

## ЛЕКЦІЯ №1.

### ВСТУП. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ КУРСУ. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО ТА ЙОГО СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ

#### 1.1 Вступ. Основні поняття. Мета та задачі курсу

Теорію електричних явищ поділяють на теорію кіл і теорію електромагнітного поля. Цей поділ викликаний тим, що прикладне використання електромагнітних явищ призвело до застосування пристроїв і систем, в основу яких покладено використання явищ електричних, магнітних, електростатичних й електромагнітних кіл або явищ електромагнітного поля.

**Метою вивчення навчальної дисципліни** є формування у здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти знань, умінь та навичок, необхідних для розуміння основних понять про електричне коло та його складові частини, засоби та методи електротехнічних вимірювань, призначення та види електронних пристроїв, будову і принцип дії трансформаторів, електричних машин постійного та змінного струмів, застосування постійного і змінного струмів у зварювальних роботах, засвоєння правил електробезпеки.

**Основними завданнями вивчення навчальної дисципліни** є становлення і вдосконалення знань майбутніх фахівців.

#### **Основні компетентності для здобувачів освіти:**

ЗК.1. Здатність відповідально ставитись до професійної діяльності.

ЗК.4. Здатність діяти в нестандартних ситуаціях.

БК.5. Розуміння та засвоєння електротехніки з основами промислової електроніки.

БК.6. Розуміння, дотримання та виконання основних положень з охорони праці, промислової та пожежної безпеки, виробничої санітарії.

БК.7. Вміння виконувати обов'язкові дії при ліквідації аварій та їхніх наслідків та при наданні першої долікарської допомоги потерпілим у разі нещасних випадків.

### **Програмні результати навчання:**

Учень (учениця) повинен знати: основні закони електротехніки в межах роботи, яку виконує; основні поняття про електричне коло, електричні кола постійного струму, магнітне коло, електричні кола змінного струму; основні поняття про електротехнічні перетворювачі; призначення і класифікацію електронних приладів і пристроїв; види і методи електричних вимірювань; призначення, будову і принцип дії трансформаторів, їх основні параметри; будову і принцип дії машин змінного струму; застосування постійного та змінного струмів в зварювальних роботах; правила електробезпеки під час обслуговування електроустановок в обсязі кваліфікаційної групи II; правила звільнення потерпілих від дії струму, надання долікарської (першої) допомоги в разі ураження електричним струмом.

Учень (учениця) повинен уміти: схематично зображати електричне коло; визначати необхідні засоби індивідуального та колективного захисту, їх справність, правильно їх застосовувати за призначенням; безпечно експлуатувати обладнання; звільняти потерпілих від вражаючих факторів, надавати їм першу (долікарську) допомогу у разі нещасних випадків під час аварій.

## **1.2 Електричне коло та його складові частини**

З'єднання електротехнічних пристроїв, таких як генератори електричної енергії, перетворювачі її параметрів, лінії передачі та приймачі, утворюють електричне коло. Електричними колами називають також з'єднання електротехнічних пристроїв з метою генерування, перетворення, пересилання, розподілу та приймання інформації у вигляді електричних імпульсів – сигналів.

Параметри електричних і магнітних кіл (резистанси, індуктивності, ємності, магнітні опори) визначаються геометричними формами та фізичними властивостями матеріалів відповідних елементів.

Якщо струм у всіх точках будь-яких нерозгалужених ділянок (віток) електричного кола можна з достатньою точністю вважати в заданий момент однаковим за значенням, то таке коло називають колом зі зосередженими параметрами. Однак, це припущення мусить бути обґрунтованим. Так, у реостаті, крім перетворення електромагнітної енергії на теплову, що характеризується його резистансом, існує електричне поле, яке залежить від міжвиткових ємностей реостата, а також магнітне поле, що залежить від індуктивності реостата. Але ці поля при невисоких частотах практично не впливають на електромагнітний процес у реостаті й ними можна знехтувати. В індуктивних котушках за подібних умов електричне поле (через наявність міжвиткових ємностей) у порівнянні з магнітним полем незначно впливає на електромагнітний процес. Перетворення електромагнітної енергії на теплову в індуктивній котушці інколи не беруть до уваги чи, якщо ним не можна знехтувати, враховують виділенням резистансу котушки у вигляді резистора, сполученого послідовно з її індуктивністю.

Прикладом електричного кола з розподіленими параметрами є лінія електропередачі чи лінія передачі інформації – струми у будь-яких їх точках залежать не тільки від часу, але й від простору – відстані цих точок від початку (кінця) лінії. Зазвичай такі кола характеризують питомими параметрами на одиницю довжини лінії.

**ЛЕКЦІЯ №2.**  
**ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО**  
**ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ.**  
**ОСНОВНІ ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ**

**2.1 Електричний заряд. Основні поняття про електромагнітне поле**

Основою всіх електромагнітних явищ є електричний заряд та електромагнітне поле.

**Електричний заряд**  $q$  – джерело електромагнітного поля, яке пов'язане з матеріальним носієм; елементарний електричний заряд – це внутрішній параметр елементарної частинки, що визначає її електромагнітну сутність, здатність до взаємодій. Розрізняють два види електричних зарядів, які умовно називають додатними («+») та від'ємними («-»). Останні називають електронами – елементарні від'ємно заряджені частинки; заряд електрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

**Електромагнітне поле** – особливий вид матерії, який у всіх точках простору поєднує дві його складові, що називаються, відповідно, електричне та магнітне поля.

**Електричне поле** – одна з складових електромагнітного поля, яка проявляється у дії на електрично заряджену частинку із силою  $\vec{F}_E$ , пропорційною зарядові частинки  $q$  і незалежною від швидкості її руху. Це поле характеризується векторною величиною – напруженістю електричного поля  $\vec{E}$ , яка чисельно дорівнює відношенню сили, що діє на заряджену частинку, до її заряду і має напрямок сили, що діє на частинку з додатним зарядом, тобто

$$\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}_E}{q}.$$

**Магнітне поле** – друга складова електромагнітного поля, яка проявляється у дії на рухому електрично заряджену частинку із силою  $\vec{F}_M$ , пропорційною

заряду частинки  $q$  і швидкості її руху  $V$ . Це поле характеризується векторними величинами: напруженістю магнітного поля  $\vec{H}$  і пов'язаною з нею магнітною індукцією  $\vec{B}$ .

Чисельно магнітна індукція дорівнює відношенню сили  $F_M$  до добутку заряду  $q$  і швидкості  $V$  частинки, тобто  $B = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{F_{M \max}}{q \times V}$ , якщо напрямок швидкості такий, що ця сила максимальна. Вектор магнітної індукції перпендикулярний до векторів сили  $\vec{F}_M$  і швидкості  $\vec{V}$ , а його напрямок при цьому збігається з поступальним переміщенням правоходового гвинта при його обертанні від напрямку сили до напрямку швидкості частинки з додатним зарядом. У підсумку перелічені величини поєднує формула  $\vec{F}_M = q[\vec{V} \times \vec{B}]$ .

У природному стані різні матеріальні тіла є електрично нейтральними, тобто елементарні додатні та від'ємні заряди рівномірно розподілені в їхньому об'ємі і врівноважують один одного. Щоб вивільнити заряди різних знаків і примусити їх рухатись в заданому напрямку, треба затратити енергію. Сили, які розділяють заряди різних знаків, долаючи електростатичні сили між ними, називаються сторонніми.

## 2.2 Основні фізичні величини

Для опису електромагнітних полів і процесів застосовують ряд наступних електричних величин.

**Електричний струм** – це впорядкований рух електрично заряджених частинок. За напрямок струму приймають напрямок руху додатно заряджених частинок. Якщо струм створюється від'ємно зарядженими частинками, то напрямок струму вважають протилежним напрямку їхнього руху. Кількісно електричний струм характеризується скалярною величиною – **силою струму**  $I$  і векторною величиною – **густиною електричного струму**  $\vec{J}$ . Сила струму дорівнює відношенню абсолютного значення електричного заряду  $dq$ , який

проходить за малий проміжок часу  $dt$  крізь визначену поверхню (наприклад, крізь поперечний переріз провідника), до значення  $dt$ , тобто  $I = dq/dt$ .

Для опису потенціальної енергетичної здатності електричного поля існує скалярна величина – **електричний потенціал**  $\varphi$ . Потенціал даної точки поля – це відношення роботи  $A$ , яку може виконати поле, переміщуючи заряд  $q$  із заданої точки в нескінченно віддалену точку, до самого заряду, тобто  $\varphi = A/q$ . Нескінченно віддалену точку беруть там, де електричне поле відсутнє тобто потенціал дорівнює нулю.

**Електрична напруга** – це скалярна величина, яка є похідною до потенціалу і яка введена для енергетичної характеристики електричного поля або електричного кола. Вона характеризує здатність поля виконувати роботу при переміщенні заряджених частинок між точками простору. Електрична напруга між двома точками електричного кола або електричного поля чисельно дорівнює роботі електричного поля, затраченій на переміщення одиничного додатного заряду із точки  $a$  в точку  $b$ . У загальному випадку напруга дорівнює відношенню роботи  $A$ , яку виконує поле переміщуючи заряд  $q$  із даної точки в іншу точку, до величини заряду, тобто  $U_{ab} = A/q$ . У потенціальному електричному полі ця робота не залежить від шляху переміщення заряду. В такому разі електрична напруга між двома точками дорівнює різниці потенціалів між ними, тобто  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ .

**Електрорушійна сила (ЕРС)** – це скалярна величина, яка характеризує дію сторонніх сил у джерелах постійного або змінного струму. Сторонні сили призводять до руху електричні заряди всередині генераторів. ЕРС  $E$  чисельно дорівнює роботі, яка виконується силами стороннього електричного поля при перенесенні вздовж замкненого контуру електричного кола одиничного додатного електричного заряду. В загальному випадку ЕРС дорівнює відношенню роботи  $A$ , яку виконують сторонні сили, переміщуючи заряд  $q$  вздовж замкненого провідникового контуру, до величини заряду, тобто  $E = A/q$ . З іншого боку, ЕРС джерела напруги дорівнює різниці потенціалів або напрузі

на його електродах (полюсах) при розімкненому зовнішньому колі, тобто при відсутності електричного струму в джерелі.

Взаємодія та взаємовідношення величин, що описують електромагнітні процеси в електротехнічних пристроях, регулюються законами електромагнетизму.

**ЛЕКЦІЯ №3.**  
**ЗАКОНИ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ**

**3.1 Закон Ома**

**Закон Ома має наступні варіанти:**

а) сила струму  $I$  прямо пропорційна напрузі  $U$  і обернено пропорційна електричному опору  $R$  ділянки кола (рис. 1.1,а):

$$I = \frac{U}{R} ; \quad (1.1)$$

б) сила струму в електричному колі прямо пропорційна ЕРС джерела електроенергії й обернено пропорційна повному опору кола (рис. 1.1,б):

$$I = \frac{E}{R + R_0} ; \quad (1.2)$$

в) узагальнений закон Ома (рис.1.1,в) для ділянки кола (знак « $\leftarrow$ » у разі зміни напрямку напруги):

$$I = \frac{E \pm U}{R} . \quad (1.3)$$

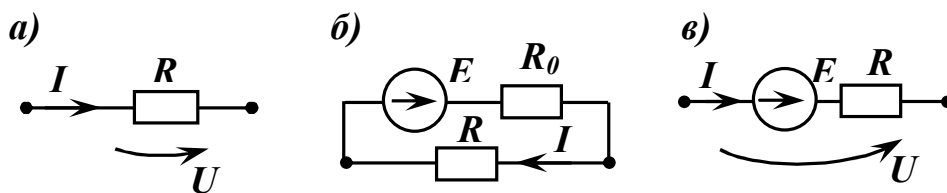


Рис. 1.1



### 3.2 Закони Кірхгофа

**1-ий закон Кірхгофа:** алгебраїчна сума струмів віток у вузлі електричного кола, дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^m I_k = 0, \quad (1.4)$$

де  $m$  – кількість віток у даному вузлі.

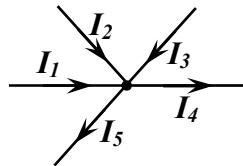


Рис. 1.2

Або, наприклад, обираючи напрямок до вузла додатним, маємо для випадку на рис. 1.2:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0.$$

Або:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5,$$

тобто сума струмів, які підтікають до вузла, рівна сумі струмів, які з нього витікають.

**2-ий закон Кірхгофа:** алгебраїчна сума спадів напруг на елементах замкненого контуру електричного кола дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що знаходяться в цьому контурі.

Тобто:

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{k=1}^q E_k, \quad (1.5)$$

де  $n, q$  – кількості пасивних елементів і джерел ЕРС у даному контурі. Або, для прикладу, вибравши вказаний на рис. 1.3 напрямок обходу контуру можна записати:

$$-R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_4 I_4 - R_3 I_3 = E_1 - E_2.$$

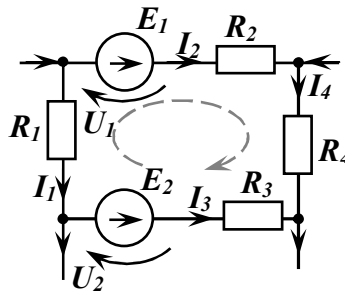


Рис. 1.3

### 3.3 Закон Джоуля-Ленца

Теплова енергія, що виділяється в провіднику (наприклад, у резисторі) дорівнює добутку квадрата сили струму  $I$ , опору провідника  $R$  і часу  $t$ , а саме:

$$W_T = I^2 R t. \quad (1.6)$$

### 3.4 Закон Біо-Савара-Лапласа

Індукція  $d\vec{B}$  магнітного поля, що створюється елементом струму  $I\vec{dl}$  на відстані  $r$  від нього в однорідному середовищі з відносною магнітною проникністю  $\mu_r$  (рис. 1.4), обернено пропорційна квадрату відстані і прямо пропорційна елементу струму і синусу кута  $\beta$  поміж векторами  $\vec{dl}$  і  $\vec{r}$ , тобто у векторній, а потім і в скалярній формах:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu_r}{4\pi r^3} [I \cdot \vec{dl} \times \vec{r}]; \quad dB = \frac{\mu_0\mu_r Idl}{4\pi r^2} \sin \beta, \quad (1.7)$$

де  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м – магнітна стала.

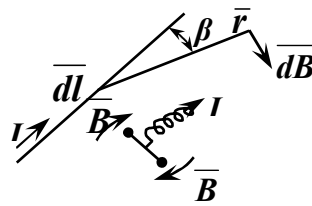


Рис. 1.4

Напрямок вектора магнітної індукції визначається відомим правилом правоходового гвинта, як показано на рис. 1.4.

### 3.5 Закон повного струму

Циркуляція вектора напруженості  $\vec{H}$  магнітного поля по контуру  $l$  (рис. 1.5) дорівнює алгебраїчній сумі струмів, що охоплюються цим контуром:

$$\oint \vec{H} \cdot \vec{dl} = \sum I, \quad (1.8)$$

де повний струм  $\sum I = wI$ ;  $w$  – кількість витків котушки, якою протікає струм  $I$ .

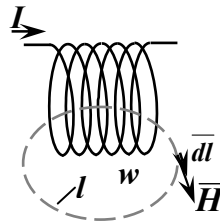


Рис. 1.5

### 3.6 Закон електромагнітної індукції

ЕРС  $e$ , яка індукується в контурі або в котушці (рис. 1.6), дорівнює швидкості зміни його магнітного потокозчеплення  $\psi$ :

$$e = -\frac{d\psi}{dt}, \quad (1.9)$$

де  $\psi = w \times \sum_{k=1}^w \Phi_k$ ;  $w$  – кількість витків котушки;  $\Phi_k$  – магнітний потік, який пронизує її  $k$ -ий виток.

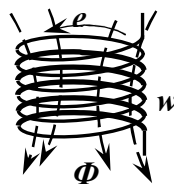


Рис. 1.6

У випадку, коли всі витки пронизуються одним магнітним потоком, ЕРС самоіндукції:

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt}. \quad (1.10)$$

У загальному випадку для елемента  $dl$  провідника, який переміщується зі швидкістю  $V$  в магнітному полі з індукцією  $B$  (рис. 1.7), ЕРС має вираз:

$$dE = \vec{B} [\vec{dl} \times \vec{V}] \quad (1.11)$$

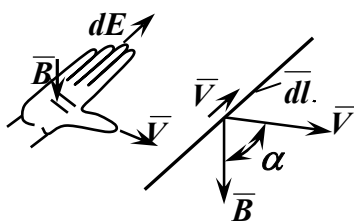


Рис. 1.7

Якщо при цьому магнітне поле однорідне, тобто індукція  $B$  скрізь однакова за величиною і напрямком, то ЕРС на всю довжину  $l$  провідника:

$$E = VBl \sin \alpha. \quad (1.12)$$

Напрямок ЕРС визначається правилом правої руки (рис. 1.7).

### 3.6 Закон Ампера

Закон Ампера (рис. 1.8) виражає силу Ампера, яка діє на елемент довжини  $dl$  провідника зі струмом  $I$ , що знаходиться в магнітному полі з індукцією  $B$ :

$$\overline{dF}_A = I [\overline{dl} \times \overline{B}], \quad (1.13)$$

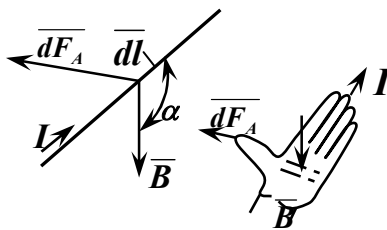


Рис. 1.8

У простішому випадку, при однорідному магнітному полі на всю довжину  $l$  провідника діє сила Ампера:

$$F_A = IBl \sin \alpha . \quad (1.14)$$

Напрямок сили Ампера визначається правилом лівої руки (рис. 1.8).

## ЛЕКЦІЯ №4.

### ПОСЛІДОВНЕ, ПАРАЛЕЛЬНЕ ТА ЗМІШАНЕ З'ЄДНАННЯ ОПОРІВ

Як відомо, опори в електричному колі можуть бути з'єднані послідовно (рис.1.1,а), паралельно (рис.1.1,б) та змішано (рис.1.1,в).

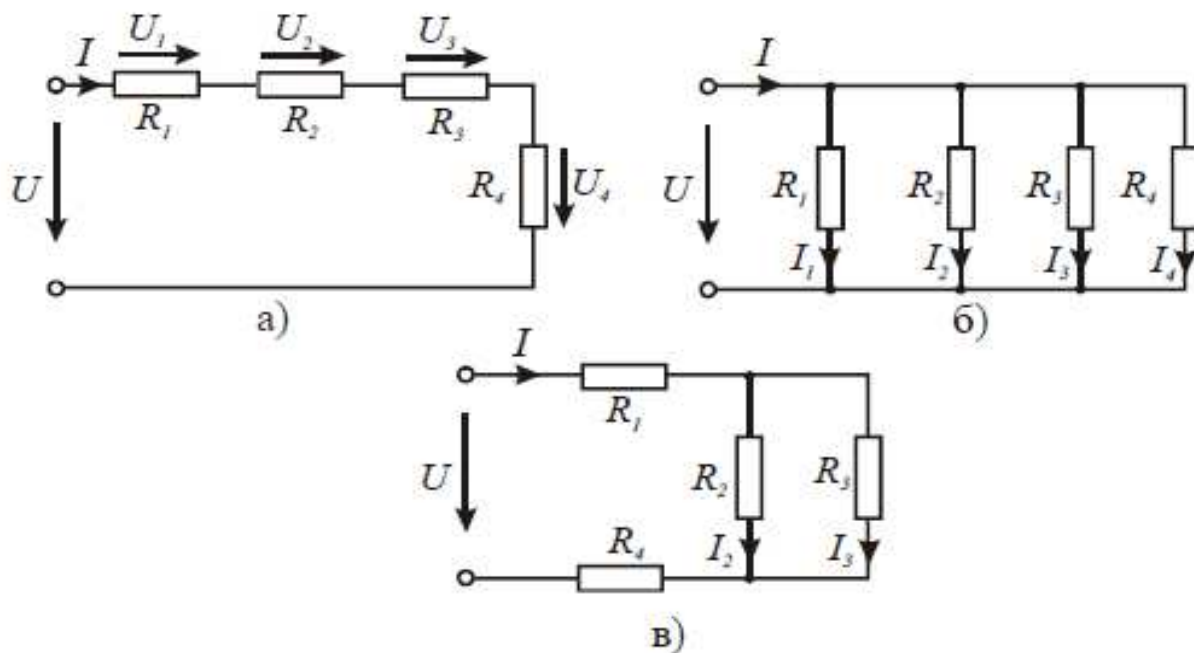


Рисунок 1.1.

При послідовному з'єднанні кінець одного опору з'єднується з початком другого, кінець другого – з початком третього і т.д. При цьому струм у всіх послідовно з'єднаних опорах має однакову величину, а спад напруг на кожному опорі - пропорційний цьому струму.

Струм у колі з послідовним з'єднанням опорів згідно закону  
Ома

$$I = \frac{U}{R_{\text{екв}}}, \quad (1.1)$$

де  $R_{\text{екв}} = \sum_{i=1}^n R_i$  – еквівалентний опір кола, який у загальному випадку, дорівнює арифметичній сумі  $n$  послідовно з'єднаних опорів.

Спад напруги на кожному опорі

$$U_i = IR_i. \quad (1.2)$$

Напруга на вході електричного кола дорівнює арифметичній сумі напруг на окремих опорах :

$$U = \sum_{i=1}^n U_i = I \sum_{i=1}^n R_i. \quad (1.3)$$

Потужність  $i$ -того споживача у послідовному колі

$$P_i = I^2 R_i = \frac{U_i^2}{R_i}, \quad (1.4)$$

а всього кола

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = I^2 \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{U_i^2}{R_i}. \quad (1.5)$$

Паралельне з'єднання опорів (рис. 1.1,б) – це таке з'єднання, коли умовні початки всіх опорів з'єднані в одну точку, а кінці – в другу. При паралельному з'єднанні на всіх опорах однакова



напруга, яка дорівнює напрузі джерела живлення  $U$ . Струм у кожному опорі пропорційний цій напрузі:

$$I_i = \frac{U}{R_i} = U g_i, \quad (1.6)$$

де  $g_i = \frac{1}{R_i}$  – провідність  $i$ -того опору.

Сила струму в нерозгалуженій частині кола

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = \sum_{i=1}^4 I_i \quad (1.17)$$

або

$$I = U g_{екв}, \quad (1.8)$$

де  $g_{екв} = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 = \sum_{i=1}^4 g_i = \sum_{i=1}^4 \frac{1}{R_i}$  – еквівалентна

провідність кола.

Потужність, що споживається при паралельному з'єднанні опорів  $i$ -ою віткою,

$$P_i = U^2 g_i = \frac{1}{R_i} U^2, \quad (1.9)$$

а - усім колом

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = U^2 \sum_{i=1}^n g_i = U^2 g_{екв}. \quad (1.10)$$

Змішане з'єднання опорів (рис. 1.1,в) – це таке з'єднання, коли частина з них з'єднана паралельно (опори  $R_2, R_3$ ), а інші - послідовно.

Еквівалентний опір всього кола (рис. 1.1,в) дорівнює

$$R_{екв} = R_1 + R_{23} + R_4, \quad (1.11)$$

$$\text{де } R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

Сила струму джерела живлення дорівнює

$$I = I_2 + I_3 = \frac{U}{R_{екв}} = U g_{екв}. \quad (1.12)$$

## ЛЕКЦІЯ №6.

### КЛАСИФІКАЦІЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ. НОМІНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ.

### УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ. ЗВАРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ. ЗАСТОСУВАННЯ ПОСТІЙНОГО ТА ЗМІННОГО СТРУМІВ В ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ

**Трансформатором** називають статичний індуктивний перетворювач, що має дві або більше індуктивно зв'язаних взаємно нерухомих обмоток та призначений для перетворення за допомогою магнітного поля однієї (первинної) системи змінного струму в іншу (вторинну), що має інші характеристики, зокрема, напругу та струм.

Трансформатор, що має дві електрично незв'язані між собою обмотки, називають **двообмотковим**. Обмотку, яка споживає енергію з електричної мережі, називають первинною, а обмотку, що віддає енергію споживачу – вторинною. Існують багатообмоткові трансформатори, які мають декілька первинних і вторинних обмоток.

Якщо первинна обмотка має вищу напругу (ВН), а вторинна – нижчу напругу (НН), то такий трансформатор називають **понижувальним**. У зворотному випадку трансформатор називають **підвищувальним**.

Під час передачі та розподілу електроенергії інколи виникає необхідність в електричному зв'язку трьох мереж з напругами  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ . Цю задачу можна вирішити за допомогою **триобмоткових трансформаторів**, у яких на магнітопрвід поміщають три ізольовані одна від одної обмотки. Такий трансформатор, що живиться з боку однієї з обмоток, дає можливість отримувати дві різні напруги і постачати електричною енергією дві різні групи споживачів. Крім обмоток вищої і нижчої напруги триобмотковий трансформатор має обмотку середньої напруги (СН).

Обмоткам трансформатора надають переважно циліндричну форму, виконуючи їх при малих струмах з круглого мідного ізолюваного проводу, а при великих струмах – з мідних шин прямокутного перерізу. Ближче до магнітопроводу розташовують обмотку нижчої напруги, тому що її легше ізолювати від нього, ніж обмотку вищої напруги.

Для зменшення величини сили струму у вторинній обмотці трансформатора виготовляють **трансформатори з розщепленими обмотками**.

### **Силкові трансформатори поділяються:**

**1. За кліматичним виконанням та категорією розташування** – на трансформатори, що призначені для роботи в нормальних умовах, і на трансформатори, які призначені для роботи в спеціальних умовах.

**2. За видом ізолюючого та охолоджуючого середовища** – на масляні та сухі трансформатори. Трансформатори з напругою 35 кВ і вище випускаються лише з масляним охолодженням і, як правило, встановлюються на відкритому повітрі.

**3. За типами, що характеризують призначення та особливості конструкції** – однофазні, трифазні, з можливістю регулювання під навантаженням (РПН), з перемикачами без збудження (ПБЗ) тощо.

**Залежно від кількості фаз розрізняють:** однофазні, трифазні та багатофазні трансформатори.

Найбільшого розповсюдження набули однофазні та трифазні трансформатори. Однофазні трансформатори використовуються лише у тих випадках, коли неможливе виготовлення трифазного трансформатора необхідної потужності або неможливе його транспортування. Трансформатори з іншим числом фаз використовують у спеціальних пристроях.

Трансформатори виготовляють за технічними умовами або відповідно до вимог стандартів. Параметри, що відносяться до того режиму роботи, для якого трансформатор призначений виробником, називають номінальними. При цих параметрах трансформатор може як завгодно довго працювати, не перегріваючись вище допустимих норм.

**У паспорті трансформатора (заводська табличка, що кріпиться до трансформатора) вказують такі номінальні величини:**

1. Номінальна первинна лінійна напруга  $U_{1H}$ .
2. Номінальна вторинна лінійна напруга  $U_{2H}$ .
3. Номінальний лінійний струм  $I_{1H}$  первинної обмотки.
4. Номінальна потужність  $S_H$ , під якою розуміють повну потужність трансформатора на затискачах вторинної обмотки.
5. Номінальний лінійний струм вторинної обмотки  $I_{2H}$ .
6. Схема і група з'єднань обмоток.
7. Напруга короткого замикання.

**За способом охолодження трансформатори поділяють на:** сухі з природним або штучним охолодженням та масляні з природною або штучною циркуляцією масла.

Умовні графічні позначення силових трансформаторів на електричних схемах наведені у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Умовні графічні позначення силових трансформаторів на електричних схемах

Тип трансформатора	Форма I	Форма II
	Трансформатор однофазний з магнітопроводом	
Трансформатор однофазний з магнітопроводом триобмотковий		
Трансформатор трифазний з магнітопроводом, з'єднання обмоток зірка-зірка з виведеною нейтральною точкою		
Трансформатор трифазний триобмотковий з магнітопроводом; з'єднання обмоток зірка з регулюванням під навантаженням – трикутник – зірка з виведеною нейтральною точкою		

**Автотрансформатором** називають трансформатор, у якого обмотки крім електромагнітного зв'язку мають ще електричне з'єднання.

Автотрансформатори найчастіше використовують для зв'язку мереж близьких за номінальною напругою з заземленою нейтраллю.

Автотрансформатори можуть бути понижувальними або підвищувальними, однофазними або трифазними. У трифазного трансформатора обмотки фаз з'єднують зіркою.

#### **Види охолоджувачів трансформаторів:**

1. Радіатори.
2. Гофрований бак.
3. Вентилятори.
4. Теплообмінники з примусовою циркуляцією масла, повітря.
5. Масляно-водяні охолоджувачі.

Найбільшого поширення на електричних станціях та підстанціях отримали **трифазні трансформатори**. Згідно з державним стандартом, початки обмотки ВН позначають літерами *A, B, C*, а кінці – літерами *X, Y, Z*. Початки обмотки НН позначають малими літерами *a, b, c*, а кінці – *x, y, z*. Нейтральну точку позначають літерою *N*.

Обмотки трифазних трансформаторів можуть бути з'єднані зіркою або трикутником. При сполученні зіркою назовні крім лінійних кінців виводять іноді нейтральну точку. Інколи використовують з'єднання обмоток зигзагом, коли фазну обмотку поділяють на дві частини, які розміщені на різних стержнях і з'єднують послідовно. При цьому другу половину обмотки під'єднують зустрічно відносно першої половини. Схему з'єднання двообмоткового трансформатора позначають у вигляді дробу, в чисельнику якого позначення схеми з'єднання обмотки ВН, а в знаменнику – обмотки НН (наприклад *Y/Y*).

#### **Умовні позначення трансформаторів та автотрансформаторів:**

– **призначення трансформатора** (може бути відсутнім):

*A* – автотрансформатор;

Е – електропічний;

– **кількість фаз:**

О – однофазний;

Т – трифазний;

– **розщеплення обмоток** (може бути відсутнім):

Р – розщеплена обмотка НН;

– **система охолодження:**

С – сухі трансформатори;

М – масляні трансформатори;

Н – трансформатори з негорючим рідким діелектриком;

– **особливість трансформатора** (може бути відсутнім):

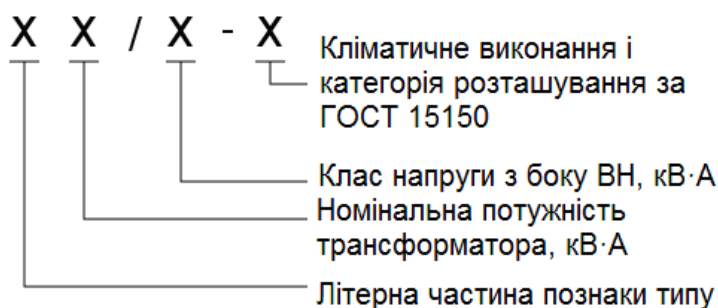
Т – триобмотковий трансформатор;

Н – трансформатор з регулюванням напруги під навантаженням (РПН);

– **призначення** (може бути відсутнім):

С – виконання трансформатора для власних потреб електростанцій;

П – для ліній передачі постійного струму.



Для автотрансформаторів при класах напруги з боку СН або НН 110 кВ і вище після класу напруги з боку ВН через косу риску вказують клас напруги з боку СН або НН.

**Приклад.** АТДЦТН-200000/330/110-У1 – автотрансформатор трифазний з масляним охолодженням за примусової циркуляції повітря та масла, триобмотковий, з регулюванням напруги під навантаженням, потужністю 200000 кВ·А, класу напруги обмотки ВН – 330 кВ, класу напруги обмотки – СН – 110 кВ, виконання У, категорія 1.

## ЛЕКЦІЯ №7.

# ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ. ПРИНЦИП ДІЇ ТА БУДОВА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. ОСНОВНІ РІВНЯННЯ

**Електрична машина постійного струму** – це електрична машина, призначена для перетворення механічної енергії в електричну постійного струму (генератор) або для зворотного перетворення (двигун).

**Двигуни постійного струму (ДПС) застосовують:** у промислових та транспортних електроприводах, пристроях автоматики, підйомних кранах, на прокатних станах, кранах важких виробництв, приводах з вимогами регулювання швидкості в широкому діапазоні та високим пусковим моментом, тягових електроприводах тепловозів, електровозів, теплоходів, кар'єрних самоскидів, електричних стартерах автомобілів, тракторів тощо.

Для зменшення номінальної напруги живлення в автомобільних стартерах застосовують двигун постійного струму з чотирма щітками. Завдяки цьому еквівалентний комплексний опір ротора зменшується майже в чотири рази. Статор такого двигуна має чотири полюси (дві пари полюсів). Пусковий струм в автомобільних стартерах становить близько 200 А. Режим роботи – короткочасний.

### **Переваги двигунів постійного струму:**

- простота будови та управління;
- практично лінійні механічна та регульовальна характеристики двигуна;
- легко регулювати частоту обертання;
- хороші пускові властивості – великий пусковий момент (найбільший пусковий момент у ДПС з послідовним збудженням);
- компактність по відношенню до інших двигунів (якщо використовувати сильні постійні магніти в статорі);



– можливість використання ДПС як в номінальному, так і в генераторному режимах через оборотність машин.

### Недоліки двигунів постійного струму:

- висока вартість;
- необхідність використання випрямлячів для живлення електродвигуна від мережі змінного струму;
- необхідність профілактичного обслуговування колекторно-щіткових вузлів;
- обмежений термін служби через зношення колектора.

Машина постійного струму оборотна, тобто конструкція електродвигуна постійного струму така сама, як і генератора постійного струму (рис. 7.1).

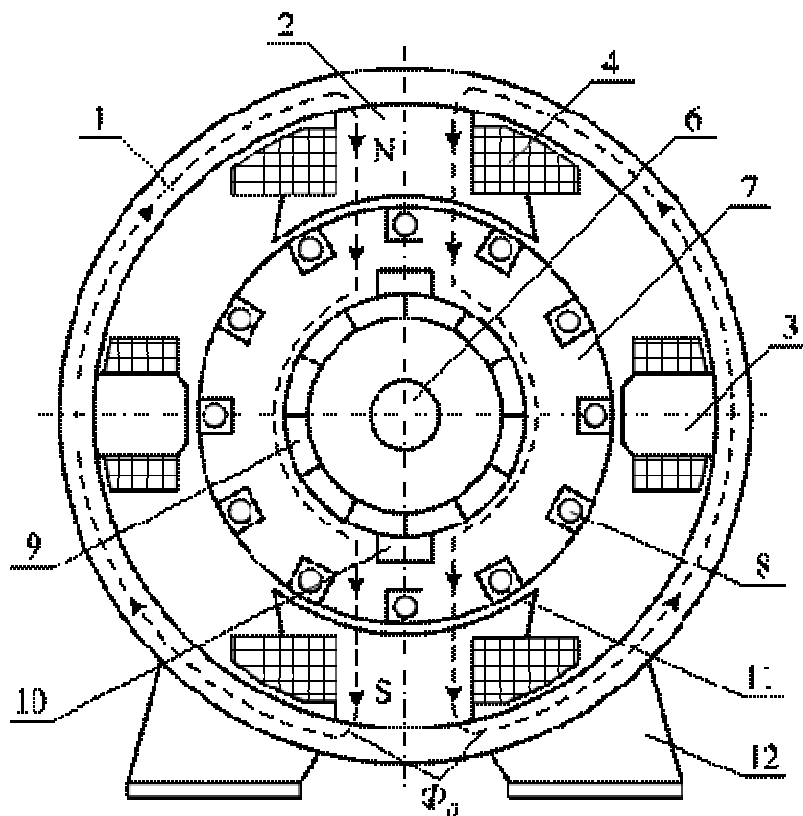


Рисунок 7.1 – Схема машини постійного струму

В електродвигуні явище електромагнітної індукції при взаємодії струму обмотки ротора (якоря) з основним магнітним полем зумовлює появу електромагнітного обертального моменту.

Дія генератора постійного струму ґрунтується на явищі електромагнітної індукції: збудженні змінної електрорушійної сили (ЕРС) в обмотці ротора (якоря), при його обертанні в основному магнітному полі, створюваному обмоткою збудження на полюсах.

Нерухома частина машини, яка називається статором (індуктором), складається з циліндричної станини (ярма) 1, до якої болтами кріпляться головні полюси 2 і додаткові полюси 3. Для зменшення магнітних втрат (втрат потужності від вихрових струмів і на перемагнічування) головні полюси виготовляються з окремих сталених пластин. Додаткові полюси виготовляються суцільними або також набираються з пластин. На сердечниках головних полюсів розміщені котушки обмоток збудження 4, на додаткових полюсах – котушки 5 обмоток додаткових полюсів.

До ярма з обох торців болтами кріпляться підшипникові щити, в яких розташовані підшипники, що несуть вал 6 обертової частини машини, яка називається якорем. На валу закріплене осердя 7 якоря, який для зменшення магнітних втрат набирається з ізольованих одна від одної сталених пластин. В пазах, розташованих на поверхні сердечника якоря, укладена обмотка 8. Обмотки якоря, збудження і додаткових полюсів виготовляють з мідних ізольованих проводів. Обмотка якоря складається з секцій, кінці яких приєднуються до розташованого на валу колектора 9.

Колектор – це циліндр, що складається з мідних пластин, ізольованих одна від одної і від вала. До колектора за допомогою пружин притискаються графітні, вуглеграфітні або металографітні щітки 10. Вони розташовані в щіткотримачах, закріплених на траверсі.

Обмотка збудження машини живиться постійним струмом і призначена для створення основного магнітного поля, показаного на рис. 1.1 умовно за допомогою двох ліній магнітної індукції (зображені штриховою лінією).

Головні полюси закінчуються полюсними наконечниками 11, що призначені для отримання на більшій частині окружності якоря однакового повітряного зазору між сердечником якоря і головними полюсами.

Додаткові полюси призначені для зменшення іскріння під щітками.

За допомогою колектора і щіток обертова обмотка якоря з'єднується з зовнішнім електричним колом.

На рис. 1.1 показана машина постійного струму з двома головними полюсами. В залежності від потужності та напруги машини постійного струму можуть мати і більшу кількість полюсів. При цьому відповідно збільшується кількість комплектів щіток і додаткових полюсів. Кріплення машини до фундаменту або металоконструкції здійснюється за допомогою лап 12.

Взаємодія струму  $I$  в обмотці якоря з магнітним потоком  $\Phi$ , який створюється обмотками, розташованими на полюсах машини, призводить у відповідності до закону Ампера, до виникнення електромагнітних сил, що діють на активні провідники обмотки, а отже електромагнітного моменту  $M$  :

$$M = k\Phi I, \quad (7.1)$$

де  $k$  – конструктивний параметр машини.

В провідниках обмотки якоря, що рухаються з кутовою швидкістю  $\omega$  в магнітному полі під дією моменту  $M$  у відповідності з законом Фарадея наводиться ЕРС обертання  $E$  :

$$E = k\Phi\omega, \quad (7.2)$$

яка спрямована в розглядуваному випадку на зустріч по відношенню до причини, яка викликала рух – ЕРС джерела живлення  $U$ .

У відповідності з другим законом Кірхгофа, для якірного кола машини справедливе рівняння:

$$U - E = IR. \quad (7.3)$$

Рівняння (7.1) – (7.3) – найпростіша, але достатня для розуміння головних процесів в електроприводі постійного струму модель. Для вирішення практичних задач вони повинні бути доповнені рівнянням руху з моментом втрат  $\Delta M$ , що входить в  $M_c$ :

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt},$$

а також рівняннями кола збудження для конкретної схеми електроприводу.

Розглянемо роль, яку відіграє ЕРС  $E$  в процесі перетворення енергії, що здійснюється електричною машиною. Якщо існував деякий усталений режим  $M_1 = M_{c1}$ , а потім  $M_c$  змінився, наприклад, зріс до величини  $M_{c2}$ , то для отримання нового усталеного режиму необхідно мати засіб, який змінив би  $M$ , привівши його у відповідність з новим значенням  $M_c$ . У двигуні внутрішнього згорання цю роль виконає оператор, збільшивши подачу палива; в паровій турбіні – спеціальний регулятор, який збільшить подачу пара. В електричній машині цю роль виконує ЕРС. Дійсно, у разі зростання  $M_c$  швидкість двигуна почне знижуватися, тоді зменшиться відповідно до (11) і ЕРС (за умови, що  $\Phi$ ,  $U$  та  $R$  сталі). Отже:

$$I = \frac{U - E}{R}.$$

Тому струм зросте, зумовлюючи тим самим зростання моменту. Двигун автоматично, без будь-яких зовнішніх впливів перейде в новий усталений режим. Такі процеси будуть мати місце при будь-яких величинах та знаках  $M_c$ , тобто ЕРС буде виконувати функцію регулятора, як у рушійному, так і в гальмівному режимах роботи машини.

## ЛЕКЦІЯ №8.

### ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ЗМІННОГО СТРУМУ. КЛАСИФІКАЦІЯ.

#### ПРИНЦИП ДІЇ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ.

#### НОМІНАЛЬНІ ДАНІ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

**Електричні машини змінного струму поділяються на:** асинхронні та синхронні.

**Асинхронні електричні машини** – це електричні машини, в яких кутова швидкість обертання ротора не співпадає з кутовою швидкістю обертання магнітного поля статора. Відносну різницю цих частот називають ковзанням та вона залежить від навантаження.

**За виконанням ротора асинхронні електродвигуни поділяються на:** асинхронні електродвигуни з фазним ротором, асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором.

**За числом полюсів асинхронні електродвигуни поділяються на:** 2-ох полюсні – 3000 об/хв.; 4-ох полюсні – 1500 об/хв.; 6-ти полюсні – 1000 об/хв.; 8-ми полюсні – 750 об/хв.; 10-ти полюсні – 600 об/хв.; 12-ти полюсні – 500 об/хв.

**Принцип дії асинхронної машини.** Один із елементів машини – статор використовується для створення магнітного поля, що обертається з певною швидкістю, а в замкнутих провідних пасивних контурах іншого елемента – ротора наводяться ЕРС, які викликають протікання струмів та утворення сил (моментів) при їх взаємодії з магнітним полем. Всі ці явища мають місце при несинхронному – асинхронному русі ротора відносно поля, що і дало машинам даного типу назву – асинхронні.

Статор, як правило, виконаний у вигляді декількох розміщених в пазах котушок, а ротор – у вигляді «білячої клітки» (короткозамкнений ротор) або у вигляді декількох котушок (фазний ротор), які з'єднані між собою, виведені на

кільця, що розміщені на валу, і з допомогою ковзаючих по ним щіток можуть бути замкнені на зовнішні резистори.

**Складність повного математичного опису процесів в асинхронній машині полягає в тому, що:**

1. Всі напруги, струми, потокозчеплення – змінні, тобто характеризуються частотою, амплітудою, фазою або відповідними векторними величинами.

2. Взаємодіють контури, які рухаються, взаємне розміщення яких змінюється в просторі.

3. Магнітний потік нелінійно зв'язаний з струмом намагнічування (проявляється насичення магнітного кола), активні опори роторного кола залежать від частоти (ефект витіснення струму), опори всіх кіл залежать від температури тощо.

В загальному випадку для машини, що має  $p$  пар полюсів ( $p = 1, 2, 3, \dots$ ), синхронна кутова швидкість  $\omega_0$ , рад/с, тобто швидкість поля, визначається за формулою:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}, \quad (8.1)$$

для частоти обертання  $n_0$ , об/хв., будемо мати:

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p}, \quad (8.2)$$

тобто, під час живлення від мережі  $f_1 = 50$  Гц синхронна частота обертання може бути 3000, 1500, 1000, 750, 600 ... об/хв. в залежності від конструктивного виконання машини.

Вирази (8.1) та (8.2) мають принциповий характер: вони показують, що для даної машини є лише одна можливість змінювати швидкість поля – змінювати частоту джерела живлення  $f_1$ .

**Процеси при  $\omega = \omega_0$ .** Нехай ротор обертається зі швидкістю  $\omega_0$ , тобто його обмотки не перетинають силових ліній магнітного поля і він не здійснює суттєвого впливу на процеси.

При грубому наближенні можна представити обмотку фази статора як деяку ідеальну котушку, до якої прикладена змінна напруга  $u_1 = U_{m1} \sin \omega t$ . Як правило, напругу та інші змінні, що змінюються синусоїдально позначають великими літерами, якщо інтерес представляють їх діючі значення, або додають точку зверху, якщо розглядають вектори, що мають амплітуду  $U_m = \sqrt{2U}$  та фазу  $\varphi$ .

Прикладена напруга  $\dot{U}_1$  врівноважується ЕРС самоіндукції  $\dot{E}_1$  (рис. 8.1,а,б):

$$E_1 = 4,44 \cdot \Phi \cdot f \cdot w_1 \cdot k_{об}, \quad (8.3)$$

де  $w_1$  – число витків обмотки;  $k_{об}$  – коефіцієнт, що залежить від конкретного виконання обмотки.

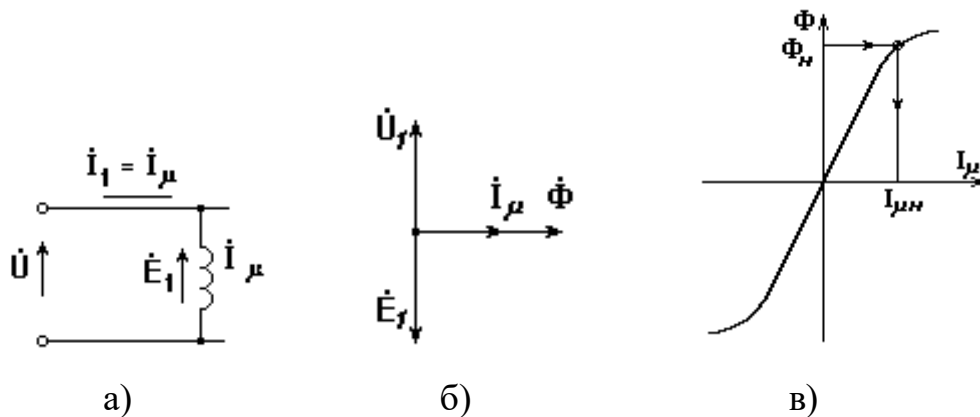


Рисунок 8.1 – Ідеалізована модель асинхронної машини при  $\omega = \omega_0$  (а), векторна діаграма (б) та крива намагнічення (в)

Наближено можна рахувати, що магнітний потік визначається прикладеною напругою, частотою та параметрами обмотки:

$$\Phi \approx \frac{U_1}{4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_{об}} \equiv \frac{U_1}{f_1}. \quad (8.4)$$

Струм в обмотці (фазі) статора – струм намагнічення визначається тільки магнітним потоком та характеристикою намагнічення машини (рис. 8.1,в):

$$I_1 = I_{10} = I_{\mu}.$$

В серійних машинах при  $U_1 = U_{1н}$  та  $f_1 = f_{1н}$ , тобто при номінальному магнітному потоці струм холостого ходу  $I_{10}$  складає, як правило, 30% – 40% від номінального струму статора  $I_{1н}$ .

#### **Процеси під навантаженням.**

При навантаженні вала  $\omega \neq \omega_0$  відмінність швидкостей  $\omega$  та  $\omega_0$  прийнято характеризувати ковзанням:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}. \quad (8.5)$$

Тоді в роторному колі з'явиться ЕРС  $E'_2$ , що наведена по закону електромагнітної індукції та рівна:

$$E'_2 = E_1 \cdot s, \quad (8.6)$$

штрихом позначені приведені величини, що враховують неоднаковість обмоток статора та ротора. Частота наведеної ЕРС складає:



$$f_2 = f_1 \cdot s. \quad (8.7)$$

Струм  $I'_2$  в роторному колі, що має опір  $R'_2$  та індуктивність  $L'_2$ , знаходиться таким чином:

$$I'_2 = \frac{E'_2}{\sqrt{(R'_2)^2 + (2\pi \cdot f_2 \cdot L'_2)^2}},$$

або після простих перетворень:

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X'_2)^2}}, \quad (8.8)$$

де  $X'_2$  – індуктивний опір розсіяння вторинного кола при частоті  $f_1$ .

Дане рівняння відповідає традиційній схемі заміщення фази асинхронного двигуна – рис. 8.2, в якій враховані параметри статора  $R_1$  та  $X_1$ .

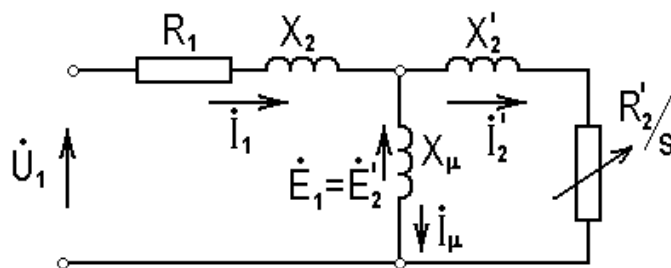


Рисунок 8.2 – Схема заміщення фази асинхронного двигуна

**Номінальні дані.** На емблемі або в паспорті асинхронного двигуна, як правило, вказані номінальні лінійні напруги при з'єднанні обмоток в зірку та

трикутник  $U_{1Y}/U_{H\Delta}$ , струми  $I_{1Y}/I_{1\Delta}$ , частота  $f_{1H}$ , потужність на валу  $P_H$ , частота обертання  $n_H$ , ККД  $\eta_H$ ,  $\cos\varphi_H$ .

Для двигунів з короткозамкненим ротором в каталозі приводяться кратності пускового струму  $k_I = \frac{I_{1п}}{I_{1H}}$ , пускового моменту  $k_M = \frac{M_{п}}{M_H}$ , критичного моменту  $\lambda = \frac{M_K}{M_H}$ , інколи – типові природні характеристики.

Для двигунів з фазним ротором вказується ЕРС на розімкнених кільцях загальмованого ротора  $E_{2H}$  при  $U_{1H}$  та номінальний струм ротора  $I_{2H}$ .

Приведених в каталозі даних недостатньо для визначення по них параметрів схеми заміщення та користуватися нею при всіх розрахунках, але по каталожним даним можна побудувати природну електромеханічну та механічну характеристики, скориставшись декількома опорними точками.

**Деяке представлення про характеристики сучасних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором можна отримати з наступних даних:**

- $s_H = 0,01 - 0,05$  (менші значення у двигунів більшої потужності – сотні кВт);
- $k_I = 5 - 7$ ;
- $k_M = 1,3 - 1,6$ ;
- $\lambda = 1,8 - 3,0$ .

Як випливає з цих даних, природні властивості асинхронних двигунів досить несприятливі: малий пусковий момент, великий пусковий струм, обмежені можливості керування координатами.

**Двигуни з короткозамкненим ротором** – найпоширеніші електричні машини – до недавнього часу використовувались лише в нерегульованому електроприводі, оскільки практично єдина можливість ефективно регулювати швидкість – змінювати частоту напруги, прикладеної до статорних обмоток. В наш час частотно-керований електропривод (рис. 8.3,а) є основним типом регульованого електропривода.

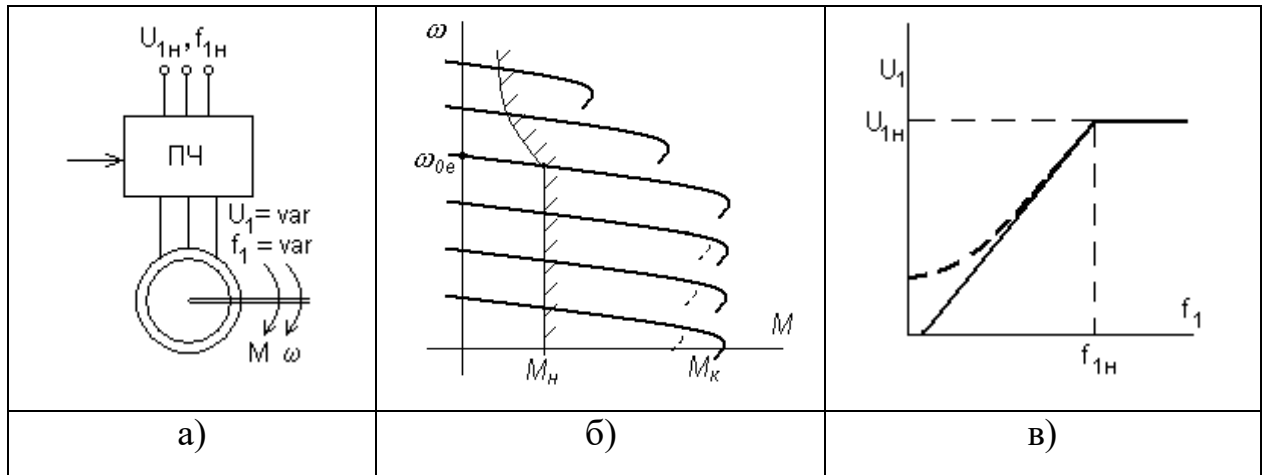


Рисунок 8.3 – Схема частотно-регульованого електропривода (а), механічні характеристики (б), залежність напруги від частоти (в)

**Частотне регулювання.** Як випливає з (8.1)  $\omega_0$  пропорційна частоті  $f_1$  та не залежить для даної машини від будь-яких інших величин. При цьому, змінюючи  $f_1$ , необхідно брати до уваги амплітуду напруги: при зменшенні  $f_1$  для збереження магнітного потоку на деякому, наприклад, номінальному рівні у відповідності з (8.4) необхідно змінювати  $E_1 \approx U_1$  так, щоб:

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1H}}{f_{1H}} = \text{const.}$$

При збільшенні частоти від номінальної при  $U_1 = U_{1H}$  потік у відповідності з (8.4) буде зменшуватися.

Механічні характеристики при частотному регулюванні у разі припущення, що  $E_1 = U_1$ , показані на рис. 8.3,б.

Опір кола статора, яким ми нехтуємо, здійснює вплив на характеристики особливо малих машин (кВт) – пунктир на рис. 8.3,б, оскільки при зниженні частоти  $E_1 < U_1$ . Для компенсації цього впливу, як правило, трохи підвищують напругу на низьких частотах – пунктир на рис. 8.3,в.

**Оцінка частотного регулювання швидкості по введених раніше показникам:**

1. Регулювання двохзонне – вниз ( $\frac{U_1}{f_1} \approx const$ ) та вверх ( $U_1 = U_{1н}, f_1 > f_{1н}$ )

від основної швидкості.

2. Діапазон регулювання в розімкненій структурі (8–10):1. Стабільність швидкості – висока.

3. Регулювання плавне.

4. Допустиме навантаження:  $M = M_{н}$  – у разі регулювання вниз від основної швидкості ( $\Phi \approx const$ ),  $P = P_{н}$  – у разі регулювання вверх від основної швидкості ( $\Phi < \Phi_{н}$ ).

5. Спосіб економічний в експлуатації – немає додаткових елементів, що розсіюють енергію; малі втрати при перехідних процесах; гнучкість керування координатами в замкнутих структурах. Сучасні методи векторного керування забезпечують частотно-керованому електроприводу практично ті ж властивості по керованості, які має найідеальніший електропривод постійного струму.

6. Спосіб потребує використання перетворювача частоти (ПЧ) – пристрою, що керує частотою та амплітудою вихідної напруги.

## ЛЕКЦІЯ №9.

### КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ. ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

Електричні машини та трансформатори, що встановлені на електростанціях, підстанціях, лініях електропередач потребують управління і захисту від пошкоджень та ненормальних режимів. Для цієї мети застосовують численні електричні апарати первинних (силових) кіл, а також апарати управління та контролю, що відносяться до вторинних кіл.

**Електричні апарати класифікують за:** номінальною напругою та родом встановлення – для внутрішньої та зовнішньої установки.

**Електричні апарати первинних кіл за своїм призначенням поділяються на такі групи:**

- комутаційні апарати – силові вимикачі, вимикачі навантаження, роз'єднувачі, відокремлювачі, короткозамикачі, контактори, пускачі тощо;
- захисні апарати – плавкі запобіжники, розрядники;
- вимірювальні трансформатори струму та напруги;
- струмообмежуючі реактори, заземлюючі реактори, резистори тощо.

**Електричні апарати управління та контролю призначені для:**

- дистанційного управління комутаційними апаратами (неавтоматичне, автоматичне);
- сигналізації положення комутаційних апаратів та інші види сигналізації;
- дистанційного вимірювання електричних та неелектричних величин.

Крім того, застосовують системи телеуправління, телесигналізації та телевимірювань.

Особливе місце займають апарати релейного захисту та системної автоматики, які забезпечують автоматичне відключення пошкоджених елементів обладнання та ліній, їх автоматичне повторне ввімкнення (АПВ),

автоматичне регулювання збудження (АРЗ) генераторів, автоматичне регулювання частоти системи тощо.

Апарати управління, контролю, сигналізації, релейного захисту та автоматики утворюють вторинні кола, які електрично незв'язані з основними (первинними) колами. Вони живляться від малопотужних генераторів (аккумулятори, трансформатори власних потреб тощо), які є незалежними від основних кіл енергосистеми.

Сукупність апаратів первинних та вторинних кіл однієї ступені напруги, що відповідним чином з'єднані, включаючи допоміжні пристрої, називається **розподільним пристроєм (РП)**.

Розподільний пристрій може бути поданий у вигляді електричної схеми.

**Електрична схема** – це графічне зображення порядку електричних з'єднань елементів обладнання за допомогою умовних символів у відповідності з дійсною схемою, при цьому відповідність схеми в просторовому розташуванні обладнання є необов'язковою.

**Вимикачі призначені** для ввімкнення, вимкнення та повторного ввімкнення електричних кіл. Вони обладнані електромагнітними, пневматичними, пружинними та іншими приводами для автоматичного і неавтоматичного управління. Крім вимикачів, що встановлюються на лініях є вимикачі, що встановлюються між секціями збірних шин.

**Роз'єднувачі** призначені для ізоляції на час ремонту з метою безпеки електричних машин, трансформаторів, ліній, апаратів та інших елементів системи від суміжних частин, що знаходяться під напругою. Роз'єднувачі здатні розмикати електричне коло тільки при відсутності в ньому струму або при дуже малому струмі. Є лінійні та шинні роз'єднувачі. Роз'єднувачі можуть виготовлятися в комплекті із заземлюючими ножами.

**Струмообмежуючі реактори** являють собою індуктивні опори, призначені для обмеження струму короткого замикання (КЗ). В залежності від місця включення розрізняють реактори лінійні та секційні.

**Вимірювальні трансформатори струму** необхідні в кожному колі для живлення струмових обмоток вимірювальних приладів та релейного захисту.

**Вимірювальні трансформатори напруги** необхідні для живлення напругових обмоток вимірювальних приладів та реле. Вони приєднуються до збірних шин, а також до кіл генераторів, трансформаторів, ліній тощо.

**Вимоги до електричних апаратів первинних кіл:**

- стійка ізоляція;
- в робочих режимах електричні апарати повинні проводити відповідні робочі струми досить тривалий час і при цьому не перегріватись;
- стійкість до дії струмів короткого замикання;
- надійність;
- простота та економічність.

В табл. 9.1 наведені номінальні параметри електричних апаратів.

Таблиця 9.1 – Номінальні параметри електричних апаратів

Номінальні напруги, кВ	3	6	10	20	35	110	150	220	330	500	750
Максимальні робочі напруги, кВ	3,5	6,3	11,5	23	40,5	126	172	252	363	525	787

**ЛЕКЦІЯ №11.**  
**ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ.**  
**НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ**

Електрична схема пристрою містить у собі крім активних елементів (електронних приладів) пасивні компоненти: резистори, конденсатори та котушки індуктивності. **Резистори** забезпечують необхідний режим активних елементів. **Конденсатори** служать для зв'язку окремих кіл і вузлів змінного струму, забезпечуючи в той же час їхній поділ на постійному струмі. **Котушки індуктивності** використовуються для створення коливальних контурів, дроселів, різних фільтрів тощо.

**Електронними** називаються пристрої, у яких перетворення електричної енергії й сигналів реалізується за допомогою електронних активних елементів (електронних приладів). Найбільш простим видом перетворення є випрямлення змінного струму, більш складними є перетворення постійного струму в змінний за допомогою інверторів, посилення та перетворення сигналів різної форми.

**Усі активні елементи (електронні прилади) поділяються на:**

- електровакуумні;
- напівпровідникові.

**У електровакуумних приладах** перенесення електричних зарядів здійснюється у вакуумі чи газі, що заповнює прилад. Носіями електричного заряду є електрони, джерелом яких служить катод. Роль колектора виконує анод.

В залежності від призначення приладу між анодом і катодом вводяться керуючі електроди – сітки та екран, що регулюють інтенсивність і швидкість електронів.

**Залежно від характеру процесу заряду всі електровакуумні прилади поділяють на:** електронні й газорозрядні.



**До електронних приладів відносять:** електронні лампи, електронно-променевої трубки, вакуумні фотоелементи. У цих приладах процес переносу носіїв розряду від катода до анода відбувається у вакуумі і здійснюється винятково катодними електронами.

**До газорозрядних приладів відносять:** газорозряди, стабілітрони, тиратрони, ртутні випрямлячі. У них фізичні процеси протікають у середовищі інертних газів чи парів ртуті. В процесі переносу електричних зарядів крім катодних електронів беруть участь електрони та позитивні іони, що виникли внаслідок іонізації газу.

**У напівпровідникових приладах** перенесення електричних зарядів відбувається у твердому тілі (напівпровіднику). **До напівпровідників відносять:** діоди, транзистори, тиристоры, фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, світлодіоди.

**Напівпровідникові прилади поділяються на:**

- біполярні;
- уніполярні.

**У біполярних напівпровідникових приладах** у перенесенні електричного заряду в робочому проміжку беруть участь основні та неосновні носії заряду.

Для напівпровідника з провідністю *p*-типу основними носіями заряду є позитивно заряджені частки – дірки, а неосновними негативно заряджені частки – електрони (позначають «*n*»). Відповідно для напівпровідника з провідністю *n*-типу основними носіями є електрони, а неосновними – дірки.

**В уніполярних приладах** перенесення електричних зарядів здійснюється основними носіями напівпровідника провідного шару.

**За способом керування потоком електричних зарядів (електричним струмом) усі розглянуті активні елементи поділяються на:**

- польові;
- струмові.


У польових приладах керування здійснюється електричним полем. До них відносять електровакуумні та уніполярні напівпровідникові прилади.


У струмових приладах керування здійснюється електричним струмом. До струмових приладів відносять біполярні транзистори.


Напівпровідниковий діод являє собою двошарову структуру, що утворюється в одному кристалі. Один шар має електропровідність  $n$ -типу, а інший  $p$ -типу.

Ці шари розділені шаром із власною електропровідністю. У ньому зосереджений просторовий заряд позитивно заряджених іонів донорної домішки з боку напівпровідника  $n$ -типу та негативно заряджених іонів акцепторної домішки – з боку напівпровідника  $p$ -типу. Цей шар називається замикаючим, оскільки його електричне поле з напруженістю  $E$  перешкоджає руху основних носіїв напівпровідників та сприяє руху неосновних носіїв.


#### Умовні позначення електронних приладів:


1.  – діод випрямляючий;

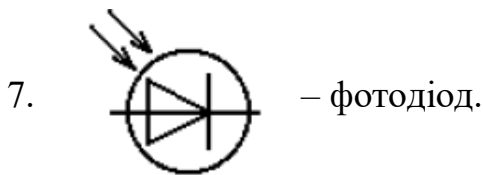
2.  – стабілітрон;

3.  – тунельний діод;

4.  – варікап;

5.  – світлодіод;

6.  – НВЧ-діод;



### **Маркування електронних приладів:**

- 1-й елемент (буква або цифра) позначає вихідний матеріал: 1 або Г – германій, 2 або Д – кремній тощо;
- 2-й елемент (буква) характеризує клас чи групу діодів: Д – випрямляч, А – НВЧ, С – стабілітрон, Н – тунельний тощо;
- 3-й елемент (тризначний номер) говорить про групу застосування (у довіднику);
- 4-й елемент (буква) – різновид даного виду діода.

**Приклад.** КС147А – кремнієвий стабілітрон малої потужності типу А.

**Транзистором** називають електроперетворювальний напівпровідниковий прилад із дірчато-електронними переходами, який має три виводи та призначений для посилення потужності електричного сигналу.

### **За принципом дії транзистори поділяються на:**

- біполярні;
- польові.

Виконання **біполярного транзистора** засноване на явищах взаємодії двох близько розташованих *p-n*-переходів.

**Транзистор** являє собою тришарову структуру, у якій шар провідника одного типу знаходиться між двома шарами напівпровідника іншого типу.

Середній шар транзистора називається базою, один крайній шар – колектором, а інший крайній шар – емітером. Кожен шар має свій вивід, за допомогою якого транзистор підключається в коло. Залежно від напруг між виводами транзистора він працює в різних режимах.

**Польові транзистори** відносяться до малопотужних приладів.

**Тиристор** – напівпровідниковий прилад із двома стійкими станами, що має три чи більше переходів, що можуть бути переключені із закритого стану у

відкритий і навпаки. Найбільш поширена структура тиристора з чотирма шарами напівпровідників, що чергуються *p-n*-типів.

**Тиристри** поділяються на: керовані та некеровані.

**Некеровані** називаються діодними тиристорами та мають два виводи – анодний і катодний (динистор).

## ЛЕКЦІЯ №12.

### КЛАСИФІКАЦІЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМ. ОСОБЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ ТА МАРКУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМ

**Інтегральні мікросхеми (ІМС)** – мікроелектронні вироби, що містять не менше п'яти активних елементів (транзисторів, діодів) і пасивних елементів (резисторів, конденсаторів, дроселів), що виготовляються в єдиному технологічному процесі, електрично з'єднані між собою, укладені в загальний корпус та являють собою нероздільне ціле.

**За технологією виготовлення інтегральні мікросхеми поділяють на:**

- напівпровідникові;
- гібридні;
- інші.

**Напівпровідникова інтегральна мікросхема** – інтегральна мікросхема, всі елементи і міжелементні з'єднання якої виготовлені в об'ємі і на поверхні провідника.

**Гібридна інтегральна мікросхема** – інтегральна мікросхема, пасивні елементи якої виготовлені за допомогою нанесення різних плівок на поверхні діелектричної підкладки, а активні елементи – безкорпусні напівпровідникові прилади.

**За функціональним призначенням інтегральні мікросхеми поділяються на:**

- **аналогові** – призначені для перетворення й обробки сигналів, що змінюються за законом неперервної функції;
- **цифрові** – призначені для перетворення та обробки сигналів, виражених у двійковому чи іншому коді.

**Надвисокочастотні (НВЧ) інтегральні мікросхеми** являють собою клас інтегральних мікросхем, що виконують функції генерування, посилення та

перетворення електромагнітних коливань у діапазоні надвисоких частот (300 МГц – 3000 ГГц) у колах із розподіленими параметрами, що служать як лінії передачі електромагнітних коливань.

**За ступенем інтеграції всі інтегральні мікросхеми поділяються на:**

- МІС: 1-й ступінь інтеграції (до 10 елементів); 2-й ступінь інтеграції (від 10 до 100 елементів);
- СІС – 3-й ступінь інтеграції (від 100 до 1000 елементів);
- ВІС – (від 1000 до 10000 елементів);
- НВІС – (>10000 елементів).

**Напівпровідникові інтегральні мікросхеми (НІМС)** складаються з окремих областей кристала, кожна з яких виконує функцію транзистора, діода, резистора або конденсатора.

Роль конденсатора в напівпровідникових інтегральних мікросхемах виконують *p-n*-переходи, замкнені зворотною постійною напругою. Резистори являють собою ділянки легованого напівпровідника з двома виводами. Дроселі в напівпровідникових інтегральних мікросхемах створювати дуже важко, тому схеми проектують так, щоб виключити застосування активних елементів.

Усі елементи мікросхеми одержують у єдиному технологічному циклі в кристалі напівпровідника. Напівпровідникові інтегральні мікросхеми в зборі поміщають у металевий чи пластмасовий корпус.

Більшість напівпровідникових інтегральних мікросхем споживають від джерел живлення потужність близько 50 – 200 мВт. Вони можуть працювати до частот 20 – 300 МГц.

**Логічні інтегральні мікросхеми**, як правило, являють собою пристрої з декількома входами та виходами. У них як вхідні, так і вихідні напруги можуть приймати лише визначені значення. При цьому вихідна напруга залежить від наявності чи відсутності напруг на різних входах пристрою. Основними параметрами цих мікросхем є: вхідна і вихідна напруги та швидкодія.

**До основних переваг інтегральних мікросхем відносять:** високу надійність, малі массогабаритні розміри, високу швидкодію та економічність.

**Умовне позначення типу інтегральної мікросхеми складається з чотирьох елементів:**

1. Цифра, що вказує конструктивно-технологічне виконання інтегральної мікросхеми:

- 1; 5; 7 – напівпровідникові;
- 2; 4; 8 – гібридні;
- 3 – інші.

2. Дві чи три цифри, що позначають порядковий номер розробки серії інтегральної мікросхеми (від 0 до 999).

3. Дві літери, що означають функціональне призначення інтегральної мікросхеми.

4. Порядковий номер розробки інтегральної мікросхеми за функціональною ознакою.

Інтегральні мікросхеми, призначені для електронних пристроїв широкого застосування, мають на початку літеру **К**.

При наявності розбіжностей окремих електричних параметрів того самого типу інтегральної мікросхеми наприкінці додається буква (від А до Я).

**Приклад.** ДО140УД14А – мікросхема для пристроїв широкого застосування; 1 – напівпровідникова; 40 – порядковий номер серії (серія 140); УД – операційний підсилювач; 14 – порядковий номер операційного підсилювача в серії 140; А – з коефіцієнтом підсилення визначеного значення.

## ЛЕКЦІЯ №13.

### ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ. ОБ'ЄДНАНА ЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА УКРАЇНИ.

#### ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

**Об'єднана енергетична система (ОЕС)** – сукупність електростанцій, електричних та теплових мереж, інших об'єктів електроенергетики, що об'єднані спільним режимом виробництва, передачі та розподілу електричної та теплової енергії при їх централізованому управлінні.

Розподіл електроенергії в ОЕС України здійснюють акціонерні енергопостачальні компанії. Транспортування електричної енергії від енергогенеруючих до енергопостачальних компаній магістральними та розподільчими електромережами держави забезпечує НЕК «Укренерго».

**Об'єднана енергетична система об'єднує 8 регіональних електроенергетичних систем:** Дніпровську (Кіровоградська, Дніпропетровська, Запорізька області), Донбаську (Донецька та Луганська області), Західну (Львівська, Волинська, Закарпатська, Рівненська, Івано-Франківська області), Кримську (Автономна Республіка Крим), Південну (Херсонська, Миколаївська, Одеська області), Південно-Західну (Тернопільська, Вінницька, Чернівецька, Хмельницька області), Північну (Сумська, Полтавська, Харківська області) та Центральну (Київська, Чернігівська, Житомирська, Черкаська області), що пов'язані між собою системоутворюючими та міждержавними високовольтними лініями електропередач.

ОЕС України працює синхронно (паралельно) з енергетичними системами Білорусі, Російської Федерації та Молдови, а через «Бурштинський енергоострів» з ОЕС Польщі, Словаччини, Угорщини та Румунії, що дозволяє експортувати електроенергію як в країни СНД, так і в країни Центральної та Східної Європи.



**В «Бурштинському енергоострові» сформовані електричні зв'язки напругою 220, 400 і 750 кВ, а саме:**

– з угорською енергосистемою: одна ЛЕП 750 кВ, одна ЛЕП 400 кВ, дві ЛЕП 220 кВ;

– з словацькою енергосистемою: одна ЛЕП 400 кВ;

– з румунською енергосистемою: одна ЛЕП 400 кВ.

Крім того в Західній енергосистемі Добротвірська ТЕС – задіяна для експорту електроенергії в Польщу.

Одними з основних проблем об'єднаної енергосистеми України є необхідність заміни близько 20% ЛЕП та близько 19% обладнання підстанцій, що відпрацювало свій ресурс. Ці проблеми призводять до понаднормових втрат електроенергії під час її транспортування.

В Україні побудовано п'ять атомних електростанцій: Чорнобильська, Південноукраїнська, Хмельницька, Запорізька та Рівненська, а також існує чотири недобудовані АЕС: Харківська атомна теплоелектроцентраль (АТЕЦ), Одеська АТЕЦ, Кримська АЕС та Чигиринська АЕС.

26 квітня 1986 року на енергоблоці №4 Чорнобильської АЕС сталася аварія – техногенна катастрофа, в результаті якої був повністю зруйнований реактор і відбувся великий викид радіоактивних речовин. Протягом 1991 – 2000 років енергоблоки Чорнобильської АЕС були почергово закриті. 15 грудня 2000 року розпочався процес зняття зупинених енергоблоків з експлуатації.

За кількістю ядерних реакторів Україна посідає дев'яте місце в світі та п'яте в Європі. В Україні діють чотири атомні електростанції з 15 енергоблоками (12 енергоблоків було збудовано в СРСР), які виробляють 40-60% від загального обсягу електроенергії в Україні.

**Запорізька АЕС** (м. Енергодар, Запорізької області) з 6 енергоблоками загальною потужністю 6000 МВт є найпотужнішою в Європі та виробляє близько половини електроенергії, що виробляється на АЕС України (рис. 5.1).



Рисунок 13.1 – Запорізька АЕС

**Південноукраїнська АЕС** (м. Южноукраїнськ, Миколаївської області) з 3 енергоблоками загальною потужністю 3000 МВт виробляє близько 25% електроенергії, виробленої на АЕС України. Потужності АЕС достатньо для того, щоб задовольнити потреби в електроенергії населення, промисловості та сільського господарства Миколаївської, Херсонської, Одеської областей та АР Крим на 96%.

**Рівненська АЕС** (м. Вараш, Рівненської області) з 4 енергоблоками загальною потужністю 2835 МВт протягом останніх років виробляє близько 16% електроенергії, що виробляється на АЕС України.

**Хмельницька АЕС** (м. Нетішин, Хмельницької області) з 2 енергоблоками загальною потужністю 2000 МВт, основне призначення якої – покриття дефіциту електричних потужностей в Західному регіоні України, виробляє близько 9% електроенергії, що виробляється на АЕС України.

Теплоелектростанції (ТЕС) є основними станціями, що забезпечують електричною енергією споживачів в напівпікові і, разом з

гідроелектростанціями (ГЕС) та гідроакумулюючими електростанціями (ГАЕС), у пікові години.

**Найбільші теплоелектростанції України розташовані:** на Донбасі (Вуглегірська, Зуївська, Курахівська, Луганська, Старобешівська, Слов'янська), Придніпров'ї (Запорізька, Криворізька, Придніпровська), в Харківській (Зміївська), Івано-Франківській (Бурштинська), Вінницькій (Ладизинська), Київській (Трипільська) та Львівській (Добротвірська) областях з встановленими електричними потужностями 500 – 2820 МВт. Найсучасніша в Україні ТЕС введена в експлуатацію в 2013 році в Алчевську (ТЕС Алчевського металургійного комбінату) встановленою електричною потужністю 303 МВт.

**Найбільші теплоелектроцентралі України розташовані в:** Харківській області, Києві, Сєверодонецьку, Кременчуці, Черкасах, Чернігові, Білій Церкві, Краматорську, Шостці, Калуші, Херсоні, Одесі з встановленими електричними потужностями 68 – 700 МВт.

До найбільших гідроелектростанцій (ГЕС) та гідроакумулюючих електростанцій (ГАЕС) України відносяться: електростанції Дніпровського та Дністровського каскадів, Ташлицька ГАЕС та Теремле-Ріцька ГЕС.

**Найбільше електроенергії в Україні виробляється каскадом ГЕС на Дніпрі:** Київська (м. Вишгород, 408,5 МВт), Канівська (м. Канів, 444 МВт), Кременчуцька (м. Світловодськ, 632 МВт), Дніпродзержинська (м. Дніпродзержинськ, 352 МВт), Дніпровська (м. Запоріжжя, 1569 МВт) та Каховська (м. Нова Каховка, 351 МВт). До складу Дніпровського каскаду входить також Київська ГАЕС з встановленими потужностями: 235,5 МВт – в турбінному режимі та 135 МВт – в насосному режимі, принцип роботи якої полягає в наступному: коли споживання електроенергії скорочується (наприклад, в нічний час), перекачується вода з нижнього басейну у верхній, тобто накопичується (акумулюється) вода, а в часи пікових навантажень перетворюється енергія цієї води в електричну, пропускаючи воду через турбіни, виробляючи більше електроенергії.

**В Україні працюють ГЕС та ГАЕС, що побудовані на Дністровському каскаді:** Дністровська ГЕС-1 (м. Новодністровськ, Чернівецька область, 702 МВт), Дністровська ГЕС-2 (с. Нагоряни, Вінницька область, 40,8 МВт) та Дністровська ГАЕС (с. Розкопинці, Чернівецька область). Основними функціями Дністровської ГАЕС є регулювання частоти та графіка навантажень в енергосистемі України, формування аварійного резерву. Потужність гідроагрегатів складає 648 МВт в турбінному режимі та 842 МВт в насосному режимі.

Окрім ГЕС та ГАЕС, в державі експлуатуються так звані малі гідроелектростанції (МГЕС). Потужність МГЕС в Україні становить до 10 МВт. Згідно з сучасною міжнародною класифікацією до малих ГЕС відносяться гідроелектростанції потужністю від 1 до 30 МВт, до міні-ГЕС – від 100 до 1000 кВт, до мікро-ГЕС – не більше 100 кВт.

**Найбільшими вітровими електростанціями (ВЕС) України є:** Ботієвська, Новоазовська, Очаківська, Краснодарська.

**Найбільшими сонячними електростанціями (СЕС) України є:** Перове, Охотникове, Дунайська, Старокозача, Болград.

**Основними споживачами електричної енергії ОЕС України є:** промисловість – 55%, населення – 26%, житлово-комунальне господарство – 17%, сільське господарство – 2%.

## ЛЕКЦІЯ №14.

### КЛАСИФІКАЦІЯ СХЕМ. ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ ЧИТАННЯ

Під час вивчення роботи різного електроустаткування, верстатів, механізмів, їх налагодження, ремонту або монтажу часто виникає потреба у виявленні принципового зв'язку між окремими складовими частинами та елементами устаткування без уточнення його конструктивних особливостей. Для цього і призначаються різні види та типи схем. При читанні схеми можна легко та швидко зрозуміти принцип дії машини, пристрою або установки.

**Схема** є конструкторським документом, на якому показано у вигляді умовних зображень або позначень складові частини виробу (установки) та зв'язки між ними.

Види схем визначаються залежно від видів елементів та зв'язків, що входять до складу виробу, і позначаються літерами російського алфавіту.

#### **Розрізняють десять видів схем:**

Э – електрична;	Р – енергетична;
В – вакуумна;	Х – газова;
Г – гідравлічна;	Е – розподілу;
Л – оптична;	К – кінематична;
П – пневматична;	С – комбінована.

Залежно від основного призначення схеми підрозділяють на типи та позначають арабськими цифрами.

#### **Розрізняють вісім типів схем:**

1 – структурна;	5 – підключення;
2 – функціональна;	6 – загальна;
3 – принципова (повна);	7 – розташування;
4 – з'єднань (монтажна);	0 – об'єднана.

Найменування та код схеми визначаються її видом і типом. Код схеми повинен складатися з літерної частини, що визначає вид схеми, і цифрової частини, яка визначає тип схеми.

#### **Приклад.**

Схема електрична принципова – ЭЗ; схема електрогідравлічна принципова – СЗ; схема електрична з'єднань та підключення – ЭО.

Усі схеми в сукупності мають містити відомості, що достатні для проектування, експлуатації, контролю та ремонту виробу. Між схемами одного комплекту здійснюється однозначний зв'язок за допомогою літерно-цифрових позиційних позначень. Він необхідний для швидкого відшукування тих самих елементів або пристроїв, що входять у різні схеми.

Правила виконання схем встановлюються державними стандартами. Як правило, схеми виконують без дотримання масштабу, дійсне просторове розташування складових частин не враховується або враховується приблизно. Електричні елементи та пристрої зображують на схемі у знеструмленому стані. Елементи та пристрої, що приводяться в дію механічно, зображують у нульовому або відключеному положенні. Позначення на схемі наносять зверху над графічним позначенням елемента або праворуч від нього.

Дані про елементи повинні бути записані в перелік елементів. Перелік елементів оформлюють у вигляді таблиці з графами: «Поз. позначення» – позиційне позначення; «Найменування»; «Кільк.» – кількість; «Примітка».

**Для зображення на електричних схемах елементів та установок застосовують наступні графічні позначення:**

- умовні графічні позначення, встановлені відповідними стандартами єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД);
- прямокутники довільних розмірів з пояснювальним текстом;
- зовнішній обрис;
- прямокутники, виконані штрих-пунктирними лініями для виділення пристроїв та функціональних груп.

## **Текстова інформація на схемах може мати наступні форми запису:**

- умовні літерно-цифрові позначення;
- найменування елементів, сигналів, функціональних груп тощо;
- суцільний текст, наприклад, технічні вимоги, пояснення;
- текст, розбитий на графи, наприклад, таблиці, перелік елементів.

## **Послідовність читання схем:**

1. Загальне ознайомлення зі схемою. Встановлення з умовних зображень та позначень елементів схеми, видів та типів, до яких вона відноситься. Це виконується майже миттєво, швидким оглядом схеми.

2. Ознайомлення зі всіма елементами схеми, з їх зображеннями та позначеннями. Спеціаліст бачить на схемах конкретні деталі, готові вироби, прилади, зв'язки з їх характеристиками та принципами роботи.

3. Визначення точних найменувань та позначень всіх елементів, уточнення їх характеристик. Для цього використовується специфікація, а також умовні літерні позначення на самій схемі.

4. Повне з'ясування принципу роботи всього пристрою та призначення всіх його елементів шляхом послідовного виявлення зв'язків між ними.

В такій послідовності весь процес читання проходить як одне ціле, незалежно від виду та типу схеми.

## **Виконання схем різних типів.**

**Структурна схема** визначає основні функціональні частини виробу (машини, пристрою, установки), їх призначення та взаємозв'язки і служить для загального ознайомлення з виробом. На структурній схемі розкривається не принцип роботи окремих функціональних частин виробу, а тільки взаємодія між ними. Тому складові частини виробу зображують спрощено, у вигляді прямокутників довільної форми. Графічна побудова схеми повинна давати найбільш наочне уявлення про послідовності взаємодії функціональних частин у виробі.

На схемі позначають найменування функціональних частин об'єкта, що, як правило, вписуються всередину прямокутника. На лініях взаємозв'язку

рекомендується стрілками позначати напрям ходу процесів, які проходять у виробі. На схемі допускається поміщати пояснювальні написи, діаграми, таблиці тощо, що визначають послідовність процесів у часі, а також указувати параметри в характерних точках (струми, напруги тощо), форми імпульсів та ін. На підставі структурної схеми розробляють інші типи схем – функціональну, принципову.

**Функціональна схема** роз'яснює певні процеси, що проходять в окремих функціональних колах виробу (машини, пристрою, установки) або у виробі в цілому. Цими схемами користуються для вивчення принципів роботи виробів, а також при їх налагодженні, контролі, ремонті. Функціональна схема порівняно зі структурною докладніше розкриває функції окремих елементів і пристроїв. Функціональні частини та зв'язки між ними на схемі зображують у вигляді умовних графічних позначень, які встановлені відповідними державними стандартами та ЄСКД.

**Принципова схема** визначає повний склад елементів виробу (машини, пристрою, установки) та дає детальне уявлення про принцип роботи виробу. Вона є основою для розробки інших конструкторських документів – схеми з'єднань та розташування, креслень конструкції виробу – і є найповнішим документом для вивчення принципу роботи виробу. Елементи в схемі зображують у вигляді умовних графічних позначень, що встановлені державними стандартами та ЄСКД.

На принциповій схемі мають бути однозначно позначені всі елементи та пристрої, що входять до складу виробу. При виконанні схеми на її поле допускається поміщати різні текстові дані, що стосуються марки та перерізів з'єднувальних проводів, вимог монтажу тощо.

**Схема з'єднань** показує з'єднання складових частин виробу між собою та визначає проводи, джгути, кабелі, якими здійснюються ці з'єднання, а також місця їх приєднання та введення (затискачі, з'єднувачі). На схемі з'єднань мають бути зображені всі пристрої й елементи, що входять до складу виробу, їх



вхідний та вихідний елементи (роз'єднувачі, плати, затискачі тощо), а також з'єднання між цими пристроями і елементами.

Елементи та пристрої на схемі зображують у вигляді прямокутників, зовнішніх обрисів або умовних графічних позначень, що встановлені у стандартах та ЄСКД. Розташування графічних позначень пристроїв та елементів на схемі має приблизно відповідати дійсному розміщенню елементів і пристроїв у виробі, а розташування вхідних та вихідних елементів усередині пристрою – дійсному розміщенню їх у пристрої.

**Схема підключення** показує зовнішні підключення виробу. На схемі мають бути зображені виріб, його вхідні та вихідні елементи (роз'єднувачі, затискачі тощо) та кінці проводів і кабелів зовнішнього монтажу, що підводяться до них, зазначені дані про підключення виробу (характеристики зовнішніх кіл, адреси). Виріб зображують у вигляді умовних графічних позначень або зовнішніх обрисів.

На полі схеми над основним написом вказують відомості про зовнішнє підключення в таблиці підключення. Форма таблиці довільна. У ній мають бути зазначені характеристики зовнішніх кіл та адреси.

**Схема загальна** визначає складові частини комплексу та з'єднання їх між собою. Схема використовується при проектуванні, монтажі та налагодженні. Елементи та пристрої на схемі зображують умовними графічними позначеннями, прямокутниками або зовнішніми обрисами і з'єднують їх лініями. Дані про пристрої та елементи записують у перелік елементів, а про кабелі і проводи – у таблицю переліку проводів та кабелів.

## ЛЕКЦІЯ №15.

### ЕЛЕКТРОТРАВМАТИЗМ. ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ. ПРИЧИНИ УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

**Електротравма** – травма, спричинена дією на організм людини електричного струму та (або) електричної дуги.

**Електротравматизм** – явище, що характеризується сукупністю електротравм.

Згідно зі статистичними даними, електротравми в загальному виробничому травматизмі складають близько 1%, а в смертельному травматизмі – 15% і більше.

**На тяжкість ураження людини електричним струмом впливають чинники:** електричного характеру, неелектричного характеру, виробничого середовища.

**Основними чинниками електричного характеру, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом є:**

- величина струму, що проходить через тіло людини;
- напруга, під яку потрапляє людина;
- опір тіла людини;
- рід струму (постійний, змінний);
- частота струму.

**Величина струму, що проходить через тіло людини безпосередньо і найбільше впливає на тяжкість ураження електричним струмом.**

**За характером дії на організм виділяють:**

- **відчутний струм** – викликає під час проходження через тіло людини відчутні подразнення (значення порогового відчутного струму: для змінного струму частотою 50 Гц складає 0,6 – 1,5 мА; для постійного струму складає 5 – 7 мА);

– **невідпускаючий струм** – викликає під час проходження через тіло людини непереборні судомні скорочення м'язів руки, в якій затиснуто провідник (значення порогового невідпускаючого струму: 10 – 15 мА для змінного струму; 50 – 80 мА для постійного струму);

– **фібриляційний струм** – викликає під час проходження через тіло людини фібриляцію серця (значення порогового фібриляційного струму: в межах 100 мА для змінного струму; в межах 300 мА для постійного струму). Фібриляція – мимовільні неузгоджені скорочення волокон серцевого м'язу (фібрил), за яких серце не в змозі проганяти кров судинами.

**Гранично допустимий струм**, що проходить через тіло людини при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки не повинен перевищувати 0,3 мА для змінного струму та 1 мА для постійного струму.

**Величина напруги**, під яку потрапляє людина, впливає на тяжкість ураження електричним струмом в тій мірі, що зі збільшенням прикладеної до тіла напруги зменшується опір тіла людини, що призводить до збільшення тяжкості ураження.

**Шкіра** має найбільший вплив на опір тіла людини. **Опір шкіри** значно знижується у разі ушкодження її рогового шару, наявності вологи на її поверхні, збільшенні потовиділення та забрудненні. Крім цього, мають вплив щільність та площа контакту зі струмопровідними частинами, величина прикладеної напруги, величина струму та тривалість його дії, а також товщина та ступінь огрубіння верхнього шару шкіри.

Під час розрахунків та оцінки умов небезпеки ураження людини електричним струмом **опір тіла людини приймають рівним 1000 Ом**.

В діапазоні частот 0 ... 50 Гц збільшення частоти прикладеної напруги супроводжується зменшенням повного опору тіла людини та збільшенням значення струму, що проходить через нього. Подальше збільшення частоти, незважаючи на зростання струму, що проходить через тіло людини, не супроводжується зростанням небезпеки ураження.

Постійний струм викликає подразнення в тканинах тіла при замиканні та розмиканні струму, що проходить через людину. В проміжку часу між замиканням та розмиканням мережі постійного струму, його дія зводиться переважно до теплової. Змінний струм викликає більш тривалі інтенсивні подразнення за рахунок пульсації напруги. З цієї точки зору, змінний струм є небезпечнішим. Але ця закономірність зберігається до значень напруги 400 – 600 В, а при більшій нарузі постійний струм є більш небезпечним для людини.

**Основними чинниками неелектричного характеру, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом є:** шлях струму через тіло людини, індивідуальні особливості та стан організму людини, тривалість дії струму, його раптовість та непередбачуваність.

**Шлях струму через тіло людини** суттєво впливає на тяжкість ураження. Особливо небезпечним є проходження струму через життєво важливі органи з подальшим на них впливом.

**До індивідуальних особливостей організму належать:** чутливість організму до дії струму, психічні особливості та риси характеру людини.

**Зі збільшенням тривалості дії струму** зменшується опір тіла людини за рахунок зволоження шкіри від поту та електролітичних процесів в тканинах, поширюється пробій шкіри, послаблюються захисні сили організму, підвищується вірогідність збігу максимального імпульсу струму через серце з фазою кардіоциклу (фазою послаблення серцевих м'язів), що призводить до більш тяжких уражень.

**Вплив раптовості дії струму** на тяжкість ураження обумовлюється тим, що через несподіване потрапляння людини під дію електричного струму захисні функції організму не налаштовані на безпеку. Експериментально встановлено, що значення порогових струмів є на 30 – 50% вищими у разі усвідомлення людиною загрози ураження електричним струмом.

**Основними чинниками виробничого середовища, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом є:** температура повітря в

приміщенні, вологість, запиленість, наявність в повітрі хімічно активних домішок.

Протікання електричного струму через тіло людини супроводжується термічним, електролітичним та біологічним ефектами.

**Термічна дія струму** полягає в нагріванні тканин, випаровуванні вологи, що викликає опіки, обвугленні тканин та їх розриви паром. Тяжкість термічної дії струму залежить від величини струму, опору тіла та тривалості протікання струму.

**Електролітична дія струму** проявляється в розкладі органічної речовини, в тому числі і крові, що призводить до зміни її фізико-хімічних та біологічних властивостей. Це призводить до порушення біохімічних процесів в органах і тканинах, які є основою для забезпечення життєдіяльності організму людини.

**Біологічна дія струму** проявляється в подразненні та збуренні живих тканин організму, в тому числі на клітинному рівні. Через подразнюючу дію електричний струм може викликати мимовільне непередбачуване скорочення м'язів. Крім того, можлива рефлекторна дія електричного струму – через центральну нервову систему, що призводить до серйозних порушень діяльності життєво важливих органів.

**Електричні травми бувають:** місцевими, загальними та змішаними.

**До місцевих електротравм належать:** електричні опіки (поверхневі, внутрішні), електричні знаки, металізація шкіри, електроофтальмія та механічні ушкодження, пов'язані з дією електричної дуги.

**Залежно від умов виникнення електричні опіки поділяються на:** контактні, дугові та змішані.

**Електричні знаки** мають вигляд різко окреслених плям сірого або блідо-жовтого кольору на поверхні тіла людини в місці контакту зі струмопровідними елементами.

**Металізація шкіри** – це проникнення у верхні шари шкіри дрібних часток металу, який розплавився під дією електричної дуги.

**Електроофтальмія** – запалення зовнішніх оболонок очей, спричинене надмірною дією ультрафіолетового випромінювання електричної дуги. Електроофтальмія, як правило, розвивається через 2 – 6 год. після опромінення та проявляється у формі почервоніння, запалення шкіри, слизових оболонок повік, слъозоточіння, гнійних виділень, світлоболой та світлобоязні.

**Механічні ушкодження**, пов'язані з дією електричного струму на організм людини, спричиняються непередбачуваними судомними скороченнями м'язів у разі подразнюючої дії струму. Внаслідок таких судомних скорочень м'язів можливі розриви сухожиль, шкіри, кровоносних судин, нервових тканин, вивихи суглобів, переломи кісток тощо.

**Загальні електричні травми або електричні удари** – це порушення діяльності життєво важливих органів чи всього організму людини як наслідок збурення живих тканин організму електричним струмом, яке супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів.

**Залежно від наслідків ураження розрізняють чотири групи електричних ударів:**

I – судомні скорочення м'язів без втрати свідомості;

II – судомні скорочення м'язів із втратою свідомості без порушення дихання та кровообігу;

III – втрата свідомості з порушенням серцевої діяльності чи дихання або серцевої діяльності і дихання разом;

IV – клінічна смерть, тобто відсутність дихання та кровообігу.

**Причинами ураження електричним струмом можуть бути:**

– випадковий дотик до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою;

– дотик до не струмопровідних частин електроустановок, що випадково опинилися під напругою, внаслідок пошкодження ізоляції чи інших несправностей;

– попадання під напругу під час проведення ремонтних робіт на відключеному електрообладнанні через помилкове його ввімкнення;

– замикання кабелю на землю та виникнення крокової напруги тощо.

**Електробезпека** – система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої та небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля і статичної електрики.

**Електроустановки** – машини, апарати, лінії електропередач та допоміжне обладнання (разом зі спорудами та приміщеннями, в яких вони розташовані), призначені для виробництва, перетворення, трансформації, передачі, розподілу електричної енергії та перетворення її в інші види енергії (Згідно з Правилами улаштування електроустановок).

#### **Правила електробезпеки:**

1. Виконувати роботу дозволено лише при повній відсутності напруги. Для цього необхідно здійснити відключення електроустановок від джерела живлення, вимкнувши автоматичні вимикачі в щитку.

2. Здійснити заходи, що усувають можливість вмикання апаратури.

3. Встановити знаки безпеки, огороження біля відкритих струмопровідних частин, до яких можливе доторкання людини.

4. Приєднати тимчасове переносне заземлення.

5. Працювати потрібно тільки в зручному одязі, що не сковує рухи.

6. При виконанні висотних робіт необхідно використовувати спеціально призначені для даних робіт козли та помости.

7. Працівники, які пов'язані з роботою в електроустановках повинні користуватися тільки якісними та цілими сертифікованими засобами індивідуального захисту, які повинні перевірятися оглядом перед кожним їх застосуванням, а також періодично через кожні 6...12 місяців.