військових об'єктів та тимчасових електромереж. Методики розрахунку і монтажу заземлюючих пристроїв у таких умовах мають враховувати специфіку воєнного часу, коли швидкість і надійність установки мають вирішальне значення для безпеки особового складу і техніки. Крім того, заземлення є важливим компонентом протипожежного захисту, оскільки воєнні дії значно підвищують ризик виникнення пожеж через обстріли та вибухи, і надійне заземлення допомагає мінімізувати ці небезпеки.

У психологічному аспекті поняття «заземлення» також використовується для позначення технік, що допомагають людині зосередитися на власному тілі і реальності, що є важливим для підтримання психічного здоров'я в умовах війни. Таким чином, заземлення має не лише технічне, а й психологічне значення у воєнний період.

Підсумовуючи, заземлення у період воєнного стану в Україні — це комплексний захід, що забезпечує:

- захист життя і здоров'я людей від електротравм;
- безпеку і стабільність роботи електрообладнання в умовах підвищених ризиків;
- запобігання аваріям, пожежам і вибухам;
- підтримку надійності інфраструктури, що є критично важливою під час військових дій;
- психологічну стабілізацію через техніки «заземлення» для військовослужбовців і цивільних.

З огляду на це, знання принципів заземлення, його правильне проектування і застосування є невід'ємною частиною забезпечення національної безпеки та життєдіяльності в умовах воєнного стану в Україні.

2.1. Класифікація електричних мереж за типом заземлення

Електрична мережа – сукупність електроустановок для передавання та розподілу електричної енергії, що складається з підстанцій, розподільних установок, струмопроводів, повітряних і кабельних ліній електропередавання, які працюють на певній території (визначення приведено в п. 1.2.6 ПУЕ).

Заземлення – виконання електричного з'єднання між визначеною точкою системи, установки або обладнання і заземлювальним пристроєм (визначення приведено в п. 1.7.22 ПУЕ). У більш широкому розумінні поняття «заземлення» означає виконання електричного з'єднання між визначеною точкою системи або установки чи обладнання і локальною землею. Під *локальною землею (зоною розтікання)* розуміють частину землі, яка перебуває в електричному контакті із заземлювачем і електричний потенціал якої не обов'язково дорівнює нулю (визначення приведено в п. 1.7.31 ПУЕ). З'єднання з локальною землею може бути навісним, ненавісним і випадковим, а також постійним або тимчасовим.

Заземленню підлягають:

- 1) корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників тощо;
- 2) приводи електричних апаратів;
- 3) вторинні обмотки трансформаторів струму і трансформаторів напруги, а також вторинні обмотки фільтрів приєднання височастотних каналів;
- 4) каркаси розподільних щитів, щитів керування, щитків і шаф, а також знімних частин або частин, які відкриваються, якщо на останніх установлене електрообладнання напругою понад 50 В змінного або 120 В постійного струму;
- 5) металеві і залізобетонні конструкції розподільних установок, шинопроводів (струмопроводів), металеві кабельні з'єднувальні муфти, металеві оболонки і броню контрольних і силових кабелів, металеві оболонки проводів, металеві рукави і труби електропроводки, кожухи, лотки, коробки, струни, троси і сталеві смуги, на яких прикріплено кабелі і проводи (крім струн, тросів і смуг, на яких прокладено кабелі, металеву оболонку чи броню яких з'єднано із захисним провідником), а також інші металеві основи, на яких установлюють електрообладнання;
- 6) металеві оболонки і броню контрольних, силових кабелів і проводів напругою, що не перевищує 50 В змінного або 120 В постійного струму, прокладених на спільних металевих конструкціях з кабелями і проводами більш високих напруг;
- 7) металеві корпуси пересувних і переносних електроприймачів;

8) металеві корпуси електрообладнання, встановленого на рухомих частинах верстатів, машин і механізмів.

У разі застосування автоматичного вимкнення живлення для захисту від ураження електричним струмом відкриті провідні частини, зазначені в переліках 1), 2), і 4) – 8), слід з'єднувати з РЕ-провідником відповідно до особливостей типу заземлення системи в електроустановках до 1 кВ. Відкриті провідні частини обладнання напругою понад 1 кВ і один з виводів вторинних обмоток трансформаторів струму і трансформаторів напруги, а також вторинні обмотки фільтрів приєднання високочастотних каналів (перелік 3) необхідно з'єднувати із захисним заземленням.

За призначенням заземлення поділяють за типами:

– *захисне заземлення* – заземлення точки або точок системи, установки або обладнання з метою забезпечення електробезпеки;

– *функціональне (робоче) заземлення* – заземлення точки або точок системи, установки або обладнання, не пов'язане з електробезпекою (наприклад, для забезпечення електромагнітної сумісності (визначення приведено в п. 1.7.22 ПУЕ).

Захисне заземлення виконується при напрузі більше 50 В змінного та 120 В постійного струму (п. 1.7.56 ПУЕ).

Функціональне (робоче) заземлення спрямоване на запобігання виникненню іскрових розрядів на заземлений предмет і є важливим з погляду пожежної безпеки.

Тип заземлення системи – позначення, яке характеризує влаштування нейтрального провідника (N-провідника) або провідника середньої точки (M-провідника) і з'єднання з землею струмовідних частин джерела живлення та відкритих провідних частин в електроустановках напругою до 1 кВ (визначення приведено в п. 1.7.26 ПУЕ).

В Україні відповідно до ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93) «Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики» прийнято такі позначення типу заземлення системи: TN, TN-S, TN-C, TN-C-S, TT, IT.

Буквенні позначення типу заземлення системи означають:

Перша буква – характер заземлення джерела живлення. Позначається буквами англійського алфавіту «Т» або «І». Буква «Т» (від англійського слова «terra» – земля) означає безпосереднє приєднання однієї точки струмовідних частин джерела живлення до заземлювального пристрою. У трифазних мережах такою точкою, як правило, є нейтраль джерела живлення (якщо нейтраль не доступна, то заземлюють фазний провідник), у трипровідних мережах однофазного струму і постійного струму – середня точка, а у двопровідних мережах – один з виводів джерела однофазного струму або один з полюсів джерела постійного струму. Буква «І» (від англійського слова «isolated» – ізолюваний) означає, що усі струмовідні частини джерела живлення ізолювано від землі або одну точку заземлено через великий опір (наприклад, через опір приладів контролю ізоляції).

Друга буква – характер заземлення відкритих провідних частин електроустановки. Позначається буквами англійського алфавіту «N» або «T».

Буква «N» (від англійського слова «neutral» – нейтраль) означає безпосередній зв'язок відкритих провідних частин електроустановки з точкою заземлення джерела живлення. Буква «T» (від англійського слова «terra» – земля) означає безпосередній зв'язок відкритих провідних частин із землею незалежно від характеру зв'язку джерела живлення із землею.

Наступні букви – в системі TN позначають влаштування нейтрального N- і захисного РЕ-проводників. Позначається буквами англійського алфавіту «S» або «C». Літера «S» (від англійського слова «separate» – розділяти) означає, що функції N- і РЕ- проводників виконують окремі проводники. Буква «C» (від англійського слова «combine» – об'єднувати) означає, що функції N- і РЕ- проводників виконує один PEN-проводник.

Вважається, що системи TN, TT і IT, у разі належного дотримання правил монтажу і експлуатації, еквівалентні стосовно захисту людини від ураження електричним струмом. Вибір тієї чи іншої системи визначається за сукупністю ряду факторів, основними з яких є: тип приміщень, в яких розташовано електроустановку, наявність у них вибухонебезпечних і пожежонебезпечних зон; безперервність живлення; електромагнітна сумісність електрообладнання; умови експлуатації тощо (визначення приведені в п. 1.7.26 ПУЕ).

Система TN – система, в якій мережа живлення має глухе заземлення однієї точки струмовідних частин джерела живлення, а електроприймачі і відкриті провідні частини електроустановки приєднуються до цієї точки за допомогою відповідно N- або M- і захисного РЕ- проводників. Мережа живлення системи TN також називається «мережа із глухозаземленою нейтраллю» (визначення приведено в п. 1.7.26 ПУЕ).

Система TN-S – система TN, в якій N- або M- і РЕ- проводники розділено по всій мережі. Приклад системи TN-S в електроустановках трифазного струму при з'єднанні обмоток джерела «зіркою» подано на рис. 2.1.

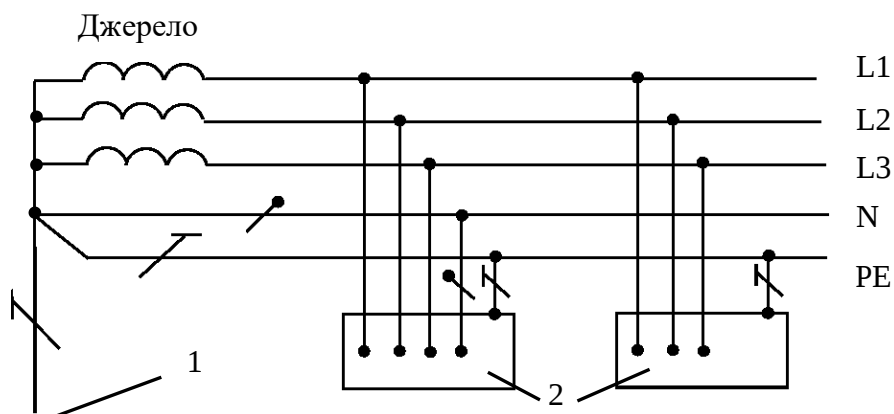


Рис. 2.1 – Система TN-S в електроустановках трифазного струму при з'єднанні обмоток джерела "зіркою"

1 – заземлювач джерела живлення; 2 – відкриті провідні частини

Система TN-C – система TN, в якій N- або M- і РЕ- проводники

поєднано в одному PEN-провіднику по всій мережі. Приклад системи TN-C в електроустановках трифазного струму при з'єднанні обмоток джерела "зіркою" подано на рис. 2.2.

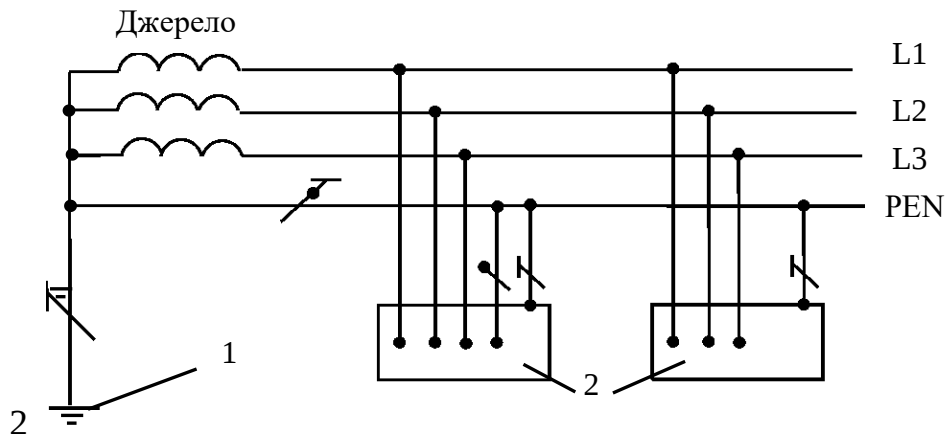


Рис. 2.2 – Система TN-C в електроустановках трифазного струму при з'єднанні обмоток джерела «зіркою»

1 – заземлювач джерела живлення; 2 – відкриті провідні частини

Система TN-C-S – система TN, в якій N- або М- і РЕ- провідники поєднано в одному провіднику в частині мережі, починаючи від джерела живлення. Приклад системи TN-C-S в електроустановках трифазного струму при з'єднанні обмоток джерела "зіркою" подано на рис. 2.3.

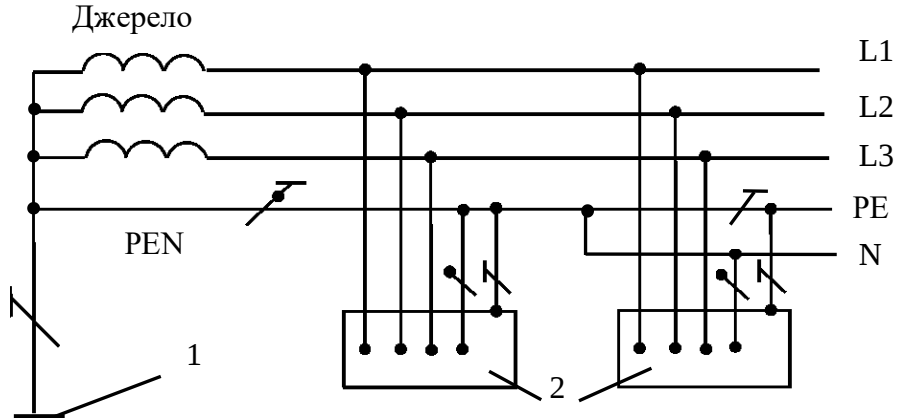


Рис. 2.3 – Система TN-C-S в електроустановках трифазного струму при з'єднанні обмоток джерела «зіркою»

1 – заземлювач джерела живлення; 2 – відкриті провідні частини

Система TT – система, одну точку струмовідних частин джерела живлення якої заземлено, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до РЕ-провідника, з'єднаного із заземлювачем, електрично незалежним від заземлювача, до якого приєднано точку струмовідних частин джерела живлення. Приклад системи TT в електроустановках трифазного струму при з'єднанні обмоток джерела «зіркою» подано на рис. 2.4.

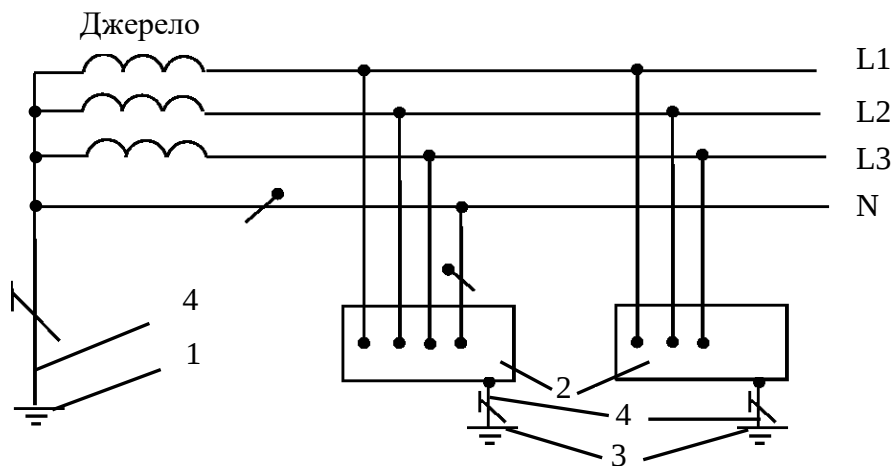


Рис. 2.4 – Система ТТ в електроустановках трифазного струму при з'єднанні обмоток джерела «зіркою»

1 – заземлювач джерела живлення; 2 – відкриті провідні частини; 3 – заземлювач відкритих провідних частин; 4 – захисний заземлювальний провідник

Система ІТ – система, в якій мережу живлення ізолювано від землі чи заземлено через прилади або (і) пристрої, що мають великий опір, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до заземленого РЕ-провідника. Мережа живлення системи ІТ також називається «мережа з ізолюваною нейтраллю». Приклад системи ІТ в електроустановках трифазного струму приведено на рис. 1.5 (визначення приведені в п. 1.7.26 ПУЕ).

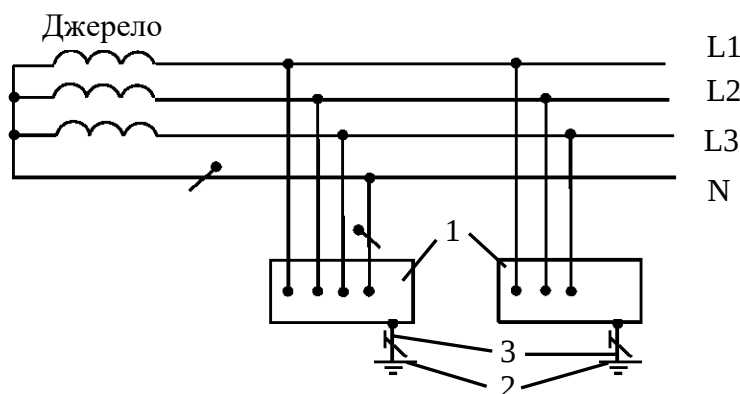


Рис. 2.5 – Система ІТ в електроустановках трифазного струму

1 – відкриті провідні частини; 2 – заземлювач відкритих провідних частин; 3 – захисний заземлювальний провідник

До 2006 року ПУЕ застосовувалося поняття «занулення». *Занулення* – навмисне електричне з'єднання частин електроустановки, які нормально не знаходяться під напругою, з нейтральним провідником трифазної чотирипровідної мережі з глухозаземленою нейтраллю. У сучасному

розумінні занулення еквівалентне системі TN-C-S.

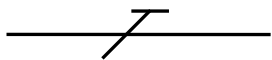
На рисунках 2.1-2.5 провідники електричної мережі позначаються наступним чином:

– *L-провідник* – *лінійний (фазний) провідник* (для трифазної мережі L1, L2, L3) – провідник, який у нормальному режимі роботи електроустановки перебуває під напругою і використовується для передавання і розподілу електричної енергії, але не є провідником середньої точки або нейтральним провідником (визначення приведені в п. 1.7.5 ПУЕ). Простіше кажучи, лінійний (фазний) провідник підводить електричну енергію від початку відповідної обмотки генератора до споживача;

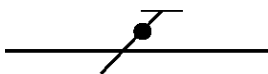
– *N-провідник* – *нейтральний провідник* – провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, електрично з'єднаний з нейтральною точкою джерела живлення, який використовують для розподілу електричної енергії. *Нейтральна точка* джерела живлення – спільна точка з'єднаної в зірку багатофазної системи або заземлена точка однофазної системи. Нейтральний провідник на схемах позначається літерою N;



**Рис. 8.6 – Позначення
N-провідника
(М-провідника)
на електричних схемах**



**Рис. 8.7 – Позначення
РЕ-провідника на
електричних схемах**



**Рис. 8.8 – Позначення
PEN-провідника на
електричних схемах**

– *M-провідник* – *провідник середньої точки* (системи постійного струму) – провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, електрично з'єднаний із середньою точкою джерела живлення, який використовується для розподілу електричної енергії (визначення приведені в п. 1.7.24 ПУЕ). Умовне позначення N-провідника (М-провідника) на електричних схемах приведено на рис. 8.6;

– *РЕ-провідник* («*protective earthing*» – *захисне заземлення*) – *захисний провідник* – провідник призначений для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у випадку пошкодження ізоляції (наприклад, провідник для з'єднання відкритих провідних частин із заземлювачем, заземлювальним провідником, іншими відкритими провідними частинами, сторонніми провідними частинами, заземленою струмовідною частиною, глухозаземленою нейтральною точкою джерела живлення тощо) (визначення приведені в п. 1.7.23 ПУЕ). Умовне

позначення РЕ-провідника на електричних схемах приведено на рис. 8.7;

– *PEN-провідник* – провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, який поєднує в собі функції захисного (РЕ-) та нейтрального (N-) провідників (визначення приведені в п. 1.7.25 ПУЕ). Умовне позначення PEN-провідника на електричних схемах приведено на рис. 8.8.

Примітка. Терміни «нейтральний» і «захисний» провідники в системі TN є синонімами відповідних термінів «нульовий робочий» і «нульовий захисний» провідники, які були в попередніх нормативних документах

України і не відповідали термінам міжнародних стандартів.

Відповідно до національного стандарту ДСТУ ІЕС 60173 застосовується наступне колірне позначення провідників трифазної мережі: N-провідник – блакитний колір, PE-провідник – жовтий колір із зеленою подовжньою смугою (один колір повинен покрити не менше 30 % поверхні жили, інший колір – решту поверхні), PEN-провідник – блакитний колір із подовжніми смугами жовтого і зеленого кольорів. Для позначення лінійних (фазних) провідників L1, L2, L3 рекомендується застосовувати чорний або коричневий кольори (для відрізнєння третього лінійного (фазного) провідника інколи застосовують його позначення чорним кольором із подовжньою смугою білого кольору шириною не більше 5 % поверхні провідника). Кольори червоний, зелений, жовтий, сірий, білий застосовувати для позначення лінійних (фазних) провідників не рекомендується.

В якості захисних провідників в електроустановках напругою до 1 кВ можна використовувати:

- 1) спеціально передбачені для цього провідники:
 - жили багатожильних кабелів і проводів;
 - ізолювані або неізолювані провідники, прокладені в огорожувальній конструкції (трубі, коробі, лотку) спільно з фазними провідниками лінії живлення;
 - стаціонарно прокладені ізолювані або неізолювані провідники;
- 2) відкриті провідні частини:
 - металеві оболонки і екрани кабелів та проводів;
 - металеві оболонки і опорні конструкції комплектних пристроїв і шино проводів, які входять до складу електроустановки напругою до 1 кВ;
 - металеві коробки і лотки електропроводок, якщо їх конструкція допускає таке використання і це зазначено в документації виробника;
 - металеві труби електропроводок;
- 3) деякі сторонні провідні частини:
 - металеві конструкції будівель і споруд (ферми, колони тощо);
 - сталеву арматуру залізобетонних будівельних конструкцій будівель і споруд;
 - металеві конструкції виробничого призначення (підкранові рейки, галереї, площадки, шахти ліфтів і підйомників, обрамлення каналів тощо).

Провідники, спеціально передбачені як захисні, не можна використовувати з іншою метою (див. 1.7.131 ПУЕ).

Не допускається використовувати в якості захисних провідників такі провідні частини:

- труби газопостачання та інші трубопроводи горючих або вибухонебезпечних речовин і сумішей;
- труби водопостачання, каналізації та центрального опалення;
- несучі троси для тросової проводки;
- свинцеві оболонки кабелів і проводів;
- конструктивні частини, які можуть зазнавати механічного

пошкодження в нормальних умовах експлуатації;

- металеві оболонки ізоляційних трубок і трубчастих проводів, метало рукави тощо (див. 1.7.133 ПУЕ).

Захисний провідник, якщо він входить до складу лінії (кабелю, проводу), що живить обладнання, не допускається використовувати для виконання функцій захисного провідника обладнання, яке отримує живлення від іншої лінії. Також не допускається використовувати відкриті провідні частини електрообладнання як РЕ-провідники для іншого обладнання. Винятком є оболонки і опорні конструкції комплектних пристроїв і комплектних шино проводів, якщо є можливість приєднання до них захисних провідників у потрібному місці (див. 1.7.134 ПУЕ).

Ізоляція захисних провідників не вимагається. Проте, в місцях, де можливе пошкодження ізоляції фазних провідників через іскріння між неізольованим захисним провідником і металевою оболонкою або конструкцією, в якій прокладено захисний і фазні провідники (наприклад, у разі прокладання провідників у трубах, коробах, лотках), захисні провідники повинні мати ізоляцію, рівноцінну з фазними провідниками (див. 1.7.135 ПУЕ).

РЕ-провідники необхідно, як правило, прокладати в спільній оболонці з фазними провідниками або поряд з ними (див. 1.7.136 ПУЕ).

Захисні провідники допускається прокладати в землі, у підлозі, по краю фундаментів технологічних установок тощо. Не допускається прокладати в землі неізольовані алюмінієві захисні провідники (див. 1.7.141 ПУЕ).

У сухих приміщеннях без агресивного середовища захисні провідники можна прокладати безпосередньо по стінах. У вологих, сирих і особливо сирих приміщеннях, а також у приміщеннях з агресивним середовищем захисні провідники необхідно прокладати на відстані від стін, не меншій ніж 10 мм (див. 1.7.142 ПУЕ).

Неізольовані захисні провідники слід захищати від корозії. У місцях перетину їх з кабелями, трубопроводами тощо, а також у місцях їх введення в будівлі, переходу крізь стіни і перекриття вони повинні бути захищені від механічних пошкоджень. У місцях перетину температурних і осадових швів треба передбачати компенсацію їх довжини (див. 1.7.143 ПУЕ).

2.2. Улаштування заземлення

Улаштування заземлення регламентується вимогами глави 1.7 «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» ПУЕ.

Заземлення здійснюється за допомогою заземлювального пристрою.

Заземлювальний пристрій - сукупність електрично з'єднаних між собою заземлювача і заземлювальних провідників, включаючи елементи їх з'єднання (визначення приведено в п. 1.7.21 ПУЕ).

Заземлювальний провідник – провідник, який з'єднує заземлювач з визначеною точкою системи або електроустановки чи обладнання (визначення приведено в п. 1.7.20 ПУЕ).

Заземлювач – провідна частина (провідник) або сукупність з'єднаних між собою провідних частин (провідників), які перебувають в електричному контакті із землею безпосередньо або через проміжне провідне середовище, наприклад, бетон (визначення приведено в п. 1.7.16 ПУЕ).

Для заземлення електроустановок використовуються штучні і природні заземлювачі.

Природний заземлювач – провідна частина, яка крім своїх безпосередніх функцій, одночасно може виконувати функції заземлювача (наприклад, арматура фундаментів та інженерних комунікацій будівель і споруд, підземна частина металевих і залізобетонних опор повітряних ліній тощо) (визначення приведено в п. 1.7.18 ПУЕ).

Як природні заземлювачі можна використовувати:

- металеві та залізобетонні конструкції будівель і споруд, які перебувають у контакті із землею, у тому числі залізобетонні фундаменти у неагресивних, слабоагресивних і середньоагресивних середовищах;
- підземні частини залізобетонних і металевих опор повітряних ліній електропередавання, у тому числі фундаменти опор, за відсутності гідроізоляції залізобетону полімерними матеріалами;
- свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі;
- металеві трубопроводи, прокладені у землі (крім трубопроводів горючих рідин, каналізації, опалення та комунального водопроводу);
- інші провідні частини, які є придатними для цілей заземлення і не можуть бути навіть тимчасово демонтовані без відома персоналу, який експлуатує електроустановку;
- заземлювачі опор повітряних ліній електропередавання, з'єднані із заземлювальним пристроєм електроустановки за допомогою грозозахисного троса, якщо трос не ізолювано від опор лінії;
- заземлювачі опор повітряних ліній електропередавання напругою до 1 кВ, з'єднані PEN-провідником із заземлювальним пристроєм джерела живлення за кількості ліній не меншої, ніж дві;
- рейки магістральних неелектрифікованих залізниць під'їзних колій за наявності перемичок між рейками (див. 1.7.115 ПУЕ).

Не допускається використовувати як природні заземлювачі діючі трубопроводи горючих рідин, горючих або вибухонебезпечних газів і сумішей. Не слід також використовувати як природні заземлювачі труби каналізації, опалення та водопроводу. Проте ці вимоги не виключають необхідності приєднання цих трубопроводів і труб в електроустановках напругою до 1 кВ до основної системи зрівнювання потенціалів. Не слід також використовувати як природні заземлювачі залізобетонні конструкції будівель і споруд з попередньо напруженою арматурою, проте це обмеження не поширюється на опори повітряних ліній електропередавання і опорні конструкції відкритих розподільних пристроїв.

Можливість використання природних заземлювачів за умовою густини струму, який протікає по них, необхідність зварювання арматурних стержнів залізобетонних фундаментів та інших будівельних конструкцій,

приварювання анкерних болтів до арматурних стержнів залізобетонних фундаментів, а також можливість використання фундаментів у сильно агресивних середовищах мають визначатися за допомогою розрахунків (див. 1.7.116 ПУЕ).

Використання природних заземлювачів як елементів заземлювальних пристроїв не має призводити до їх пошкодження струмами коротких замикань або до порушення роботи пристроїв, з якими їх пов'язано. Якщо в разі використання природних заземлювачів напруга дотику не перевищує допустимі значення, а також забезпечуються нормовані значення напруги на заземлювальному пристрої (опору заземлювального пристрою) і допустима густина струму в природних заземлювачах, то обладнувати штучні заземлювачі для електроустановки не обов'язково.

Штучний заземлювач – заземлювач, який спеціально виконують з метою заземлення (визначення приведено в п. 1.7.17 ПУЕ). Улаштування штучного заземлювача пояснюється на рис. 2.9.

Штучний заземлювач складається з певної кількості вертикальних електродів 1, занурених у землю (рис. 2.9,а). Вертикальні електроди з'єднуються між собою горизонтальним електродом 2 за допомогою зварювання. Вертикальні електроди можуть розташовуватися в ряд (рис. 2.9,б) або по контуру (рис. 2.9,в). Горизонтальний електрод 3 занурюється у ґрунт на глибину 0,5÷0,8 м від планувальної відмітки землі. Цехова шина заземлення приєднується до заземлювача не менше, ніж двома заземлювальними провідниками 3. З'єднання заземлювальних провідників між собою, а також із заземлювачами і конструкціями, що заземлюються, виконується, як правило, зварюванням, а з корпусами апаратів, машин та іншого устаткування - зварюванням або за допомогою болтів.

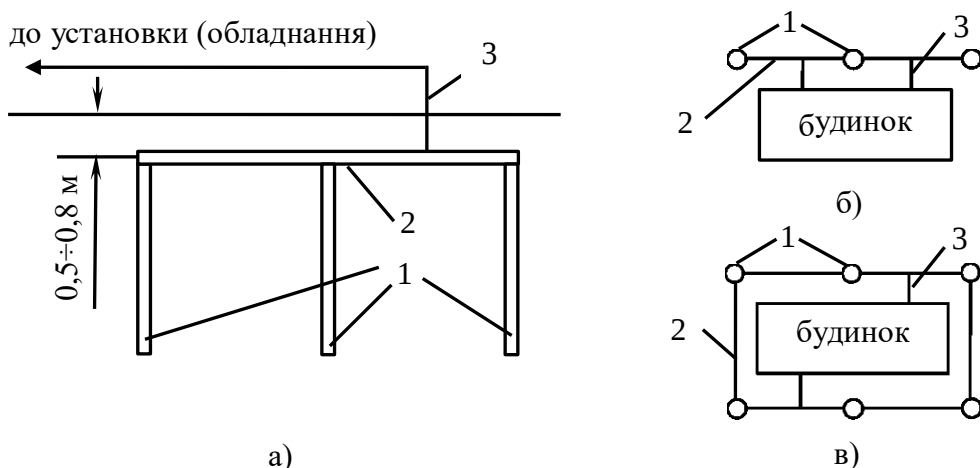


Рис. 2.9 – Улаштування штучного заземлювача

а – підземна частина, б – розташування вертикальних електродів у ряд (вид зверху), в – розташування вертикальних електродів по контуру (вид зверху)

1 – вертикальні електроди; 2 – горизонтальний електрод; 3 –

заземлювальний провідник

Примітка. Звернути увагу на колір заземлювального провідника!

За радянськими ПТЕ заземлювальна шина фарбувалася у чорний колір або під колір панелей.

У ПТЕЕС затверджених Наказом № 2588 Мінпаливноенерго України від 25.07.2006 р. колір не вказаний.

У ДБН В.2.5-23-2003 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» в розділі 12 «Захисні заходи електробезпеки» в п.12.28 приведено: «Головна заземлююча шина повинна бути позначена на обох кінцях поздовжніми або поперечними смугами жовто-зеленого кольору однакової ширини».

У МЭК 446-89 приведено: «Для защитного проводника следует применять комбинации зеленого и желтого цветов. Зелено-желтая комбинация должна использоваться только для идентификации защитного проводника. Неизолированные проводники, используемые в качестве нулевых защитных проводников, должны быть окрашены полосами одинаковой ширины зеленого и желтого цветов шириной от 15 до 100 мм, прилегающими друг к другу, либо по всей длине каждого проводника, либо в каждом отсеке или блоке, либо в любом доступном месте. В случае использования клейкой ленты следует применять только двухцветную ленту».

Для виготовлення вертикальних електродів (рис. 2.10, а) застосовують наступні матеріали:

- кругла сталь (чорна без покриття, з гарячо-оцинкованим покриттям товщиною не менше 70 мкм, неіржавіюча) діаметром не менше 16 мм;
- кругла сталь діаметром не менше 14 мм з гальванічним мідним покриттям товщиною не менше 250 мкм;
- кругла мідь діаметром не менше 12 мм;
- мідна прямокутна штаба з товщиною стінки не менше 2 мм та перерізом не менше 50 мм²;
- мідна труба діаметром не менше 20 мм з товщиною стінки не менше 2 мм;
- мідний багатодротовий канат діаметром не менше 1,8 мм для кожного дроту перерізом не менше 35 мм².

Для виготовлення горизонтальних електродів (рис. 2.10, б; 2.10, в) застосовують наступні матеріали:

- чорна сталь без покриття: кругла діаметром не менше 10 мм, прямокутна штаба або профіль перерізом не менше 100 мм² з товщиною стінки не менше 4 мм;
- сталь з гарячо-оцинкованим покриттям: кругла діаметром не менше 10 мм та товщиною покриття не менше 50 мкм, прямокутна штаба або профіль перерізом не менше 90 мм² з товщиною стінки не менше 3 мм та товщиною покриття не менше 70 мкм;
- кругла сталь з гальванічним мідним покриттям діаметром не менше 10 мм та товщиною покриття не менше 250 мкм;
- неіржавіюча сталь: кругла діаметром не менше 10 мм, прямокутна штаба або профіль перерізом не менше 90 мм² з товщиною стінки не менше 3 мм;
- кругла мідь діаметром не менше 12 мм;
- мідна прямокутна штаба з товщиною стінки не менше 2 мм та перерізом не менше 50 мм²;
- мідна труба діаметром не менше 20 мм з товщиною стінки не менше 2 мм;
- мідний багатодротовий канат діаметром не менше 1,8 мм для кожного дроту перерізом не менше 35 мм².

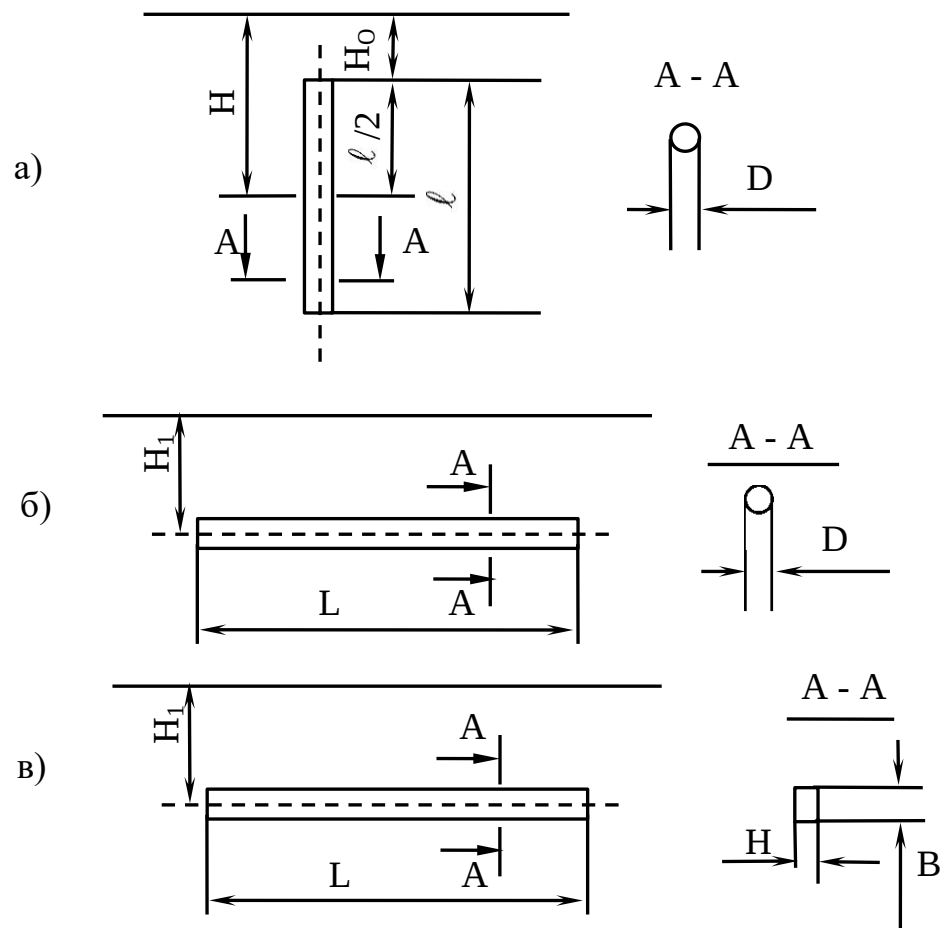


Рис. 2.10 – Елементи штучного заземлювача: а – круглий вертикальний електрод, б – круглий горизонтальний електрод, в – горизонтальний електрод з прямокутної штаби

Штучні заземлювачі не слід фарбувати. Заземлювачі з чорної сталі, як правило, не слід використовувати в сильно агресивному середовищі. У цьому випадку рекомендовано застосовувати мідні заземлювачі або заземлювачі із сталі з мідним гальванічним покриттям.

Траншеї для горизонтальних заземлювачів необхідно заповнювати однорідним ґрунтом, який не містить у собі щебеню і будівельного сміття. Не слід розташовувати заземлювачі в місцях, де земля підсушується штучним нагріванням, поблизу трубопроводів.

Заземлювальні пристрої мають бути механічно міцними та динамічно стійкими до струмів замикання на землю і термічно не пошкоджуватися під час протікання зазначених струмів. Матеріал і переріз заземлювачів мають забезпечувати їх стійкість до корозії на весь термін експлуатації.

2.3. Нормативні параметри заземлювальних пристроїв

Основним параметром заземлювального пристрою, що регламентується ПУЕ та іншими нормативними документами, є опір

розтіканню струму промислової частоти. Опір визначається призначенням заземлювального пристрою.

Електроустановки напругою до 1 кВ у електричних мережах із глухозаземленою нейтраллю. В електроустановках з глухозаземленою нейтраллю нейтральну або середню точку чи один з виводів джерела живлення необхідно надійно приєднувати до заземлювача за допомогою заземлювального провідника.

Не допускається використовувати PEN- (PE- або N-) провідники, які з'єднують нейтраль з розподільним щитом, як заземлювальні.

Опір заземлювального пристрою, до якого приєднано нейтраль джерела живлення або виводи джерела однофазового струму в електроустановках з глухозаземленою нейтраллю, у будь-яку пору року, *не повинен перевищувати 2, 4 і 8 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму.* Цей опір необхідно забезпечувати з урахуванням використання всіх заземлювачів, приєднаних до PEN-(PE-) провідника, якщо кількість відвідних ліній не менше двох. Лінія з найбільшою кількістю заземлювачів, приєднаних до PEN-(PE-) провідника, не враховується. Опір заземлювача, до якого безпосередньо приєднують нейтраль джерела трифазного струму або виводи джерела однофазного струму, має бути *не більшим за 15, 30 і 60 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму* (див. 1.7.92 ПУЕ).

На початках та на кінці повітряних ліній електропередавання як з неізолюваними, так і з самоутримними ізолюваними проводами або відгалужень від них довжиною понад 200 м слід влаштовувати повторні заземлення провідника зі значенням опору *не більшим за 15, 30 і 60 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму.* У першу чергу необхідно використовувати провідні заземлювачі (підземні частини залізобетонних і металевих опор), а також заземлювачі, призначені для захисту від грозових перенапруг. Зазначені повторні заземлення виконують тільки в тому разі, якщо на повітряних лініях відсутні заземлювачі, призначені для захисту від грозових перенапруг, або їх недостатньо для виконання умови, зазначеної вище.

Повторні заземлення PEN-провідника в мережах постійного струму слід влаштовувати із застосуванням окремих штучних заземлювачів. Вони не повинні мати металевих з'єднань з підземними трубопроводами (див. 1.7.93 ПУЕ).

На вводі електроустановки будинку (будівлі), в якій для захисту від непрямого дотику застосовується автоматичне вимкнення живлення, за рішенням власника будинку (будівлі) рекомендовано влаштовувати повторне заземлення PEN-(PE-) провідника, опір якого має бути не більше ніж 30 Ом. Для цього, перш за все, слід використовувати природні заземлювачі (арматуру фундаменту, з'єднану між собою безперервно – для будинків, що

проектуються чи будуються) та заземлювачі блискавкозахисту будинку. Якщо блискавкозахист будинку не виконується і безпосередньо біля нього відсутні природні заземлювачі, то роль повторного заземлювача на вводі до електроустановки будинку може виконувати повторний (блискавкозахисний) заземлювач PEN-(PE-) провідника, встановлений на повітряній лінії живлення, якщо відстань між ними і ввідно-розподільним пристроєм електроустановки не перевищує 60 м.

Встановлена на фасаді будинку або на опорі ПЛ будь-яка металева шафа з електрообладнанням, яка обслуговується безпосередньо з поверхні землі (наприклад, шафа на вводі в будинок з комутаційно-захисним пристроєм і лічильником енергії), повинна бути з'єднана з PE- провідником електроустановки і провідником системи вирівнювання потенціалів, яка виконується шляхом закладання в землю (на глибину 0,5-0,7 м і відстань один метр від шафи) провідника із чорної сталі діаметром не менш ніж 10 мм. У разі асфальтного або бетонного покриття землі закладення в землю провідника для вирівнювання потенціалів можна не виконувати (див. 1.7.94 ПУЕ).

Сумарний опір усіх заземлювачів, у будь-яку пору року, *не повинен перевищувати 5, 10 і 20 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму*. Опір кожного з повторних заземлювачів має бути *не більшим ніж 15, 30 і 60 Ом відповідно для тієї самої напруги* (див. 1.7.95 ПУЕ).

У районах з питомим опором землі $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ допускається одночасно збільшувати зазначені в 1.7.92 і 1.7.95 ПУЕ значення опору заземлення в 0,01 ρ разів, але не більше ніж в 10 разів, за винятком мереж, в яких заземлювальний пристрій, до якого приєднано нейтраль джерела живлення, використовують одночасно для електроустановок напругою до і понад 1 кВ. В останньому випадку збільшення опору можливе лише до значення, за яким напруга на заземлювальному пристрої не перевищує допустиму напругу (див. 1.7.96 ПУЕ).

Опір заземлювального пристрою, що застосовується виключно для захисту від розрядів статичної електрики, не повинен перевищувати 100 Ом (регламентується нормативним документом НПАОП 40.1-1.21).

Опір заземлювального пристрою, що застосовується у складі блискавковідводу, не повинен перевищувати результати відповідних вимірів під час приймання блискавкозахисту в експлуатацію більш ніж у 5 разів (регламентується національним стандартом ДСТУ Б В.2.5-38).

Електроустановки напругою до 1 кВ у електричних мережах із ізолюваною нейтраллю. Опір заземлювального пристрою в електроустановках з ізолюваною нейтраллю не повинен перевищувати:

- 4 Ом в електроустановках змінного струму в разі потужності джерела живлення, більшої ніж 100 кВА;

- 10 Ом в електроустановках змінного струму в разі потужності джерела живлення або сумарної потужності паралельно працюючих джерел живлення до 100 кВА і у всіх електроустановках постійного струму (див. 1.7.97 ПУЕ).

Електроустановки в місцевостях з питомим опором землі більше 500 Ом·м. У разі спорудження штучних заземлювачів на території електроустановки в місцевостях з питомим опором землі більше 500 Ом·м рекомендовано вживати таких заходів:

- улаштування вертикальних заземлювачів збільшеної довжини, якщо з глибиною питомий опір землі зменшується, а природні заглиблені заземлювачі (наприклад, свердловини з обсадними металевими трубами) відсутні;

- улаштування виносних заземлювачів, якщо поблизу від електроустановки є місця з меншим питомим опором землі;

- застосування штучного оброблення ґрунту з метою зниження його питомого опору, якщо інші заходи не можуть бути застосовані або не дають необхідного ефекту (див. 1.7.112 ПУЕ).

Для електроустановок з ізольованою нейтраллю якщо заходи, передбачені п. 1.7.112 ПУЕ, не дають змоги отримати прийнятні за економічними показниками заземлювачі, допускається збільшувати встановлені значення опорів заземлювальних пристроїв у 0,02р рази, але не більше ніж у 10 разів (див. 1.7.113 ПУЕ).

Заземлювальні пристрої електроустановок напругою понад 1 кВ із глухозаземленою нейтраллю слід, як правило, влаштовувати за вимогами до напруги дотику. За наявності природних заземлювачів з малим опором допускається здійснювати їх за нормами до опору.

У скельних структурах допускається прокладати горизонтальні заземлювачі на глибині, не меншій ніж 0,15 м (див. 1.7.114 ПУЕ).

2.4. Експертний розрахунок штучного заземлювача

У своїй роботі особовий склад і працівники органів і підрозділів цивільного захисту повинні вміти виконувати експертизу правильності проекту заземлювача. Мета розрахунку – перевірити правильність вибору кількості і довжини вертикальних електродів, довжини горизонтального електрода і розміщення їх на плані, виходячи з регламентованого нормативними документами припустимого значення опору R_n .

Одним з методів перевірконого розрахунку заземлювача є *метод коефіцієнтів використання*. Порядок перевірконого розрахунку наступний:

1. Визначається допустимий нормативний опір заземлювача R_n , [Ом].
2. Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{гр}} \cdot \psi, [\text{Ом} \cdot \text{м}] \quad (2.1)$$

де $\rho_{\text{гр}}$ – питомий опір ґрунту, [Ом·м]; ψ – кліматичний коефіцієнт опору ґрунту, що враховує можливе підвищення опору ґрунту протягом року у порівнянні із заданим значенням $\rho_{\text{гр}}$ (визначається за таблицею 8.1).

Таблиця 2.1 – Питомі опори ґрунтів та розрахунковий кліматичний коефіцієнт опору ґрунту

Ґрунт	Середній питомий опір $\rho_{\text{гр}}$, Ом·м	Значення ψ за середньої вологості ґрунту
Пісок	700	1,56
Супісок	400	1,52
Суглинок	150	1,5
Глина	70	1,36
Чорнозем	40	1,32

3. Визначається опір розтіканню струму одного вертикального електрода (рис. 2.10). Для вертикального електрода, виготовленого із круглої сталі, при $H_0 > 0,5 \text{ м}$ і $d > d$ (умовні позначення приведено на рис. 2.10):

$$R_1 = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot d} \left(\ln \frac{2 \cdot L}{d} + \frac{4 \cdot H}{5 \cdot H} \right), [\text{Ом}]. \quad (2.2)$$

4. Знаючи проектну кількість вертикальних електродів і схему їх розміщення на плані (ряд або контур), відношення відстані між електродами до їх довжини (звичайно дорівнює 1, 2 або 3), з таблиці 2.2 визначається коефіцієнт використання вертикальних електродів η_v .

5. Розраховується опір горизонтального електрода R_r^1 за однією з формул:

– якщо горизонтальний електрод виготовлений із круглої сталі (при $\frac{L}{H_1} \geq 5$):

$$R_r^1 = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{L^2}{d \cdot H_1}, [\text{Ом}]; \quad (2.5)$$

– якщо горизонтальний електрод виготовлений зі сталевий прямокутної штаби (при $\frac{L}{H_1} \geq 5$):

$$R_r^1 = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot H_1}, [\text{Ом}]. \quad (2.6)$$

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт використання вертикальних електродів

Відношення відстані між електродами до їх довжини	При розміщенні в ряд		При розміщенні по контуру	
	Кількість електродів n	η_B	Кількість електродів n	η_B
1	2	0,84-0,87	4	0,66-0,72
	3	0,76-0,8	6	0,58-0,65
	5	0,67-0,72	10	0,52-0,58
	10	0,56-0,62	20	0,44-0,5
	15	0,51-0,56	40	0,38-0,44
	20	0,47-0,5	60	0,36-0,42
2	2	0,9-0,92	4	0,76-0,8
	3	0,85-0,88	6	0,71-0,75
	5	0,79-0,83	10	0,66-0,71
	10	0,72-0,77	20	0,61-0,66
	15	0,66-0,75	40	0,55-0,61
	20	0,65-0,7	60	0,52-0,58
3	2	0,93-0,95	4	0,84-0,86
	3	0,90-0,92	6	0,78-0,82
	5	0,85-0,88	10	0,74-0,75
	10	0,79-0,83	20	0,68-0,73
	15	0,76-0,80	40	0,64-0,69
	20	0,74-0,79	60	0,62-0,67

6. Сумарна довжина горизонтального електрода L визначається виходячи з відстані між вертикальними електродами a та їх кількості n .

При розташуванні вертикальних електродів по контуру:

$$L = 1,05 \cdot a \cdot n, [\text{м}]; \quad (2.7)$$

при розташуванні вертикальних електродів у ряд:

$$L = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1), [\text{м}]. \quad (2.8)$$

7. Уточнюється величина опору горизонтального електроду з урахуванням його коефіцієнта використання η_r (визначається за таблицею 2.3):

$$R_r = \frac{R_r^1}{\eta_r}, [\text{Ом}]. \quad (2.9)$$

8. Визначається максимально допустимий опір одного вертикального електрода:

$$R_B = \frac{R_\Gamma \cdot R_H}{R_\Gamma - R_H}, [\text{Ом}]. \quad (2.10)$$

9. З урахуванням величини коефіцієнта використання вертикальних електродів перевіряється їх мінімально допустима кількість:

$$n = \frac{R_1}{\eta_B \cdot R_B}, \quad (2.11)$$

яка порівнюється з проектними даними.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт використання горизонтального електрода

Відношення відстані між вертикальними електродами до їх довжини	Кількість вертикальних електродів						
	4	8	10	20	30	50	60
При розташуванні вертикальних електродів у ряд							
1	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,20
2	0,89	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,27
3	0,92	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,36
При розташуванні вертикальних електродів по контуру							
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20
2	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,27
3	0,7	0,6	0,56	0,45	0,41	0,37	0,36

2.5. Експлуатація заземлення

Експлуатація заземлення здійснюється за вимогами нормативного документа "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів".

На кожен заземлювальний пристрій, що знаходиться в експлуатації, складається *паспорт*, який повинен містити:

- дату введення заземлювального пристрою в експлуатацію;
- виконавчу схему заземлювального пристрою;
- основні технічні характеристики заземлювального пристрою;
- дані про результати перевірок стану заземлювального пристрою;
- відомість оглядів і виявлених дефектів заземлювального пристрою;
- характер ремонтів і змін, унесених у заземлювальний пристрій.

При експлуатації контролю підлягає опір заземлювача. Вимірювання опору заземлювача електроустановок слід проводити після монтажу, переобладнання, ремонтів цих пристроїв, але не рідше, ніж *один раз на 12 років*, а в умовах підвищеної небезпеки (ліфтів, пралень, лазень тощо) – не рідше *одного разу на рік*.

Огляди заземлювачів з вибіркоvim розкриттям ґрунту в місцях найбільшого впливу корозії повинні проводитись згідно з графіками, затвердженими особою, відповідальною за електрогосподарство, але не рідше, ніж *один раз на 12 років*. Елемент заземлювача слід замінити, якщо його переріз зруйнований більше ніж на 50 %.

Для виміру опору заземлювача розтіканню струму промислової частоти використовується *метод амперметра-вольтметра* та відповідні прилади (наприклад, МС-08, М372, ЦС 4107). Схему виміру подано на рис. 2.11.

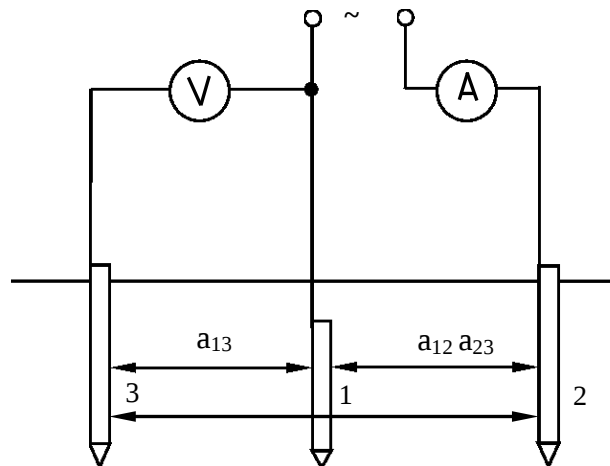


Рис. 2.11 – Схема виміру опору заземлювача методом амперметра – вольтметра

1 – заземлювач, що випробовується; 2 – виносний (допоміжний) заземлювач; 3 – зонд

Виносний (допоміжний) заземлювач 2 і зонд 3 встановлюються на такій відстані один від одного і від заземлювача 1, що перевіряється, таким чином, щоб їх поля розтікання не накладалися. Падіння напруги R_x вимірюється вольтметром V, включеним між заземлювачем, що випробовується, і зондом.

МЕТОДИ УЛАШТУВАННЯ ЗАЗЕМЛЕННЯ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

У польових умовах, особливо на військових об'єктах, заземлення є одним із ключових заходів електробезпеки, що забезпечує захист особового складу, надійну роботу електрообладнання та запобігає аварійним ситуаціям. Військові об'єкти часто розгортаються у складних природних і технічних умовах, тому методи улаштування заземлення мають бути адаптивними, мобільними, ефективними і швидкими у виконанні.

1. Вибір місця та оцінка ґрунту

Перед монтажем заземлення обов'язково проводять оцінку властивостей ґрунту. Визначають питомий опір ґрунту, який залежить від типу ґрунту, вологості, температури і сезонності. Найкращі умови для заземлення — це вологі, глинисті або суглинкові ґрунти з низьким питомим опором, тоді як

піщані, кам'янисті або сухі ґрунти мають високий питомий опір і потребують додаткових заходів для зниження опору контуру заземлення.

Для оцінки опору ґрунту використовують спеціальні прилади, а також враховують кліматичні умови, які можуть змінювати характеристики ґрунту протягом року. У разі високого питомого опору застосовують методи покращення заземлення, наприклад, зволоження ґрунту, використання спеціальних хімічних добавок або збільшення площі контакту заземлювача з землею.

2. Конструктивні елементи заземлення

У польових умовах заземлювачі виготовляють із металевих стрижнів, труб або смуг, які забивають у землю або закопують горизонтально. Найпоширеніші матеріали — сталь (з антикорозійним покриттям) або мідь.

Вертикальні заземлювачі — металеві стрижні довжиною 1,5-4 м, забиті у землю на глибину, що забезпечує надійний контакт із вологим шаром ґрунту. Відстань між стрижнями має бути не менше 2,5-3 м, щоб уникнути взаємного екранування і знизити сумарний опір.

Горизонтальні заземлювачі — смуги або дроти, закопані на глибину 0,5-1 м, які з'єднують вертикальні стрижні в єдиний контур.

Комбіновані контури — поєднання вертикальних і горизонтальних елементів для досягнення потрібного опору.

Заземлювачі з'єднують між собою сталевими смугами товщиною не менше 4 мм і перерізом не менше 48 мм², використовуючи зварювання або болтові з'єднання, що забезпечує низький перехідний опір і довговічність конструкції.

3. Особливості монтажу в польових умовах

Швидкість монтажу є пріоритетом, тому використовують переносні або збірні заземлювачі, які можна швидко встановити і демонтувати.

Для забивання стрижнів застосовують ручні або механізовані молотки, іноді використовують спеціальні пристрої для забивання у кам'янистих ґрунтах.

У разі високого питомого опору ґрунту застосовують додаткові методи: збільшення кількості заземлювачів, використання хімічних розчинів для зниження опору, зволоження ґрунту.

Важливо уникати використання природних заземлювачів (металевих трубопроводів, залізобетонних конструкцій), які можуть мати вихід за межі польового об'єкта і створювати небезпеку витоку струму або інформації.

4. Контроль і перевірка

Після монтажу обов'язково проводять вимірювання опору заземлення. Для військових об'єктів нормативним є опір не більше 4 Ом. Якщо опір перевищує норматив, конструкцію заземлення доопрацьовують — додають заземлювачі, покращують контакт із ґрунтом.

5. Захист і маркування

Польові заземлення позначають спеціальними знаками, щоб уникнути випадкових пошкоджень. У військових умовах контури заземлення можуть бути захищені тимчасовими укріпленнями або огороженнями.

6. Особливості для військових об'єктів

Заземлення має бути **модульним і мобільним**, щоб швидко розгортатися і переміщуватися разом із військовою технікою.

Враховується можливість пошкодження заземлення під час бойових дій, тому застосовують резервні контури або дублюючі системи.

Особлива увага приділяється заземленню антен, генераторів, командних пунктів, радіостанцій та іншого критичного обладнання, що забезпечує зв'язок і управління.

Заземлення також виконує протипожежну функцію, знижуючи ризик виникнення і поширення пожежі при ураженні електрообладнання.

Висновок

Методи улаштування заземлення в польових умовах для військових об'єктів базуються на комплексному підході, що включає вибір оптимального місця, використання ефективних конструктивних елементів, швидкий монтаж і контроль якості. Це забезпечує надійний захист особового складу і техніки в складних умовах воєнного стану, підтримує безпеку і бойову готовність військових підрозділів.

ЛЕКЦІЯ №11.БЛИСКАВКОЗАХИСТ

Система блискавкозахисту (LPS) – завершена система захисту від блискавки, призначена для зменшення фізичних пошкоджень будівель (споруд) від ударів блискавки у будівлю (споруду). Вона складається із зовнішньої і внутрішньої захисних систем.

Зовнішня система блискавкозахисту – частина LPS, яка складається з системи перехоплення (блискавкоприймачів), системи доземних провідників (струмовідводів) та системи земляного закінчення (уземлення).

Зовнішня LPS призначена для уловлювання прямих розрядів блискавки в будинки, включаючи розряди в фасад будівлі, і відведення струму блискавки від точки ураження до землі. Зовнішня LPS також призначена для розосередження цього струму в землі, не викликаючи термічного або механічного пошкодження, а також небезпечного іскріння, яке може стати причиною пожежі або вибухів. У більшості випадків зовнішня LPS може встановлюватися на будівлі, яка захищається.

Зовнішня LPS, ізольована від захищуваної будівлі – LPS з системою перехоплення та системою доземних провідників, розміщених таким чином, що шлях струму блискавки не має контакту із захищуваною будівлею (спорудою).

Ізольовану зовнішню систему блискавкозахисту потрібно влаштовувати в тому випадку, якщо в результаті термічних і вибухонебезпечних впливів у точці ураження або на провідниках, що несуть струм блискавки, може виникати небезпека для будівлі або обладнання, що знаходиться всередині цієї будівлі. Це, наприклад, можуть бути будівлі з займистим покриттям, будівлі зі стінами виконаними з горючого матеріалу, або зонами, в яких є високий ризик виникнення вибуху і пожежі.

Зовнішня LPS, не ізольована від захищуваної будівлі – LPS з системою перехоплення та системою доземних провідників, розміщених таким чином, що шлях струму блискавки може мати контакт із захищуваною будівлею (спорудою).

Рівень блискавкозахисту (РБЗ) – число (номер), яке пов'язане із заделегідь встановленими параметрами струму блискавки та імовірністю того, що ці взаємопов'язані максимальні і мінімальні параметри не будуть перевищувати природних параметрів струмів блискавки.

Клас LPS – номер, що позначає класифікацію LPS відповідно до рівня блискавкозахисту (LPL), для якого його створено.

Нормативні документи з розрахунку системи блискавкозахисту

1. ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2011, IDT).
2. ДСТУ ІЕС 62305-2:2012 Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (ІЕС 62305-2:2010, IDT).
3. ДСТУ EN 62305-3:2021 Блискавкозахист. Частина 3. Фізичні пошкодження будівель (споруд) та небезпека для життя (EN 62305-3:2011,

IDT; IEC 62305-3:2010, MOD).

4. ДСТУ EN 62305-4:2012 Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2011, IDT).

5. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання) Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України №476 від 21.07.2017. Глава 1.7. Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом.

6. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. (Регламентує вимоги до захисту від ураження електричним струмом та до уземлювальних провідників).

7. ДСТУ EN 62561-1:2019 Компоненти системи блискавкозахисту (LPSC). Частина 1. Вимоги до з'єднувальних компонентів (EN 62561-1:2017, IDT; IEC 62561-1:2017, IDT).

8. ДСТУ EN IEC 62561-2:2019 Компоненти системи блискавкозахисту (LPSC). Частина 2. Вимоги до провідників та уземлювальних електродів (EN IEC 62561-2:2018, IDT; IEC 62561-2:2018, IDT).

9. ВСН-167-92 «Проектування арсеналів, баз та складів боєприпасів. Протипожежні вимоги».

10. Наказ Міністерства оборони України № 143 від 02.04.2019 р. про затвердження «Правил забезпечення пожежної безпеки в системі Міністерства оборони України» (розділ 3, Вимоги до системи блискавкозахисту).

11. НАПБ В.01.058-2008/112 Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів (регламентують захист від блискавки і статичної електрики, експлуатацію та утримання системи блискавкозахисту).

12. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти та нафтопродуктів з тиском насиченої пари не вище 93,3 кПа (встановлює чіткі вимоги щодо способів і зон захисту блискавкозахисту від залежно від конфігурацій і компонування резервуарів).

БЛИСКАВКОПРИЙМАЧІ. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН ЗАХИСТУ БЛИСКАВКО ПРИЙМАЧІВ

Блискавкоприймач (перехоплювач) — це частина зовнішньої LPS, яка містить металеві елементи, наприклад, стержні, сітки або натягнуті троси, призначені для перехоплення розрядів блискавки.

При наявності правильно спроектованого блискавкоприймача ймовірність проникнення в будівлю струму блискавки значно знижується. Блискавкоприймачі, що встановлюються на будівлі, слід розміщувати по кутах у виступаючих точках і по краях покрівлі, вони можуть складатися з будь-якої комбінації стрижнів (включаючи окремо розташовані щогли), підвісних тросів, сітчастих провідників.

Всі типи блискавкоприймачів повинні бути розраховані та розміщені відповідно до вимог р. 5.2.2, 5.2.3, додатку А та р. Е.5.2.2, Е.5.2.3 додатку Е. для захисту будівлі від прямого удару блискавки необхідно розмістити перехоплювачі (вертикальні щогли, блискавкозахисну сітку та інші горизонтальні провідники, троси) таким чином, щоб при розрахунках за одним чи кількома методами захисту, вся будівля, її покрівля та всі конструкції, устаткування чи інші виступаючі над покрівлею частини будівлі, знаходились в зонах захисту, утворених внаслідок розміщення блискавкоприймачів. При цьому щогли, блискавкозахисна сітка та інші елементи блискавкоприймачів повинні бути з'єднані між собою в одну систему.

Системи перехоплювачів можуть складатися з будь-якої комбінації таких елементів:

- а) стрижні (з окремо розташованими щоглами включно);
- б) натягнені троси;
- с) сітчасті провідники.

Для того, щоб усі типи систем перехоплювачів відповідали вимогам ДСТУ EN 62305-3:2021, належить розміщувати їх відповідно до 5.2.2, 5.2.3 та додатка А. Для всіх типів перехоплювачів лише реальні розміри металевих систем перехоплення потрібно застосовувати для визначення захищеного об'єму. Окремі стрижні перехоплювачів мають бути з'єднані між собою на рівні покрівлі для забезпечення розподілу струму. Радіоактивні перехоплювачі не є дозволеними. Розміщення системи перехоплення виконується методами захисного кута, сфери, що котиться та блискавкоприймальної сітки.

В якості елементів LPS, згідно р. 5.2.5 та р. Е.5.2.5 додатку Е ДСТУ EN 62305-3:2021 можна використовувати природні компоненти, які є виготовленими з струмопровідних матеріалів, і які повинні постійно знаходитися на будівлі, та не повинні змінюватися.

Металеві листи, що покривають будівлю, яка захищається (наприклад бляха, листи металочерепиці чи профнастилу), якщо виконуються наступні умови.

1. Забезпечена надійна електрична неперервність між різними частинами (наприклад, з використанням пайки твердим припоєм, зварювання, гофрування, фальцевих з'єднань, закручування або болтового з'єднання);

2. Товщина металевого листа є не меншою ніж значення t' в табл. 2.4 ДСТУ EN 62305-3:2021 (0,5 мм для покрівлі з оцинкованої чи нержавіючої сталі), якщо не є важливим запобігти пробиттю покриття чи займанню будь-яких легкозаймистих матеріалів, розташованих під ним.

Таблиця 6.1 – Мінімальна товщина бляхи чи металевих труб у системах перехоплення (табл. 3 ДСТУ EN 62305-3:2021)

Клас LPS	Матеріал	Товщина t^a , мм	Товщина t^b , мм
I–IV	Свинець	–	2,0
	Сталь (державка, поцинкована)	4,0	0,5
	Титан	4,0	0,5
	Мідь	5,0	0,5
	Алюміній	7,0	0,65
	Цинк	–	0,7
t^a запобігає дір явленню			
t^b лише бляхи, якщо не є важливим дірявленню, місцевому перегріванню чи займанню.			

В такому випадку можливий пробій обшивки, тобто при ударі блискавки металевий лист покрівлі буде пошкоджений, але струм відведеться до уземлення. Також можливе загоряння займистих матеріалів, якщо такі знаходяться під покрівлею.

При використанні таких металевих листів в якості блискавкоприймача, рекомендуємо узгодити таке рішення із замовником та прописати його в завданні на проектування. Також рекомендовано отримати лист від замовника, що він розуміє, що при ударі блискавки покрівля може бути пошкодженою, та надає на це згоду.

Якщо необхідно вживати заходів обережності щодо пробою металевих листів покрівлі або є ймовірність загоряння легкогорючих матеріалів під покрівлею в місці удару блискавки, потрібно використовувати металеві листи з товщиною не меншою ніж значення t в табл. 6.1 (4 мм для сталі);

г) дані металеві листи не є покритими ізоляційним матеріалом, при цьому тонкий шар захисної фарби, асфальтове покриття товщиною 1 мм або покриття з ПВХ товщиною 0,5 мм не розглядають як ізоляційний матеріал.

Металеві компоненти дахів будівель і споруд (кроквяні ферми, поєднана між собою металева арматура і т.п.), які розташовані під неметалевим покриттям даху, за умови, що останню частину можна виключити з захищеної будівлі (тобто металеві конструкції, які знаходяться під черепицею, при ударі блискавки в них відведуть струм, але черепиця буде пошкодженою).

Металеві деталі:

– огороження, поручні, декоративні шпилі, флюгери і т.д., площа поперечного перерізу яких не є меншою, ніж в табл. 6.2 труби та поручні з

труб з товщиною стінки не менше, ніж значення t згідно табл. 6.1 (наприклад, 4 мм для сталі);

- поручні з труби з товщиною стінки менше**, ніж значення t , проте з площею поперечного перерізу не меншою, ніж зазначається в табл. 6.2;

- металеве покриття парпетів з товщиною не менше ніж значення t' згідно табл. 2.4, для якого забезпечено електричну безперервність між всіма частинами парпету, при умові відсутності ризику займання матеріалу під металевим покриттям від розтопленого металу. Займистість використовуваного матеріалу має бути підтверджена замовником.

Розташовані на даху металеві труби і резервуари за умови, що вони виготовлені з матеріалу, площа поперечного перерізу яких є не меншою ніж вказана в табл. 6 ДСТУ EN 62305-3:2021.

3. Металеві труби і резервуари, що містять легкозаймисті або вибухонебезпечні суміші, за умови, що вони виготовлені з матеріалу з товщиною не меншою ніж значення t в табл. 6.1 і що підвищення температури внутрішньої поверхні в точці удару блискавки не представляє небезпеки. Якщо вимоги до товщини не дотримуються, труби і резервуари повинні бути захищені окремими блискавкоприймачами.

Також труби, по яких проходять легкозаймисті та вибухонебезпечні суміші, не розглядають в якості природного компонента блискавкоприймача, якщо у фланцевих з'єднаннях використовуються неметалеві прокладки або якщо сторони фланця пов'язані іншим надійним способом.

На будівлях зі скатною покрівлею часто наявне металеве огороження, яке можна використовувати в якості природного компонента LPS, якщо площа його поперечного перерізу не є меншою, ніж вказана в таблиці 6.2 (переріз 50 мм² для сталі). Провідники блискавкоприймача і сітки на поверхні даху та доземні провідники повинні з'єднуватись з огороженням. Якщо на стиках між секціями огороження відсутнє електричне з'єднання, його потрібно забезпечити додатково.

Приклад: на скатній покрівлі наявне металеве огороження з прутка Ø12 мм (переріз складає 113 мм²), яке можна використати як природний компонент LPS. Секції огороження довжиною 3 м не мають безперервного з'єднання, тож їх з'єднано за допомогою злучників. Лінію блискавкоприймальної сітки при цьому прокладати вздовж огороження не потрібно.

На будівлях з плоскими дахами металеве покриття парпетів можна використовувати в якості природного компонента LPS відповідно до р. Е.5.2.4.2.2 , Е.5.2.5 ДСТУ EN 62305-3:2021 за умов, що його товщина є не меншою ніж значення t' в таблиці 6.1] (товщина не менше 0,5 мм для сталі), та відсутній ризик загоряння в результаті впливу розплавленого металу. Якщо на стиках між секціями панелей, що покривають парпети, відсутній надійний зв'язок, то між ними потрібно забезпечити струмопровідне шунтування.

Таблиця 6.2 – Матеріал, конфігурація та мінімальна площа перерізу провідників та стрижнів перехоплювачів, стрижнів уводу до уземлення та доземних провідників (табл. 6 ДСТУ EN 62305-3:2021)

Матеріал	Конфігурація	Площа поперечного перерізу, мм ²
Мідь, лужена мідь	Суільний стрічковий	50
	Моножила кругла ^b	50
	Багатожильний ^b	50
	Моножила кругла ^c	176
Алюміній	Суільний стрічковий	70
	Моножила кругла	50
	Багатожильний	50
Алюмінієвий сплав	Суільний стрічковий	50
	Моножила кругла	50
	Багатожильний	50
	Моножила кругла ^c	176
Обміднений алюмінієвий сплав	Моножила кругла	50
Гарячеоцинкована сталь	Суільний стрічковий	50
	Моножила кругла	50
	Багатожильний	50
	Моножила кругла ^c	176
Поміднена сталь	Моножила кругла	50
	Суільний стрічковий	50
Нержавка сталь	Суільний стрічковий ^d	50
	Моножила кругла ^d	50
	Багатожильний	70
	Моножила кругла ^c	176

^a Механічні та електричні характеристики, а також протикорозійні властивості мають відповідати вимогам майбутньої серії EN 62561.

^b 50 мм² (8 мм у діаметрі) може бути зменшено до 25 мм² у деяких застосуваннях, коли механічна міцність не є обов'язковою вимогою. У цьому разі належить приділити увагу зменшенню відстані між кріпленнями.

^c застосовують для стрижнів перехоплювачів та стрижнів уземлювачів. Для стрижнів перехоплювачів, де механічне напруження, як-от вітрове обтяження, не є критичним, може бути використано стрижень діаметром 9,5 мм завдовжки 1 м.

^d якщо теплові та механічні характеристики є важливими, тоді ці значення повинні бути збільшені до 75 мм².

Приклад: на плоскій покрівлі парпети покриті оцинковою товщиною 0,5 мм, яку можна використати як природній компонент LPS. Металеві листи надійно з'єднані між собою шунтуванням з допомогою самонарізів, тож додаткового з'єднання забезпечувати не потрібно. При ударі блискавки покриття парпети може бути пошкоджено, тож таке рішення потрібно узгодити із замовником та прописати в завданні на проектування та затвердити замовником.

Металеві резервуари, труби та огороження, які встановлені на поверхні даху або виступають над нею, можна розглядати в якості природних провідників системи перехоплення за умови, що товщина їх стінок відповідає значенням таблиці 6.1 (товщина не менше 4 мм для сталі).

Приклад: на покрівлі наявне металеве огороження з труби Ø40 мм з товщ. стінки 4 мм, яке можна використати як природний компонент LPS. Секції огороження надійно з'єднані між собою, тож додаткового з'єднання забезпечувати не потрібно. Провідники сітки LPS та доземні провідники потрібно приєднати до огороження.

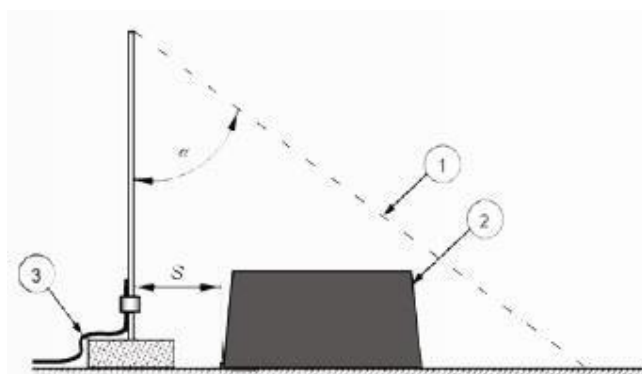
Резервуари і трубопровід, в яких міститься газ чи рідини під високим тиском або вогнебезпечний газ чи рідини, не повинні використовуватися в якості природних перехоплювачів.

Струмопровідні частини над поверхнею даху, наприклад металеві резервуари і сталеві арматурні стержні бетону, повинні з'єднуватися з LPS. Для запобігання електричного проходження повного струму блискавки через будівлю, між такими природними компонентами LPS і сіткою блискавкозахисту необхідно забезпечити добре сполучення. Якщо прямий удар блискавки в дану струмопровідну частину будівлі неприпустимий, потрібно встановити блискавкоприймачі таким способом, щоб ця частина опинилась всередині захищеного простору системою блискавкоприймача.

Для забезпечення неперервного електричного з'єднання металевих листів покрівлі, металевого покриття огорожі чи металевій обшивки, їх секції необхідно з'єднувати за допомогою одного з двох методів: шунтуванням з використанням гнучких металевих смуг, або шунтуванням самонарізаючими гвинтами.

Вимоги до розміщення блискавкоприймачів

При проєктуванні розміщення блискавкоприймачів та провідників блискавкозахисту, їх потрібно розмістити так, щоб вони знаходились на безпечній відстані S від металевого обладнання на покрівлі чи інших провідних частин будівлі, як показано на рис.6.1. Якщо не має можливості забезпечити безпечну відстань, то потрібно з'єднати установку з LPS в найбільш віддаленій точці від вихідної точки з'єднання.



$$S = (k_i / km) \cdot k_c \cdot l$$

- 1 – зона захисту;
- 2 – захищуване обладнання;
- 3 – вертикальний блискавкоприймач;
- α – захисний кут згідно графіку Таблиці 2 [3]
- S – захисна ізоляційна відстань

Рисунок 6.1 – Безпечна відстань S від металевого обладнання

Вимоги та рекомендації до розміщення блискавкоприймачів та провідників блискавкозахисту на покрівлі із займистих матеріалів:

– якщо покрівля виконана з легкозаймистого матеріалу, то потрібно забезпечити деяку відстань між провідниками блискавкоприймача і покрівлею: для дахів, виготовлених з соломі або очерету, в яких сталеві балки не використовуються, достатньо забезпечити відстань між провідником і дахом 0,15 м; для інших горючих матеріалів потрібно забезпечити відстань не менше 0,10 м;

– легкозаймісті частини будівлі, що захищаються, не повинні залишатися в прямій взаємодії з компонентами LPS, а також перебувати безпосередньо під будь-якою металевою оболонкою покрівлі, яка може бути пробита ударом блискавки (наприклад, під покрівлею з профнастилу товщиною 0,5 мм, яка використовується в якості блискавкоприймача).

Якщо немає можливості забезпечити достатню відстань між провідником LPS і дахом чи стіною з горючих матеріалів, захистити їх від небезпечного впливу струму блискавки, що нагріває провідники LPS, можна за допомогою використання одного або декількох заходів:

- зниження температури провідників за рахунок збільшення розміру поперечного перерізу;
- збільшення відстані між провідниками і покриттям даху;
- вставки теплозахисного шару між провідниками і горючим матеріалом (наприклад, використання термоізоляційної трубки).

Провідники на дахах і з'єднання стрижнів блискавкоприймача можна прикріплювати до даху, використовуючи або струмопровідні (металеві), або непровідні прокладки і кріплення (пластикові). Провідники можна також розміщувати на поверхні стіни, якщо вона виготовлена з непровідного матеріалу.

При прокладанні провідників LPS по металевій покрівлі на непровідних (пластикових) тримачах, рекомендується в місцях переходу блискавкоприймача до струмовідводів також приєднати металевий дах до LPS. В такому випадку, якщо деяка частина струму перекинеться внаслідок іскріння з провідника на металеву покрівлю, то цей струм буде також відведено доземним провідником.

У малоповерхових будинках (для однієї сім'ї) і аналогічних будівлях з коником на даху провідники слід встановлювати на конику. Якщо споруда повністю знаходиться в зоні захисту, що утворена провідником на конику даху, то по краях фронтона в протилежних кутках будівлі повинні проходити не менше двох доземних провідників.

Також рекомендується на всіх гострих кутах покрівлі (рис.6.2) вивести дріт на 20-30 см та нагнути його вгору, оскільки гострі кути на покрівлі є найімовірнішими місцями для влучання блискавки.

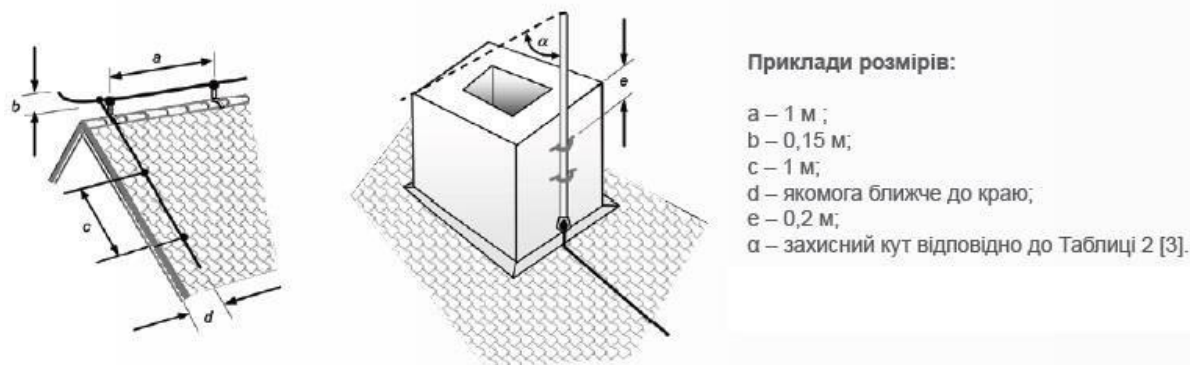


Рисунок 6.2 – Приклад установки блискавкоприймачів на гострих кутах покрівлі та вентиляційних каналах

При кріпленні блискавкоприймачів до коминів, вентиляційних каналів чи інших конструкцій, рекомендовано кріпити нижніх 0,5 м блискавкоприймача до конструкції при висоті блискавкоприймача до 4-х м, та 0,7-1,0 м при висоті блискавкоприймача більше 4-х м, при цьому верхню точку кріплення для надійності потрібно влаштувати на відстані не менше 0,2 м від краю вентиляційного каналу чи конструкції (рис.6.2).

Таблиця 6.3 – Рекомендовані центри фіксації

Розміщення провідників	Відстань між точками кріплення для круглих провідників, мм
Горизонтальні провідники на горизонтальних поверхнях	1 000
Горизонтальні провідники на вертикальних поверхнях	1 000
Вертикальні провідники від землі до 20 м	1 000
Вертикальні провідники від 20 м і далі	1 000

Водостічні труби, наявні на краю даху, можуть використовуватися в якості природних провідників за умови, що вони відповідають вимогам 5.2.5 ДСТУ EN 62305-3:2021.

Для уникнення провисань дроту між тримачами, рекомендується дотримуватись наступних відстаней між кріпленнями (тримачами) провідників LPS, які представлені у табл. 6.3.

МЕТОДИКА УЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Улаштування системи блискавкозахисту на військових об'єктах має особливе значення через підвищену вразливість інфраструктури до пошкоджень від блискавок, що може призвести до збоїв у роботі критичного обладнання, порушення комунікацій і загрози життю особового складу. Методика базується на комплексному підході, що включає проєктування, монтаж зовнішнього та внутрішнього блискавкозахисту, а також надійне заземлення.

1. Проєктування системи блискавкозахисту

Аналіз об'єкта та класифікація ризику. Визначають категорію об'єкта за ступенем ризику ураження блискавкою, враховуючи його

призначення, розмір, висоту та розташування. Військові об'єкти належать до категорій з підвищеними вимогами безпеки, тому для них застосовують найвищі рівні захисту.

Вибір типу блискавкоприймачів. Залежно від конструкції та розмірів об'єкта обирають одиночні стрижневі, тросові або сітчасті блискавкоприймачі. Для військових об'єктів рекомендується застосовувати комбіновані системи, що забезпечують максимальне покриття зони захисту.

Визначення зон захисту. Використовують методи розрахунку зон захисту (метод захисного кута, метод сфери, що котиться, або ймовірнісний метод), щоб забезпечити повне покриття об'єкта від прямих ударів блискавки.

2. Монтаж зовнішнього блискавкозахисту

Улаштування блискавкоприймачів. Встановлюють блискавкоприймачі на найвищих точках об'єкта, забезпечуючи їх надійне кріплення і електричне з'єднання зі струмовідводами.

Струмовідводи. Металеві провідники, що з'єднують блискавкоприймачі із заземленням, прокладають по найкоротшому шляху, уникаючи гострих вигинів і механічних пошкоджень. Можливе використання природних металевих конструкцій як струмовідводів.

Заземлення. Система заземлення є критичною складовою блискавкозахисту. Для військових об'єктів застосовують штучні заземлювачі з декількох вертикальних електродів довжиною не менше 3 м, об'єднаних горизонтальним провідником із відстанню між електродами не менше 3 м. Опір заземлення повинен бути мінімальним, зазвичай не більше 4 Ом.

3. Внутрішній блискавкозахист.

Вирівнювання потенціалів. Всередині будівель і споруд створюють систему вирівнювання потенціалів, що знижує ризик пошкодження електрообладнання і ураження людей через імпульсні перенапруги.

Захист електропостачання. Встановлюють пристрої захисту від імпульсних перенапруг на електричних мережах, що живлять об'єкт, а також на системах зв'язку і сигналізації.

4. Контроль якості та приймання в експлуатацію

Після монтажу системи проводять комплексну перевірку: вимірювання опору заземлення, перевірку цілісності електричних з'єднань, огляд монтажних робіт. Система приймається в експлуатацію робочою комісією, яка складає відповідні акти і документи.

ОСОБЛИВОСТІ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Високі вимоги до надійності і стійкості системи блискавкозахисту через специфіку функціонування об'єктів.

Можливість оперативного ремонту і модернізації системи у разі бойових пошкоджень. Використання мобільних або тимчасових систем блискавкозахисту для польових баз і командних пунктів.

Забезпечення захисту як від прямих ударів блискавки, так і від вторинних проявів, таких як перенапруги в електромережах.

Таким чином, методика улаштування системи блискавкозахисту для військових об'єктів передбачає комплексний підхід із врахуванням специфіки об'єкта, суворих вимог до надійності, застосування сучасних розрахункових методів і високоякісних матеріалів для монтажу блискавкоприймачів, струмовідводів і заземлення, а також організацію внутрішнього захисту електрообладнання і персоналу