

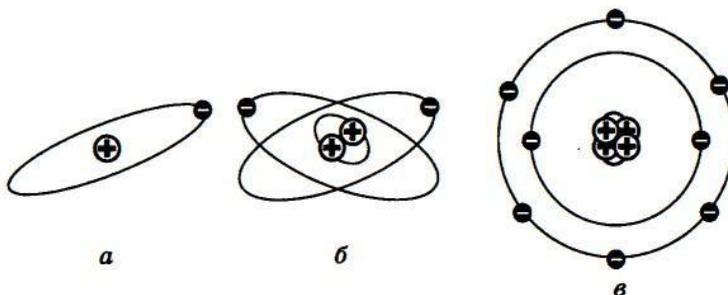
## ЛЕКЦІЯ № 2. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ

**План лекції.** Потік електронів і умовний напрямок струму. Фундаментальні залежності. Електричні ланцюги і резистори. Магнетизм і електромагнетизм. Електромагнітна індукція. Основні закони електрики. Електронні компоненти й схеми.

### Сила струму.

Всі тіла, що оточують нас, складаються з молекул. Молекули, в свою чергу, діляться на атоми. Кожен атом складається з ядра і електронів що обертаються навколо нього. Атоми різних хімічних елементів містять різну кількість електронів.

Ядро атомів складається з протонів і нейтронів, які пов'язані між собою і можуть бути розщеплені тільки при особливих умовах. Протони мають позитивний заряд електрики, а електрони - негативний.



а - водню, б - гелію, в - кисню

Рисунок 2.1 - Схематичний устрій атомів  
(орбіти електронів зображені в одній площині)

В системі СІ заряд вимірюється в кулонах (Кл). Величина елементарного заряду  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. У 1785 р. Шарль Кулон експериментально встановив закон взаємодії двох точкових зарядів. Сила взаємодії двох точкових заряджених тіл прямо пропорційна добутку зарядів цих тіл і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

$$F_3 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad (2.1)$$

де  $F_3$  - електрична сила, Н (ньютон);  
 $Q_1, Q_2$  - електричні заряди, Кл (кулон);  
 $r$  - відстань між зарядженими тілами;  
 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  ф/м (фарад / метр) - електрична постійна.

Формула записана для випадку взаємодії точкових тіл у вакуумі.

Електричне поле створюється зарядженими частинками і тілами і разом з тим діє на заряджені частинки і тіла з деякою силою. З огляду на це, зазначимо дві важливі обставини: кожне з двох взаємодіючих тіл (з зарядами  $Q_1$  і  $Q_2$ ) створює своє електричне поле, а в оточуючому просторі одне поле накладається на інше і утворюється загальне електричне поле (в даному випадку діє принцип накладення полів); силову взаємодію двох заряджених тіл слід розглядати як результат дії на кожне з них загального електричного поля, створеного цими тілами.

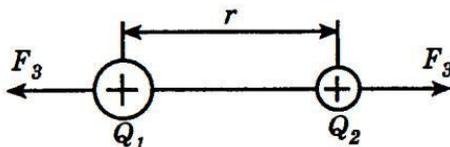


Рисунок 2.2 - Схема взаємодії електричних зарядів

### Напруга.

Напруженість електричного поля по властивості і характеристикі залежить від форми зарядженого тіла, і розподіл його заряду - від взаємного розташування заряджених тіл (так як поле створюється групою тіл), від властивостей середовища, що оточує заряджені тіла, і інших чинників. Тому електричні поля, створені при різних умовах, відрізняються одне від одного.

Для того щоб оцінити можливості використання електричного поля і вести відповідні розрахунки, застосовуються силові і енергетичні характеристики електричного поля.

Нехай джерелом електричного поля є тіло із зарядом  $Q_1$ , а заряд  $Q_2$  дуже малий, що не змінить характеристик цього поля. Таким чином, заряд  $Q_2$  є пробним, за допомогою якого можна виявити силу  $F_3$  і

досліджувати електричне поле. Силовою характеристикою електричного поля є напруженість електричного поля.

**Напруженість електричного поля - векторна величина, чисельно дорівнює відношенню сили, що діє на позитивно діючу частку, до її заряду:**

$$E = F_3 / Q_2, \quad (2.2)$$

де  $E$  - напруженість електричного поля, В/м (Вольт/метр).

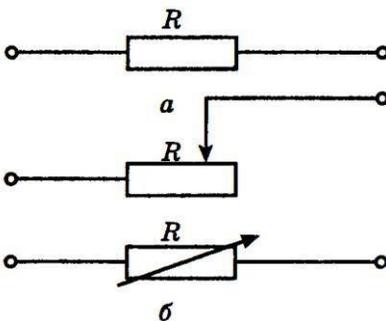
В системі СІ напруженість електричного поля вимірюється в вольтгах на метр (В/м).

### Опір.

В атомах твердих провідників (металів) електрони слабо пов'язані з ядрами і тому легко залишають свої атоми, переміщаючись до інших. Ці електрони безладно рухаються всередині провідника і називаються вільними. Якщо на такий провідник впливає зовнішнє електричне поле, то рух вільних електронів стає спрямованим. **Переміщення електронів в провіднику в певному напрямку називається електричним струмом.** Електричний струм можливий тільки в замкнутому ланцюзі. Електричне коло ділиться на внутрішню і зовнішню.

**Внутрішній ланцюг** - частина ланцюга, що знаходиться всередині самого джерела.

**Зовнішній ланцюг** - ланцюг, що складається зі сполучних проводів і споживачів струму.



а - резистора (опору), б-реостата

Рисунок 2.3 - Умовне позначення

Оскільки як зовнішній ланцюг, так і саме джерело енергії створюють перешкоду проходженню струму. **Протидія електричного ланцюга проходженню електричного струму називається опором.** Електричний опір позначається буквою  $R$  ( $r$ ) і на схемах зображується, як показано на рис. 2.3, а. Пристрої, що включаються в електричний ланцюг і володіють опором, називаються резисторами.

Одиницею вимірювання опору є Ом. Це електричний опір лінійного провідника, в якому при незмінній різниці потенціалів в 1 В проходить струм в 1 А, тобто  $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} / 1 \text{ А}$ .

При вимірюванні великих опорів використовують одиниці в тисячу і в мільйон разів більше Ома. Вони називаються кілооми (кОм) і мегаОми (МОм);

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}, \quad (2.3)$$

$$1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом}. \quad (2.4)$$

Опір провідника залежить від матеріалу, довжини і площі поперечного перерізу. Чим довший провідник і чим менше його перетин, тим опір більший. Меншим опором володіють мідь, алюміній, великим - сталь і чавун. Опір провідника залежить також і від його температури, причому опір металевих провідників з підвищенням температури збільшується.

Регульовані опори називаються *реостатами*. Опір реостатів може змінюватися рівномірно або ступенями. На схемах реостати позначають так, як показано на рис. 2.3, б.

Здатність провідника пропускати електричний струм характеризується *провідністю*. Одиницею вимірювання провідності є *Сіменс* (1 Ом = См). Сила, під дією якої в ланцюзі виникає електричний струм, називається *електрорушійною силою* (ЕРС). Співвідношення між ЕРС, опором і струмом виражається законом Ома.

У 1826 р. Георг Ом (1787-1854) експериментально встановив, що сила струму на ділянці ланцюга прямо пропорційна напрузі, що додається до кінців цієї ділянки, і обернено пропорційна його опору:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.5)$$

де  $I$  - сила струму;

$U$  - напруга;

$R$  - опір.

### **Робота і потужність.**

Здатність тіла виробляти роботу називається енергією цього тіла. Енергія тіла тим більша, чим більшу роботу може виробити це тіло при своєму русі. Електрична енергія, або робота, є добуток напруги, струму в ланцюзі і часу його проходження:

$$A = UIt, \quad (2.6)$$

де А - робота; U- напруга; t - час.

Швидкість здійснення роботи характеризується потужністю.

**Електрична потужність** - це робота, що здійснюється струмом за одиницю часу (в 1 с).

$$P = \frac{A}{t} = UI, \quad (2.7)$$

де P- потужність;

A робота;

t - час.

За одиницю потужності струму беруть ват (Вт). Один ват - це потужність, при якій за 1 с відбувається робота в 1 Дж (1 Вт = 1 Дж/с). Для вимірювання малих потужностей застосовують одиницю в тисячу разів меншу одного вата, звану міліват (мВт); 1 Вт = 1 000 мВт, а для вираження великих потужностей застосовують одиницю в тисячу разів більшу вата, звану кіловатом (кВт); 1 кВт = 1 000 Вт.

Електричний струм, проходячи по провіднику, зустрічає опір, на подолання якого витрачається частина електроенергії. Ця енергія перетворюється в теплову енергію. Енергія не зникає, а переходить з однієї форми в іншу.

Для оцінки властивостей перетворення енергії служить коефіцієнт корисної дії ККД, рівний відношенню корисної потужності джерела енергії  $P_2$  до потужності споживаної ним  $P_1$ , тобто:

$$\eta = P_2/P_1 = P_2/(P_2 + \Delta P), \quad (2.8)$$

де  $\Delta P$  - потужність, що витрачається на подолання втрат у джерелі або приймачі енергії.

Цей вислів показує, що ККД джерела або приймача електричної енергії тим вищий, чим менші втрати енергії в ньому.

### **Електромагнітна індукція.**

Тіла, які здатні притягувати сталь, її сплави і деякі інші метали, називаються магнітами. Кожен магніт має два полюси (північний і

південний). Між полюсами магнітів існує взаємодія: однойменні полюси відштовхуються, а різнойменні - притягуються. Відбувається це тому, що в магнітах є магнітні сили.

Простір, в якому проявляється дія магнітних сил, називають магнітним полем, а лінії, в напрямку яких діють магнітні сили, - магнітними силовими лініями. Будь-яка магнітна лінія не має ні кінця, ні початку і являє собою замкнуту криву, так як північний і південний полюси магніту невіддільні один від іншого.

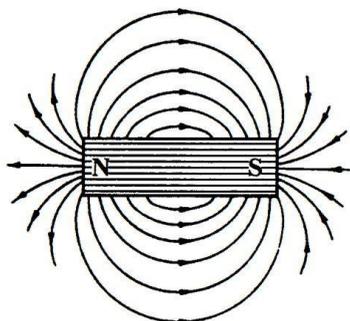
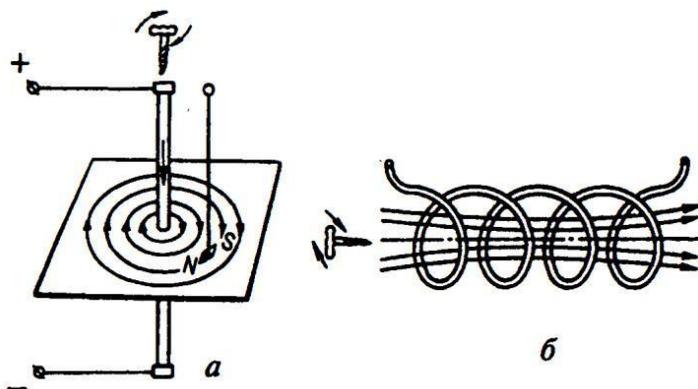


Рисунок 2.4 - Магнітне поле постійного магніту

Якщо по провіднику пропустити електричний струм, то навколо провідника виникне магнітне поле, магнітні силові лінії якого розподіляються у вигляді концентричних кіл.

Якщо провідник зі струмом згорнути у вигляді спіралі, то магнітні силові лінії будуть складатися і утворюють сумарний магнітне поле. Такий спіральний провідник називається соленоїдом (рис. 2.5, б). Якщо всередину соленоїда помістити залізний стрижень, то магнітне поле значно посилиться.



а - прямого провідника зі струмом, б - соленоїда

Рисунок 2.5 - Магнітне поле

Соленоїд, усередині якого поміщений залізний стрижень, називається електромагнітом.

вається електромагнітом. Залізний стрижень, поміщений усередині соленоїда, називається серцевиною, а витки соленоїда - обмоткою електромагніту.

Величина магнітного поля електромагніту залежить від величини струму: чим більша величина струму в обмотці електромагніту, тим сильніше його магнітне поле. При зміні напрямку струму в обмотці змінюється спрямованість магнітного поля електромагніту, а отже, і його полярність. Залежно від напрямку струму в провіднику, напрямок магнітних ліній утвореного їм магнітного поля визначається **правилом свердлика**: якщо поступальний рух свердлика збігається з напрямком струму в провіднику, то обертальний рух його рукоятки вказує напрямок магнітних ліній поля, що утворюється навколо цього провідника.

Якщо провідник помістити в магнітне поле і переміщати так, щоб він перетинав магнітні силові лінії, то в цьому провіднику наводиться ЕРС, а в разі замкненого кола з'явиться електричний струм. Це явище називається електромагнітною індукцією, а індукована електрорушійна сила - ЕРС індукції (рис. 2.6).

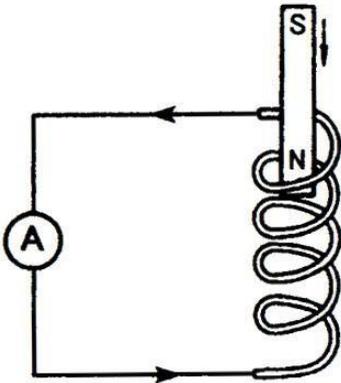


Рисунок 2.6 - Схема виникнення індукційного струму

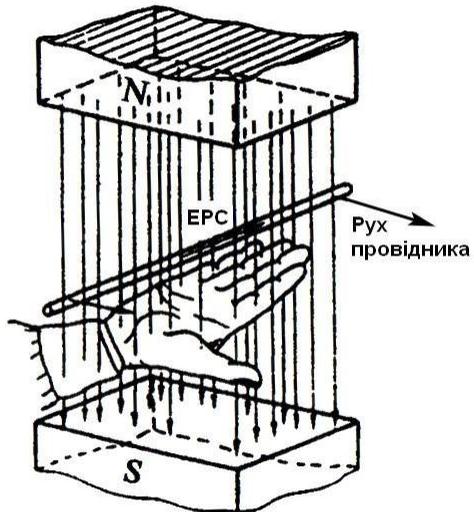


Рисунок 2.7 - Правило правої руки

ЕРС наводиться не тільки при переміщенні провідника в магніт-

ному полі, а й у тому випадку, коли провідник залишається нерухомим, а магнітне поле близько провідника або близько котушки змінюється, тобто з'являється, зникає або змінює свою величину.

Величина індукованої ЕРС залежить від кількості магнітних силових ліній (густоти магнітного потоку), довжини провідника і швидкості його руху в магнітному полі: чим більша активна довжина провідника і швидкість його руху, тим більша ЕРС. Інакше кажучи, індукована ЕРС тим більша, чим більша кількість магнітних силових ліній перетинає провідник в одиницю часу.

**Напрямок індукованого струму** залежить від напрямку магнітного потоку і визначається **за правилом правої руки** (рис. 2.7), яке формулюється так: якщо праву руку розташувати долонею до північного полюса так, щоб великий відігнутий палець показував напрямок руху провідника, то чотири пальці будуть вказувати напрямок ЕРС індукції.

Напрямок ЕРС індукції в нерухомому замкненому провіднику, контур якого пронизується змінюваним магнітним потоком, можна визначити, застосувавши **правило Максвелла**: якщо замкнутий контур провідника пронизується зменшуваним магнітним потоком, то ЕРС індукції спрямована в ту сторону, в яку доводиться обертати рукоятку гвинта, закручуваного поступально за напрямом магнітних ліній.

Якщо магнітний потік провідника збільшується, то напрямок ЕРС індукції зворотний напрямку обертання рукоятки свердлика, закручуваного у напрямку магнітних полів.

Напрямок індукційного струму і ЕРС індукції визначають за **правилом Ленца**: ЕРС індукції має завжди такий напрямок, що створений нею індукційний струм перешкоджає причині, що її викликає.

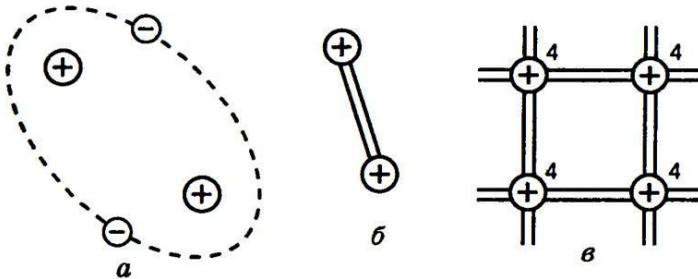
Явище електромагнітної індукції покладено в основу дії генераторів, котушок запалювання та інших приладів.

### **Провідники, ізолятори і напівпровідники.**

Матеріали, які містять велику кількість вільних носіїв заряду, називаються провідниками. Провідниками є всі метали, розчини електrolітів, розплави багатьох речовин та іонізовані гази. Серед металів високу провідність мають: срібло, мідь, золото, алюміній.

Ізолятори (діелектрики) - це речовини, які не мають вільних електронів. У них електрони перебувають на своїх орбітах поблизу ядра і не залишають його навіть при впливі електричного поля. Ізоля-

торами є скло, ебоніт, пластмаси, слюда, фарфор, гума, різні смоли, лаки, тощо.



а - парно-електронна (ковалентний) зв'язок атомів,  
б - її схематичне зображення, в - зв'язки в кристалічній решітці германію  
Рисунок 2.8 - Кристалічні ґрати напівпровідника

Напівпровідниками називаються матеріали, що займають проміжне положення між провідниками і діелектриками. Особливістю металевих провідників є наявність вільних електронів, які є носіями електричних зарядів. У діелектриках вільних електронів немає, і тому вони не проводять струм.

Характерною властивістю напівпровідників, який вирізняє їх від провідників і непровідників струму, є те, що вони мають не тільки електронну, а й «діркову» провідності, які залежать від температури, освітленості, стиснення, електричного поля та інших факторів. До напівпровідників, що знайшли практичне застосування в техніці, відносяться германій, кремній, селен, закис міді і деякі інші речовини.

У напівпровідниках хімічний зв'язок двох сусідніх атомів з утворенням на орбіті загальної пари електронів називають ковалентним або парноелектронним.

Електропровідність, обумовлена переміщенням вільних електронів, називається електронною провідністю, або n-провідністю.

При появі вільних електронів в ковалентних зв'язках утворюється вільне місце - «електронна дірка». Так як дірка виникла в місці відриву електрона від атома, в області її утворення виникає надлишковий позитивний заряд. При наявності дірки будь-який електрон може зайняти місце дірки, і ковалентний зв'язок в цьому місці відновиться, але буде порушена в тому місці, звідки пішов електрон. Нову дірку може зайняти ще який-небудь електрон (рис. 2.9).

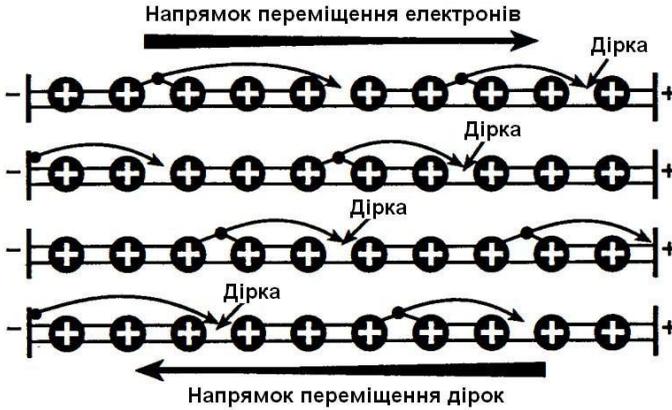


Рисунок 2.9 - Схема руху електронів і дірок в напівпровідниках

Переміщення дірок подібно переміщенню позитивних зарядів, називається дірковою провідністю, або р-провідністю.

Таким чином, при дірковій провідності велике число електронів по черзі заміщають один одного в ковалентних зв'язках.

### Постійний і змінний електричний струм.

Електричний струм, який тече в одному напрямку, називається постійним струмом. Електричний струм можливий тільки в замкнутому ланцюзі. Електричний ланцюг постійного струму містить джерело електричної енергії  $E$ , приймач енергії  $\Pi$  і два дроти.

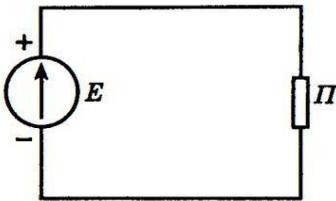


Рисунок 2.10 - Найпростіший електричний ланцюг

Дроти підключаються до джерела електричної енергії, до позитивних (+) та негативних (-) полюсів.

В електротехніці прийнято вважати напрямку струму від позитивного до негативного полюса, тобто від плюса до мінуса (рис. 2.10). Джерело електричної енергії перетворює механічну, хімічну, теплову або іншого виду енергію в електричну.

Приймач електричної енергії перетворюється в механічну, хімічну, теплову, світлову та ін. види енергії. В якості джерел електричної енергії служать генератори, акумулятори та гальванічні елементи.

Приймачами електричної енергії є електричні двигуни, освітлювальні лампи, електрообігрівальні прилади, тощо. З'єднання споживачів струму може бути послідовним, паралельним і змішаним. При послідовному з'єднанні загальний опір ланцюга дорівнює сумі опорів всіх споживачів. Напряга на затискачах ланцюга дорівнює сумі напруг на окремих його ділянках. Величина струму в такому ланцюзі однакова у всіх його ділянках (рис. 2.11).

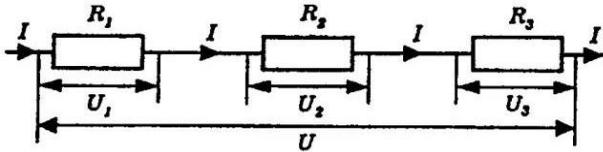


Рисунок 2.11 - Послідовне з'єднання

Недоліком послідовного з'єднання є те, що при виході з ладу будь-якого споживача або при його виключенні дія інших споживачів припиняється. При паралельному з'єднанні струм розгалужується, проходячи одночасно по всім споживачам; всі споживачі знаходяться під однаковою напругою, а загальний опір ланцюга менший за опір будь-якого зі складових його опорів. Чим більше споживачів з'єднано між собою паралельно, тим менше загальний опір ланцюга (рис. 2.12).

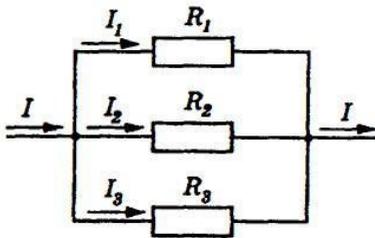


Рисунок 2.12 - Паралельне з'єднання

При паралельному з'єднанні кожен споживач включений на повну напругу джерела струму незалежно від їх числа, і при виході з ладу одного споживача інші не припиняють своєї дії. Саме тому паралельне з'єднання широко використовується в електрообладнанні автомобіля. Змішане з'єднання споживачів струму являє собою поєднання послідовного і паралельного з'єднань.

Одиницею вимірювання величини струму служить Ампер (А). При струмі в 1 А через повний переріз провідника за 1 с проходить заряд 1 Кл. Поряд з Ампером застосовують більш дрібні одиниці сили струму: 1 міліампер (мА) = 0,001 А, 1 мікроампер (мкА) = 0,000 001 А чи 0,001 мА. Отже, 1 А дорівнює 1000 мА або 1 000 000 мкА.

Сила, під дією якої виникає електричний струм, називається електрорушійною силою (ЕРС). Та частина ЕРС, яка витрачається джерелом на зовнішньому ланцюзі, називається напругою.

Одиницею вимірювання ЕРС і напруги служить вольт (В). Прилад для вимірювання напруги називається вольтметром, поєднуючи його з зажимами джерела струму або під'єднуючи його паралельно тій ділянці ланцюга, напругу якого потрібно виміряти.

Електричний струм, напрямком і величиною якого безперервно змінюється, тобто струм який періодично, через рівні проміжки часу змінюється як за значенням, так і за напрямком, називається змінним.

Змінний струм відрізняється від постійного тим, що він легко піддається перетворенню. Змінний струм має здатність трансформуватися, тобто за допомогою спеціального пристрою - трансформатора - можна підвищити напругу змінного струму або, навпаки, знизити його. Змінний струм можна випрямити - перетворити в постійний струм. Крім того, двигуни змінного струму відрізняються простотою устрою і малими габаритами.

### **Електроємність. Конденсатори.**

Провідники, що володіють електричним зарядом, є джерелами електричного поля. При зміні заряду провідника відбувається робота, тому й енергетична характеристика провідника (потенціал) відповідно змінюється. Здатність провідника накопичувати електричний заряд залежить від форми і розмірів його поверхні, відстані між провідниками, від властивостей середовища, в яку провідники поміщені. Для вираження цієї залежності введено поняття електричної ємності.

**Електрична ємність провідника** - величина, що характеризує здатність провідника накопичувати електричний заряд, чисельно рівна відношенню заряду провідника до його потенціалу:

$$C = Q/V, \quad (2.9)$$

де  $C$  - електрична ємність,  $\Phi$  (фарад).

В системі СІ одиницею електричної ємності є Фарада (скорочено  $\Phi$ ), названа на честь англійського фізика М. Фарадея. Однак 1  $\Phi$  - це дуже велика ємність. Земна куля, наприклад, володіє ємністю менше 1  $\Phi$ . Тому в електротехніці користуються одиницею ємності, що дорівнює мільйонній частки Фаради, яку називають мікрофарада (ско-

рочено мкФ). В одній Фараді 1 000 000 мкФ, тобто 1 мкФ = 0,000 001 Ф, наноФарада 1 нФ = 0,000 000 001 Ф, пікоФарада 1 пФ = 0,000 000 000 001 Ф.

### Конденсатори.

В електротехніці, радіотехніці, електроніці широко застосовують пристрої з електричною ємністю, спеціально побудовані і призначені для створення електричного поля і зберігання його енергії.

Елемент електричного ланцюга, призначений для використання його електричної ємності, називається електричним конденсатором. Електричний конденсатор має два провідника (їх іноді називають обкладками), які розділені діелектриком, за формою провідників розрізняють конденсатори плоскі, циліндричні (рис. 2.13).

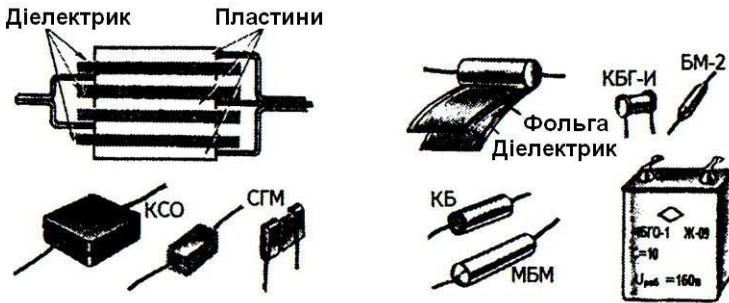


Рисунок 2.13 - Плоскі і циліндричні конденсатори

Ємність конденсатора залежить від його розмірів, форми і діелектричної проникності  $\epsilon$  діелектрика. Для визначення ємності плоского конденсатора скористаємося формулою:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}, \quad (2.10)$$

де  $S$  - площа однієї обкладки,

$d$  - відстань між обкладками конденсатора.

У практиці іноді необхідно з'єднувати конденсатори в батареї, для чого застосовують схеми послідовного та паралельного з'єднань (рис. 2.14). При необхідності збільшити ємність, конденсатори з'єднують між собою паралельно. Загальна ємність конденсаторів дорівнюватиме сумі ємностей всіх з'єднаних конденсаторів, тобто:

$$C_{\text{общ.}} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (2.11)$$

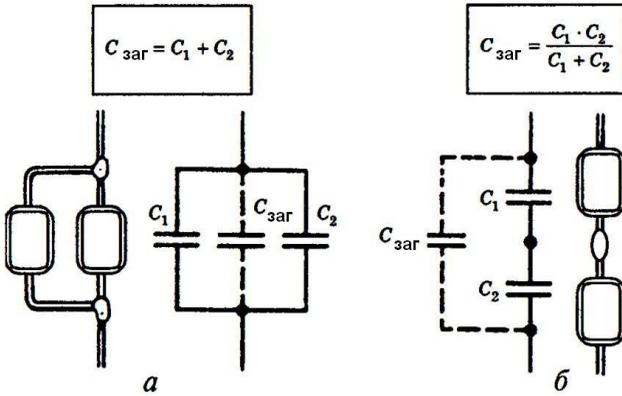


Рисунок 2.14 - Паралельне (а) і послідовне (б) з'єднання конденсаторів

При необхідності зменшити ємність конденсатори з'єднують послідовно. Загальна ємність конденсаторів завжди менше найменшої ємності, включеної в ланцюжок. Вона підраховується за формулою:

$$C_{\text{общ.}} = C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2) \quad (2.12)$$

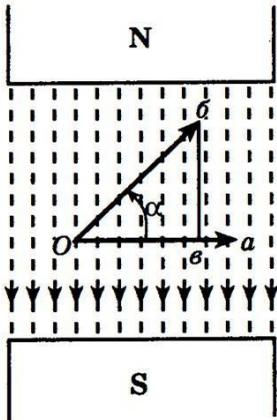


Рисунок 2.15 - Схема переміщення провідника під кутом до напрямку магнітних ліній

Діелектрики, що застосовуються для виготовлення конденсаторів, в більшості випадків мають постійну величину діелектричної проникності, незалежну від напруженості електричного поля. Тому конденсатори мають постійну величину ємності. По виду використуваного діелектрика конденсатори називають відповідно керамічними, слюдяними, паперовими.

**Однофазний і трифазний струм.** В даний час для отримання, передачі та розподілу електричної енергії застосовують, в основному, пристрої змінного струму: генератори, трансформатори, лінії електропередач, розподільні електромережі.

Більшість електроприймачів працює на змінному струмі. У практиці, кажучи про змінний струм, мають на увазі синусоїдальний струм, який є синусоїдальною функцією часу. Змінний синусоїдальний струм виникає в ланцюзі під дією електрорушійної сили. ЕРС індукції в прямолінійному провіднику, що перетинає магнітні лінії (рис. 2.15), виражається формулою:

$$e = Blv \sin \alpha, \quad (2.13)$$

де  $B$  - магнітна індукція;  
 $l$  - довжина провідника;  
 $v$  - швидкість.

Значення змінної ЕРС (а також струму і напруги) в даний момент часу називається миттєвим значенням. Величину  $\omega t$ , що стоїть під знаком синуса або косинуса, називають фазою коливань:

$$\omega t = \frac{2\pi}{T} = 2\pi ft, \quad (2.14)$$

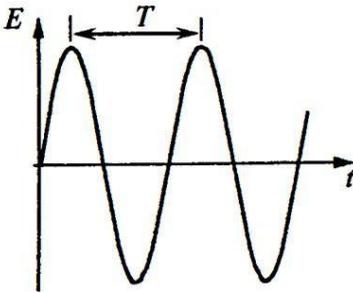


Рисунок 2.16 - Схема періоду коливань

Фаза визначає значення ЕРС в будь-який момент часу  $t$ . Фаза вимірюється в градусах або радіанах. Проміжок часу, необхідний для здійснення змінної ЕРС повного циклу своїх змін, називається періодом коливань, або періодом. Період позначається  $T$  і виражається в секундах (рис. 2.16). Число періодів в одну секунду або величина, зворотна періоду, називається частотою коливань або, скорочено, частотою.

Частота позначається  $f = 1/T$  виражається в (Гц). У більшості країн промислова частота змінного струму становить 50 Гц. Параметрами електричних ланцюгів змінного струму є активний опір  $R$ , індуктивність  $L$  і ємність  $C$ . Таким чином, схема електричного ланцюга змінного струму характеризується одним з параметрів ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ) або комбінацією їх при різних способах з'єднання елементів.

**Потужність змінного струму.** Як відомо, потужність постійно-

го струму визначається добутком напруги і струму. При змінному струмі як напруга, так і струм періодично змінюються в часі. Отже, в будь-який момент часу потужність, яка дорівнює добутку миттєвих значень напруги і струму ( $p = ui$ ), є також змінною величиною.

При активному навантаженні, коли зсув фаз між напругою і струмом відсутній ( $\varphi = 0$  або  $\cos \varphi = 1$ ), потужність являє собою добуток діючих значень напруги і струму і виражається у ватах (або кіловатах, мегаватах і т.д.), тобто  $P=UI$ .

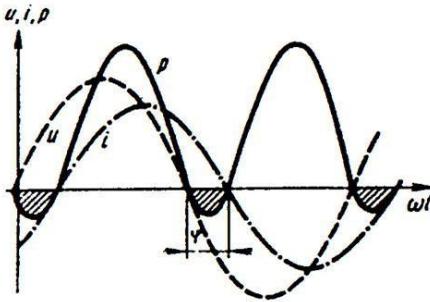


Рисунок 2.17 - Графік миттєвих значень напруги, струму і потужності

У ланцюзі, що містить активний опір та індуктивність, струм відстає по фазі від напруги на кут  $\varphi$  (рис. 2.17) і миттєве значення потужності виявляється як позитивним, так і негативним, тобто навантаження споживає енергію в одну частину періоду і повертає її в мережу в іншу частину. Потужність змінного струму можна представити у вигляді активної і реактивної потужностей. активна потужність споживається активним

опором, де відбувається процес перетворення енергії електричної в енергію іншого виду (механічну, світлову, теплову і т.д.).

Активна потужність  $P=I^2R$ . Маючи на увазі, що  $U_a=UI\cos\varphi$ , отримаємо  $P=UI\cos\varphi$ , де  $U$  і  $I$  - діючі значення напруги і струму;  $U_a$  - падіння напруги на активному опорі.

Реактивна потужність накопичується індуктивністю при зростанні струму в ланцюзі у вигляді магнітного поля індуктивної котушки. При зменшенні струму в ланцюзі енергія, накопичена в магнітному полі, перетворюється в електричну і повертається джерелу енергії.

Добуток діючих значень  $U$ ,  $I \sin\varphi$  називають реактивною потужністю:

$$Q = UI\sin\varphi = U_L I = I^2 X_L \quad (2.15)$$

Вона виражається в вольт-амперах (або кіловольт-амперах) реактивних (вар або квар). Реактивна потужність не споживається прий-

мачем енергії і не бере участі в процесі перетворення електричної енергії в енергію іншого виду. Ця потужність циркулює між джерелом і приймачем енергії, навантажуючи дроти їх обмоток і ліній, що з'єднують приймач енергії з джерелом, а також збільшуючи втрати енергії в них.

Добуток діючих значень напруги і струму називається повною потужністю  $S$ , яка виражається в вольт-амперах або кіловат-амперах ( $V \cdot A$  або  $kV \cdot A$ ), тобто:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.16)$$

Габарити електричних апаратів та машин визначаються повною потужністю, так як перетину обмоточних проводів залежать від струму, що протікає через них, а ізоляція струмопровідних частин - від напруги, під якою вони перебувають.

Відношення активної потужності до повної  $P/S = \cos\varphi$  показує, яка частка повної потужності споживається ланцюгом, і називається коефіцієнтом потужності, рівним косинусу кута зрушення фаз між напругою і струмом. При активному навантаженні  $\cos\varphi = 1$  та  $S = P$ , тобто електричний апарат або машина має найбільшу активну потужність.

### **Трифазний струм.**

Вище розглянуті властивості однофазного змінного струму. Однак однофазна система неекономічна внаслідок недосконалості однофазних електричних машин. Так, наприклад, при однакових габаритах, масі активних матеріалів (сталі і міді) і втраті енергії, потужність однофазної машини в 1,5 рази менше потужності трифазної машини. Тому для електрифікації використовується трифазна система змінного струму.

Трифазною системою змінного струму, або просто трифазною системою - називається ланцюг або мережа змінного струму, в якому діють три ЕРС однакової частоти, але взаємно зміщені по фазі на третину періоду. Окремі ланцюги, складові трифазної системи, називаються фазами.

Якщо ЕРС у всіх трьох фазах мають однакову амплітуду і зрушені по фазі на однаковий кут, то така трифазна система називається симетричною.

Вперше в світі передача трифазного струму була здійснена ро-

сійським вченим М.О. Доліво-Добровольським в 1891 р.

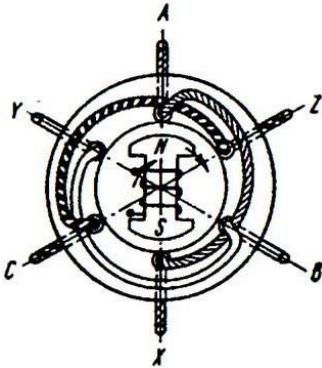


Рисунок 2.18 - Схема устрою трифазного генератора

На рис. 2.18 показана схема пристрою найпростішого двополюсного трифазного генератора. У пазах статора (нерухома частина машини) розташовані котушки  $A-X$ ,  $B-Y$  і  $C-Z$ , зсунуті в просторі на одну третину кола ( $120^\circ$ ).

Усередині статора розміщений ротор (обертальна частина машини), що представляє собою двополюсний електромагніт, що живиться постійним струмом, збуджує магнітне поле.

Ротор приводиться в обертання будь-яким двигуном. Магнітні лінії обертаються разом з ротором, перетинають провідники котушок, закладених

в пазах статора, і індукують в цих котушках ЕРС, що змінюються синусоїдально. Однак синусоїди ЕРС фаз  $e_A$ ,  $e_B$ ,  $e_C$ , будуть зрушені одна по відношенню до іншої на  $1/3$  періоду.

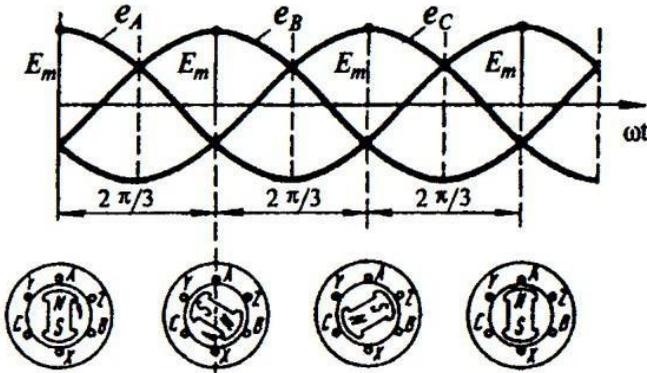


Рисунок 2.19 - Криві зміни ЕРС в трифазній обмотці генератора

Нехай позитивний максимум ЕРС  $E_m$  в котушці  $A-X$  настає в момент, коли сторона  $A$  виявиться проти центру північного полюса, а сторона  $X$  - проти центру південного полюса. Позитивний максимум ЕРС  $E_m$  в котушці  $B-Y$  настане в той момент, коли центр північного полюса опиниться під провідником  $B$ . Для цього ротор повинен пове-

рнутися на  $1/3$  окружності ( $120^\circ$ ), що відповідає проміжку часу, рівному  $1/3$  періоду. Позитивний максимум ЕРС  $E_m$  в котушці  $C-Z$  настає через  $1/3$  періоду після такого ж максимуму в котушці  $B-Y$ , що відповідає подальшому повороту ротора на  $1/3$  окружності.

На рис. 2.19 показані криві зміни ЕРС в котушках  $A-X$ ,  $B-Y$ ,  $C-Z$  і положення ротора, відповідні позитивному максимуму ЕРС  $E_m$  в цих котушках. При навантаженні генератора на затискачах котушок  $A-X$ ,  $B-Y$ ,  $C-Z$  встановлюються напруги, звані фазними. Якщо навантаження відсутнє (холостий хід), фазні напруги дорівнюють ЕРС, індукованим в котушках статора.

### **Електричні вимірювання.**

При експлуатації електричних установок доводиться вимірювати ряд фізичних величин: струм, напругу, опір, потужність, частоту і витрати електричної енергії. Для цього застосовують різні прилади електровимірювань. Виміром називають операцію для визначення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою вимірювальних приладів.

Вимірювальні прилади розрізняють за призначенням, згідно роду вимірюваного струму, принципу дії, класу точності, формі корпусу, положенню при вимірах і характером застосування. Електровимірювальні прилади поділяються на амперметри, вольтметри, омметри, ватметри, частотометри та ін.

Вимірювальні прилади можна застосовувати в ланцюгах змінного і постійного струму. Існує кілька систем приладів: електромагнітні, магнітоелектричні, електродинамічні, тощо.

Щоб дізнатися систему даного приладу, досить поглянути на умовний знак на шкалі, де значками і цифрами вказують наступні дані: рід струму, для якого призначений прилад, система приладу, напруга ізоляції, положення при вимірах, клас точності, рік випуску, номер приладу і його приналежність до експлуатаційної групи.

В принципі, не обов'язково все знати про устрій електровимірювальних приладів, для того, щоб вміти ними користуватися. Основні ж правила прості. Амперметр вимірює силу струму, що тече по ланцюгу. Його під'єднують так, щоб цей же струм протікав і через прилад, тобто послідовно з навантаженням, як показано на рис. 2.20.

Амперметр сконструйований так, щоб його внутрішній опір був по можливості мінімальним. Тому, якщо його помилково включити не

послідовно, а паралельно навантаженню, наслідки можуть бути руйнівними. Через малий внутрішній опір через амперметр потече великий струм, який може спалити прилад, а також оплавити ізоляцію підведених проводів.

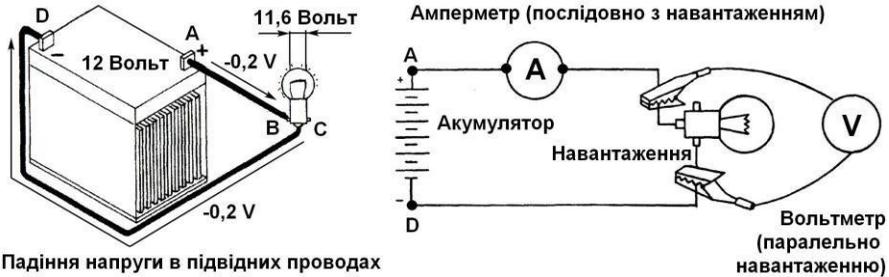


Рисунок 2.20 - Підключення амперметра і вольтметра

Вольтметр, на відміну від амперметра, навпаки, конструюється так, щоб його внутрішній опір був по можливості високим. Тому його важко спалити необережним підключенням.

Вольтметр вимірює напругу (різницю потенціалів) на кінцях елемента ланцюга і його треба підключати паралельно цьому елементу. Наприклад, якщо в схемі на рис. 2.20 вольтметр включити між точками A і D, він покаже напругу акумулятора, між точками B і C - напругу на лампочці, між A і D або між D і C - падіння напруги на проводах.

Іноді прилад забезпечений перемикачем, щоб отримати різні діапазони вимірювання. В цьому випадку слід вибрати такий вимірювальний діапазон, щоб стрілка приладу відхилилася якнайдалі за шкалою (але не зашкалювала). При малих відхиленнях стрілки, порівнянних з товщиною самої стрілки, важко розраховувати на досить високу точність вимірювання.

Будь-які прилади мають похибку вимірювання. Звичайно чим дешевше прилад, тим меншу точність він має. Дуже дешеві прилади взагалі не варто вважати вимірювальними - ними можна користуватися лише як індикаторами.

Дуже корисні в роботі багатofункціональні прилади (мультиметри або тестери). Однак при їхньому використанні треба бути дуже обережним у виборі режимів і діапазону роботи і ні в якому разі не

перемикати режим вимірювання, коли прилад приєднаний до ланцюга. Це пов'язано з тим, що при обертанні перемикача діапазонів в пошуках потрібного діапазону вимірювання напруги, Ви випадково можете увійти в режим амперметра і це буде означати кінець Вашого приладу.

Більшість приладів мають в якості чутливого елемента дротяну котушку, що знаходиться в полі постійного магніту (прилади магнітоелектричної системи). Такі прилади розраховані на вимірювання тільки в ланцюгах постійного струму.

Магнітоелектричні прилади можна пристосувати і для вимірювань в ланцюгах змінного струму введенням в його склад випрямляча.

### **Питання для самоперевірки**

1. З яких частинок складається атом?
2. Сформулюйте закон Кулона.
3. Що таке напруженість електричного поля?
4. Що таке електричний струм?
5. Яка причина електричного опору?
6. В яких одиницях вимірюється опір?
7. Від чого залежить опір провідника?
8. Сформулюйте закон Ома.
9. Що таке магнетизм?
10. Поясніть правило гвинта.
11. Що називається магнітною індукцією?
12. Поясніть правило правої руки.
13. Що таке провідник і напівпровідник?
14. Чому одні матеріали є провідниками, а інші - ізоляторами?
15. Що таке постійний електричний струм?
16. В яких одиницях вимірюється електричний струм?
17. Як розподіляються струми в паралельно з'єднаних провідниках?
18. Чому дорівнює ємність провідника?
19. В яких одиницях вимірюється ємність?
20. Розкажіть про устрій конденсатор?
21. За якою формулою обчислюється ємність плоского конденсатора?
22. Як треба з'єднати конденсатори, щоб їх загальна ємність збільшилася? Зменшилася?
23. Як обчислити загальну ємність конденсаторів при паралельному з'єднанні і послідовному з'єднанні?

24. Що таке миттєве значення ЕРС, струму і напруги?
25. Що називається фазою?
26. Що таке частота?
27. Який зв'язок між періодом і частотою?
28. Дайте визначення трифазної системи змінного струму.
29. Яке з'єднання називається зіркою?
30. Яке з'єднання називається трикутником?
31. Які способи вимірювання потужності трифазної системи ви знаєте?
32. Перерахуйте системи і класи точності вимірювальних приладів.
33. Яка роль коректора і заспокоювача у вимірювальних приладах?
34. Поясніть устрій і принцип дії вимірювальних приладів.