

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Відокремлений структурний підрозділ
«Любешівський технічний фаховий коледж
Луцького національного технічного університету»
Циклова методична комісія викладачів
математичних та природничо-наукових дисциплін



Електротехніка і електрообладнання

**Методичні рекомендації до самостійних робіт
для здобувачів освіти освітньо-професійного ступеня фаховий молодший
бакалавр**

**Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування**

УДК

М

До друку

Голова методичної ВСП «Любешівський ТФК Луцького НТУ».

_____ Герасимик-Чернова Т.П.

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій коледжу

Бібліотекар _____ М.М.Демих

Затверджено методичною радою ВСП «Любешівський ТФК Луцького НТУ».

протокол № _____ від _____ 2023 р.

Рекомендовано до видання на засіданні циклової методичної комісії викладачів математичних та природничо-наукових дисциплін

протокол № _____ від _____ 2023 р.

Голова ЦМК _____ Буцук В.Я.

Укладач: _____ М.В.Баховська, викладач вищої категорії, старший викладач

Рецензент: _____

Відповідальний

за випуск: _____ В.Я. Буцук, викладач, голова ЦМК

Електротехніка і електрообладнання [Текст]: методичні вказівки до самостійної роботи для студентів II курсу зі спеціальності «Галузеве машинобудування», денної форми навчання/ уклад. М.В.Баховська–Любешів: ВСП «Любешівський ТФК Луцького НТУ», 2023. – 41с.

Видання містить методичні вказівки до самостійних робіт, перелік рекомендованої літератури.

М.В.Баховська, 2023

Зміст.

1. Самостійна робота № 1. Вступ.	с. 4
2. Самостійна робота №2 . Електричні кола	с.9
3. Самостійна робота №3.Розрахунок електричних кіл. З'єднання опорів.	с.13
4. Самостійна робота №4-5. Розрахунок електричних кіл.	с.16
5. Самостійна робота №6.Магнітне поле постійного струму.	с.19
6. Самостійна робота № 7.Електромагнітна індукція.	с.23
7.Самостійна робота № 8.Електричні кола змінного струму.	с.26
8.Самостійна робота №9.Кола змінного струму з індуктивними елементами.	с.28
9. Самостійна робота №10.Схеми заміщення.	с.32
10.Самостійна робота №11.Розрахунок електричних кіл з послідовним з'єднанням активних і реактивних елементів.	с.36
11.Самостійна робота №12. Резонанс напруг.	с.38
12.Література.	с.41

1. Електрична енергія, її властивості та використання.
2. Електричне поле та його характеристики: напруженість, потенціал, напруга. Закон Кулона.
3. Електрична ємність. Конденсатори. Ємність плоского конденсатора.
4. Поняття про електричний пробій і електричну міцність діелектрика.
5. Енергія електричного поля.

З усіх видів енергії в теперішній час широко використовують електромагнітну енергію, яку на практиці називають електричною.

Енергія – це кількісна міра руху і взаємодії усіх форм матерії. Для будь-якого виду енергії можна назвати матеріальний об'єкт, який називають **носієм**.

Носієм електричної енергії є особлива форма матерії – електромагнітне поле, головна особливість якого полягає в тому, що воно надає силовій дії на електрично заряджені частинки, в залежності від їх швидкості та величини заряду.

Ця властивість ЕМП є основою зв'язаних між собою електричних та магнітних явищ (взаємодії електрично заряджених або намагнічених тіл, електричного струму, електромагнітної індукції та ін.).

Використанням цих явищ для отримання, передачі та перетворення електричної енергії займається електротехніка.

Застосування електромагнітного поля і його енергії для передачі інформації без дротів – задача радіотехніки.

Електричну енергію можна отримати з інших видів енергії безпосередньо або шляхом проміжних перетворень. Для цього використовують природні енергетичні ресурси – річки та водоспади, океанські припливи, органічне паливо, ядерне паливо, сонячну радіацію, вітер, геотермальні джерела.

Отримання електричної енергії:

1. З механічної енергії (енергія руху води, вітру).
2. З теплової енергії.
3. З сонячної енергії.
4. З атомної енергії.

Застосування електричної енергії:

1. Перетворення електричної енергії в механічну (транспорт, промисловість).
2. Перетворення електричної енергії в хімічну і теплову (електроліз, електротермічна обробка матеріалів)
3. Перетворення електричної енергії в світлову.
4. Радіотехніка та електроніка.

Передача електричної енергії:

1. За допомогою ліній електропередачі (дріт).
2. Без дротяним способом (радіотехніка, радіолокація) із значними втратами, а звідси – лише для передачі інформації.

Електричним полем називається особлива форма матерії, в якій відбувається взаємодія електричних зарядів.

Основні характеристики електричного поля

Електричне поле характеризується потенціалом, напругою і напруженістю.

Потенціал (φ) є енергетичною характеристикою електричного поля. Взаємодія електричних зарядів відбувається саме тому, що електричне поле пов'язано з енергією. В електричному полі завжди можна знайти точку, потенціальну енергію якої відносно інших точок можна вважати такою, що дорівнює нулю. Таку точку називають нульовою.

Потенціалом даної точки електричного поля називають фізичну величину, що

характеризує потенціальну енергію в цій точці і чисельно дорівнює роботі, яку необхідно вико-

нати для переміщення одиниці позитивного заряду з цієї точки в нульову. Потенціал визначається за формулою:

$$\varphi = W / Q$$

де φ – потенціал даної точки, В; W – потенціальна енергія в точці поля або виконана робота, $W = A$, Дж; Q – електричний заряд в даній точці, Кл;

$$V = \text{Кл} / \text{Дж}.$$

Потенціал може бути позитивним, якщо поле утворено позитивним зарядом, і негативним, якщо поле утворено негативним зарядом.

Напругою (U) називається різниця потенціалів між двома точками електричного поля:

$$U = \varphi_A - \varphi_B$$

де U – напруга, В; φ_A, φ_B – потенціали відповідно в точках А і В.

Напруга між двома точками електричного поля дорівнює роботі, яку треба виконати для переміщення позитивного заряду між цими точками:

$$U = A / Q.$$

Напруга дорівнює одному вольту, якщо при переміщенні заряду в один кулон з однієї точки в другу виконується робота в один джоуль.

Робота, яку необхідну здійснити для переміщення електричних зарядів в електричному полі визначається по формулі:

$$A = U Q.$$

Як бачимо, робота, виконана по переміщенню електричного заряду, залежить від його величини і напруги між точками і не залежить від шляху переміщення заряду.

Напруженість електричного поля називається фізична величина, що діє на одиничний позитивний заряд, внесений в дану точку поля. Напруженість електричного поля (E) чисельно дорівнює силі, яка діє на одиничний позитивний заряд:

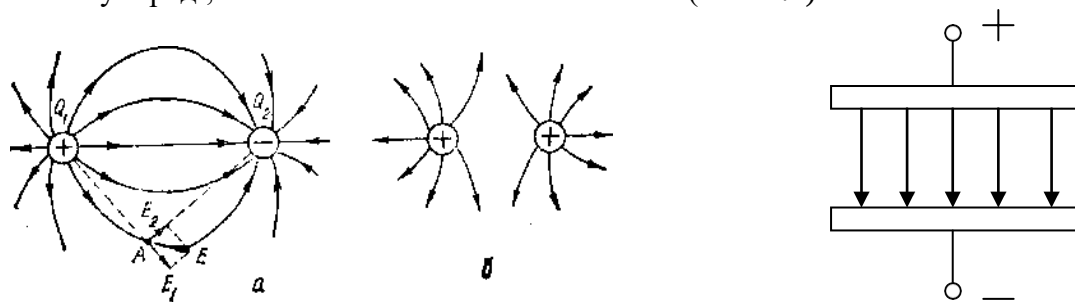
$$E = F / Q$$

де E – напруженість електричного поля; F – електрична сила; Q – електричний заряд.

Одиницею напруженості є вольт на метр:

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{H}{\text{Кл}} = \frac{H \cdot m}{\text{Кл} \cdot m} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл} \cdot m} = \frac{V \cdot \text{Кл}}{\text{Кл} \cdot m} = \frac{V}{m}.$$

Електричне поле графічно зображається лініями напруженості електричного поля. Лінія напруженості електричного поля починається на позитивному заряді і закінчується на негативному заряді, таким чином вона є незамкненою (мал. 1.1)



Мал. 1.1.

Якщо в точках електричного поля електричні силові лінії мають однакову густоту, тобто однакову напруженість, то воно називається **однорідним**, а якщо густота електричних силових ліній в різних точках поля не однакова, то воно називається **неоднорідним**.

Взаємодія електричних зарядів відбувається у матеріальному середовищі і навколо зарядів. Якщо в середовище внести електричний заряд, то воно зміниться, в усіх його точках діятимуть електричні сили F на кожен заряд, внесений у будь-яку точку цього середовища. Сила дії пропорційна величині електричного заряду.

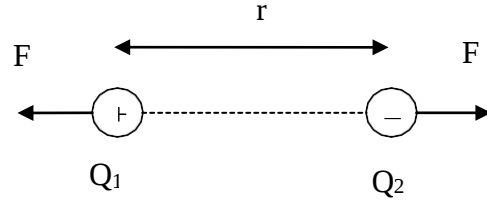
Електричне поле нерухомих заряджених тіл з незмінними у часі зарядами називається електростатичним полем.

Французький вчений Ш. Кулон у 1785 р. визначив силу взаємодії двох наелектризованих тіл.

Якщо вважати, що лінійні розміри тіл нескінченно малі, тобто взаємодіють точкові заряджені тіла (мал. 1.2), то закон Кулона формулюється так:

Сила взаємодії між двома точковими зарядженими тілами прямо пропорційна добутку зарядів цих тіл і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$



Мал. 1.2

де F – електрична сила, Н; Q_1, Q_2 – електричні заряди, Кл; r – відстань між зарядженими тілами, м; ϵ_0 – електрична стала, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ϵ – відносна діелектрична проникність, задається таблично.

Добуток $\epsilon\epsilon_0 = \epsilon_a$ характеризує вплив середовища на силу взаємодії між зарядами і називається абсолютною діелектричною проникністю середовища.

Провідник, який дістав електричний заряд, стає джерелом електричного поля. При зміні електричного заряду провідника здійснюється певна робота, а тому й енергетична характеристика провідника (потенціал) змінюється.

Властивість провідника накопичувати електричний заряд залежить від розмірів і форми його поверхні та від середовища, в якому знаходиться провідник. Ця залежність виражається за допомогою поняття електричної ємності C .

Електрична ємність – це фізична величина, яка характеризує здатність провідника накопичувати електричний заряд при зміні потенціалу на один вольт. Чисельно вона дорівнює відношенню заряду провідника до його потенціалу:

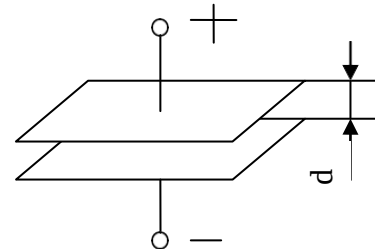
$$C = Q / \phi \quad [\Phi]$$

Для утворення електричної ємності застосовують конденсатори. Конденсатор у найпростішому вигляді є системою двох паралельних металевих пластин, відокремлених шаром діелектрика, можливо й повітрям (мал. 1.3).

Такий конденсатор називається плоским, а його електрична ємність визначається так:

$$C = \frac{Q}{\phi_1 - \phi_2} = \frac{Q}{U}$$

де C – ємність конденсатора, Ф; Q – заряд конденсатора, Кл; ϕ_1, ϕ_2 – потенціали пластин, U – різниця потенціалів, В.



Мал. 1.3.

У зарядженому конденсаторі електричні силові лінії починаються на пластині з позитивним зарядом і закінчуються на пластині з негативним зарядом. Електричне поле майже повністю зосереджено між пластинами. Зовнішні тіла й поля на нього не діють. Одиниця електричної ємності:

$$\Phi = \text{Кл} / \text{В}$$

Електрична ємність конденсатора дорівнює одному фараду, якщо при наданні йому заряду в один кулон напруга між пластинами збільшиться на один вольт.

Фарад дуже велика одиниця, тому застосовують мікрофарад (мкФ), пікофарад (пФ).

Електрична ємність плоских конденсаторів визначається формулою:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

де C – ємність конденсатора, Ф; ϵ – діелектрична проникність діелектрика, Ф/м; S – площа однієї пластини, м²; d – відстань між пластинами, м.

Електрична ємність конденсатора прямо пропорційна площі пластин або обкладок. Чим більша площа пластин, тим більша величина заряду міститься на них, оскільки в кожній конструкції конденсатора на одиниці площі міститься певна величина заряду.

Електрична ємність конденсатора обернено пропорційна відстані між пластинами. Чим менша ця відстань, тим більша взаємодія між протилежними зарядами, а тому й більша електрична ємність.

Електрична ємність конденсатора прямо пропорційна діелектричній проникності діелектрика. Чим більша діелектрична проникність, тим більша в діелектрику поляризація, тим менша взаємодія зарядів пластин і діелектриків, а тому більша електрична ємність.

Для збільшення ємності конденсаторів застосовують відповідні діелектрики, певні розміри пластин і відстань між ними. Крім того, виготовляють багатопластинні конденсатори.

Конденсатори, залежно від матеріалу діелектриків, поділяються на повітряні, керамічні, слюдяні, паперові, металопаперові та плівкові. Діелектрики можуть бути: повітряні, тверді та рідинні. Розрізняють також конденсатори постійної та змінної електричної ємності.

Поняття про електричний пробій і електричну міцність діелектрика.

Діелектрик, який розділяє провідники з різними електричними потенціалами, знаходиться в електричному полі. Напруженість електричного поля в діелектрику залежить від напруги між провідниками, відстані між ними, форми та розмірів провідника, властивостей діелектрика. При збільшенні напруженості електричного поля настає руйнування діелектрика – пробій.

*Величина напруженості електричного поля, при якій починається пробій діелектрика, називається **пробивною напруженістю або електричною міцністю діелектрика**, а напруга при побіі – **напругою пробою**.*

*Відношення пробивної напруги до номінальної називається **запасом міцності діелектрика**:*

$$n = U_{\text{проб}} / U_{\text{ном}}$$

Енергія електричного поля.

Щоб зарядити конденсатор, його слід підключити до джерела електричної енергії, наприклад, батареї чи акумулятора. Під час зарядження на обкладках конденсатора накопичується енергія електричного поля, яку можна розрахувати за формулою:

$$W_{\text{мп}} = \frac{CU^2}{2} = \frac{UQ}{2} = \frac{Q^2}{2C}.$$

Енергія електричного поля вимірюється в джоулях (Дж).

Самостійна робота № 2

Електричні кола постійного струму.

План:

1. Електричний струм провідності, його величина і напрямок, густина.
2. Електричний опір провідника, залежність його від параметрів провідника та температури.
3. Робота та потужність електричного струму.
4. Закон Ома для ділянки кола. Закон Ома для повного кола.
5. Електричне коло та його основні елементи. Джерела електричної енергії.

Всі тіла в природі поділяються на провідники, напівпровідники і діелектрики. Такий поділ обумовлений кількістю вільних зарядів у них – електронів і іонів.

Провідники, в яких переміщення зарядів відбувається за рахунок електронів, називаються **провідниками першого роду**, а електропровідність – електронною. Провідники, в яких переміщення зарядів відбувається завдяки руху іонів, називаються **провідниками другого роду**, а електропровідність – іонною.

Провідниками є в основному метали, вони мають вільні електрони, які в звичайному стані рухаються хаотично. Якщо підключити до кінців провідника джерела електричної енергії, то в ньому утвориться електричне поле E , яке переміщатиме електрони від негативного заряду до позитивного. Надмірність електронів негативного полюса обумовлює “штовхання” вільних електронів провідника, які “поштовх” однойменного заряду передають далі по провіднику і таким чином заряд рухатиметься із швидкістю 300 тис. км/с. Самі ж електрони переміщуються набагато повільніше.

У провідниках другого роду іони переміщуються до протилежно заряджених полюсів джерела.

Явище напрямленого руху вільних носіїв електричних зарядів у провіднику називають електричним струмом провідності або просто електричним струмом і позначають буквою I . Одиницею електричного струму є Ампер (А).

Струм, який з часом не змінює своїєї величини і напрямку, називається **постійним**.

Величина струму виражає інтенсивність проходження заряду через провідник за одиницю часу:

$$I = \frac{Q}{t}, \quad (2.1)$$

де I – електричний струм, А;

Q – величина заряду, Кл;

t – час, с.

Вважають, що в зовнішній частині кола струм має напрям від позитивного до негативного затискача. Цей напрям протилежний напрямку руху електронів. У внутрішній частині кола (в джерелі електричної енергії) струм має напрям від негативного затискача до позитивного (мал. 4.1).

За дійсний напрямок струму вважають рух позитивних зарядів від позитивного затискача джерела струму (+) до негативного (-).

Крім величини і напрямку, струм характеризується густиною. **Величину струму, що проходить через одиницю площі поперечного перерізу провідника електричного кола, називають густиною струму і позначають буквою j :**

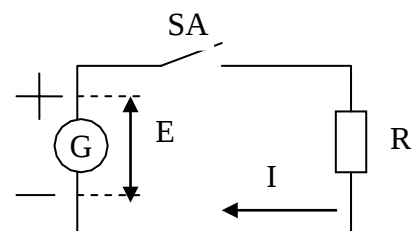
$$j = \frac{I}{S}, \quad (2.2)$$

де j – густина струму, А/м²;

I – електричний струм, А;

S – площа перерізу провідника, м².

Інтенсивність, густина або величина струму пропорційна напруженості електричного поля і залежить від властивостей провідника, через який проходить струм.



Мал. 2.1

Відношення величини струму I до напруги джерела енергії U називають провідністю провідника G :

$$G = \frac{I}{U} . \quad (2.3)$$

Одиницею провідності є ампер на вольт (А/В) або сименс (См).

Величиною, оберненою до провідності, є електричний опір.

Електричний опір – це величина, що характеризує протидію електричного кола електричним зарядам, що рухаються.

$$R = 1/G \quad (2.4)$$

На підставі формули (4.3) можна записати:

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

Одиницею електричного опору є Ом. Вираз (2.5) є одним з основних законів електричних кіл – закон Ома (для ділянки кола). Він широко застосовується для аналізів та розрахунків електричних кіл і формулюється так: величина струму в замкненому електричному колі прямо пропорційна електрорушійній силі і обернено пропорційна опору електричного кола:

$$I = \frac{E}{R + R_i}, \quad \text{де } I - \text{величина струму, А;}$$

E – ЕРС джерела, В;

R - опір зовнішньої ділянки кола, Ом;

R_i – внутрішній опір джерела, Ом.

Залежність опору від матеріалу і розмірів провідника визначається формулою:

$$R = \frac{\rho l}{S}, \quad (2.6)$$

де R – опір, Ом;

ρ – питомий опір, Ом*м;

l – довжина провідника, м;

S – площа поперечного перерізу, м².

Якщо провідники з металів і сплавів нагрівати, то в них зростає рух вільних електронів, збільшується число зіткнень з іншими частинками і між собою, а отже, зменшується впорядкований рух електронів. Внаслідок цього опір провідника збільшується.

Величина, яка характеризує зміну одного Ома опора провідника при зміні температури на 1⁰ С, називається температурним коефіцієнтом α . У широкому діапазоні зміни температури провідників з металів та сплавів їх опір визначається за формулою:

$$R_2 = R_1 (1 + \alpha (t_2 - t_1)), \quad (2.7)$$

де R_1 – опір провідника при температурі t_1 , Ом;

R_2 - опір провідника при температурі t_2 , Ом;

α – температурний коефіцієнт, ⁰С⁻¹.

Величину, яка характеризує спроможність стороннього поля викликати електричний струм, називають електрорушійною силою (ЕРС) і позначають буквою E . ЕРС чисельно дорівнює роботі джерела електричної енергії по переміщенню одиничного позитивного заряду

вздовж всього кола:

$$E = \frac{A}{q},$$

де E – ЕРС джерела, В;

A – робота, Дж;

q – величина перенесеного заряду, Кл.

Одиницею ЕРС є вольт (В).

Джерело електричної енергії утворює ЕРС в один вольт, якщо при переміщенні вздовж всього замкненого кола заряду в один кулон здійснюється робота в один джоуль.

Потужність електричного струму характеризує швидкість перетворення електричної енергії в інші види і визначається роботою, що виконується за одиницю часу. Потужність, яка використовується споживачем, називається корисною потужністю і визначається за формулою:

$$P = U I.$$

Застосовуючи закон Ома, маємо

$$P = U I = I^2 R = U^2 / R.$$

Одиницею потужності є ват (Вт).

Внутрішньою потужністю втрат ($P_{\text{вн}}$) називається потужність, витрачена на нагрівання всередині джерела енергії.

Уся потужність джерела електричної енергії називається повною потужністю, або потужністю джерела ($P_{\text{д}}$), $P_{\text{д}} = P + P_{\text{вн}}$.

Одним із видів перетворення електричної енергії в інші види є перетворення електричної енергії в теплову. Кількість тепла, що виділяється в провідниках, визначається законом Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

де Q - кількість тепла, Дж;

I - струм у провіднику, А;

R - опір провідника, Ом;

t - час, с.

Кількість тепла, що виділяється струмом у провіднику при сталому опорі, прямо пропорційна опору провідника, квадрату величини струму і часу його проходження.

Електричним колом називають сукупність різних пристроїв, джерел енергії (струму) та провідників, що їх з'єднують, утворюючи шлях проходження електричного струму.

Окремий пристрій, який входить у склад електричного кола та виконує в ньому певну функцію, називається елементом електричного кола.

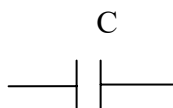
Елементи кола, в яких електрична енергія перетворюється у тепло, характеризуються опором або провідністю і називаються **пасивними**. Елементи кола, які характеризуються величинами ЕРС, називаються **активними**.

Розрізняють 3 пасивних та 2 активних елемента кола.

Пасивні елементи:

1. Ємність – елемент електричного кола, в якому накопичується енергія електричного поля.

На схемах позначається :



$$C = \frac{q}{U_c}; i_c = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \llcorner U_c \rceil = C \frac{dU_c}{dt};$$

Зв'язок між струмом і напругою в ємності:

$$i_c = C \frac{dU_c}{dt}; \quad U_c = \frac{1}{C} \int_0^t i_c dt$$

Постійний струм через ємність не проходить. Ємність в колі постійного струму еквівалентна розриву кола.

2. Індуктивність - елемент електричного кола, в якому накопичується енергія магнітного поля. На схемах позначається :



$$L = \frac{\psi}{i_L}; \quad \psi = L i_L$$

Згідно з законом Ленца зміна потокозчеплення котушки викликає появу на кінцях котушки електрорушійної сили (ЕРС).

$$e_L = -\frac{d\psi}{dt} = \frac{d}{dt} \llcorner i_L \rceil = -L \frac{di_L}{dt} = -U_L - \text{напруга на індуктивності.}$$

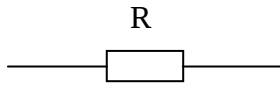
Зв'язок між струмом і напругою в індуктивності:

$$U_L = -L \frac{di_L}{dt}; \quad i_L = \frac{1}{L} \int_0^t U dt$$

Індуктивність в колі постійного струму еквівалентна короткому замиканню.

3. Опір – елемент, в якому відбувається перетворення електромагнітної енергії в інші види енергії або її розсіювання.

На схемах позначається :



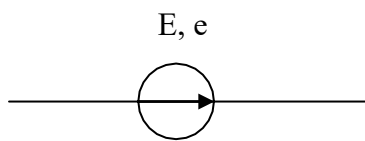
Зв'язок між струмом і напругою в опорі:

$$U = Ri, \quad i = \frac{U}{R}$$

Ідеалізованим схемним елементам ємності, індуктивності та опору відповідають реальні елементи: конденсатор, котушка індуктивності, резистор.

Активні елементи:

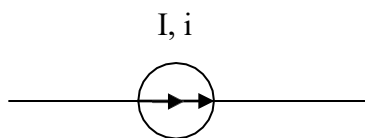
1. Джерело ЕРС – елемент з двома виводами, напруга на яких не залежить від струму, який протікає; внутрішній опір якого дорівнює нулю. На схемах позначається :



e – миттєве значення змінної ЕРС; E – постійне або діюче значення ЕРС.

Всередині джерела ЕРС напрям напруги і ЕРС протилежні. Джерело ЕРС вмикається в коло тільки послідовно з навантаженням.

2. Джерело струму – елемент з двома виводами, струм через який не залежить від напруги на його затискачах; внутрішній опір дорівнює нескінченності. На схемах позначається :

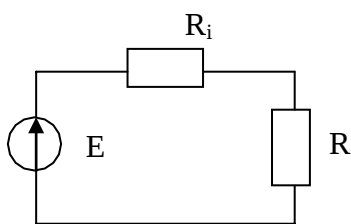


Джерело струму вмикається в коло тільки паралельно з навантаженням.

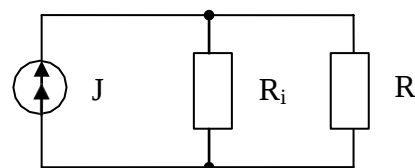
Для полегшення розрахунків складається схема заміщення електричного кола, тобто схема, яка відображує властивості кола при визначених умовах.

Електричною схемою називається графічне зображення електричного кола, на якому умовно подано його елементи та їх з'єднання.

Схеми заміщення джерела ЕРС (мал. 2.1) і джерела струму (мал. 2.2):



Мал. 2.1.



Мал. 2.2.

Самостійна робота № 3

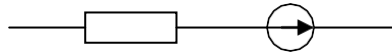
Розрахунок електричних кіл постійного струму. З'єднання опорів.

План:

1. Топографічні елементи електричної схеми: гілка, вузол, контур.
2. Послідовне, паралельне та мішане з'єднання опорів, еквівалентний опір електричного кола.
3. Розрахунок електричних кіл шляхом згортання схем.

Розглядаючи схеми будь – яких електричних кіл, можна виділити в них характерні ділянки: гілки, вузли, контури.

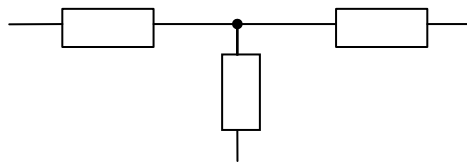
1. **Гілка** – ділянка електричного кола, яка складається з одного або декількох послідовно з'єднаних елементів, струм вздовж яких в визначений момент часу має одне значення.



Гілка починається і закінчується в вузлі.

2. **Вузол** – місце з'єднання трьох і більше гілок.

Гілки, які приєднані до першої пари вузлів, називаються паралельними.

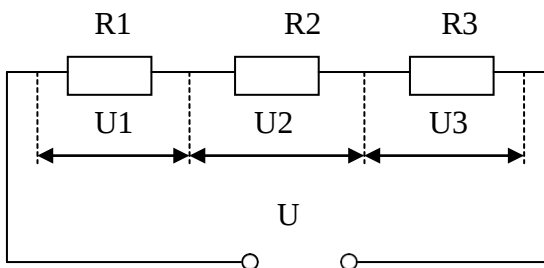


3. **Контур** електричного кола – це будь – який замкнений шлях, який проходить крізь ряд гілок і вузлів.

Розрізняють: внутрішні і зовнішні контури. Контури, які не включають в себе інші контури, називаються внутрішніми.

В електричних колах застосовують три види з'єднання резисторів: послідовне, паралельне, мішане.

Послідовним з'єднанням називається таке з'єднання, при якому через усі елементи кола проходить один і той самий струм.



При такому з'єднанні на кожному резисторі відбувається спад напруги, який визначається законом Ома. Загальна напруга складається із сум напруг у колі:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1)$$

$$R_{\text{заг}} = R_1 + R_2 + R_3$$

Для замкненого кола, згідно з законом Ома

$$I = \frac{E}{R_i + R_{\text{заг}}}$$

Якщо в рівнянні (1) обидві частини помножити на I , то дістанемо

$$UI = U_1 I + U_2 I + U_3 I,$$

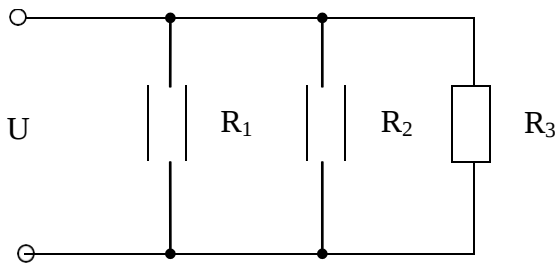
звідки

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Загальна потужність кола дорівнює сумі потужностей послідовно з'єднаних резисторів. Потужності на цих резисторах розподіляються прямо пропорційно опорам резисторів:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2}, \text{ а також } \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Паралельним з'єднанням резисторів називається таке з'єднання, при якому кілька резисторів включено між двома загальними точками, і струм у колі розгалужується.



Напруги на паралельних ділянках кола однакові і дорівнюють напрузі між вузлами:

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

Загальна провідність усіх паралельних гілок:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Загальний опір паралельного з'єднання визначається через загальну провідність:

$$R = 1 / G$$

Струми в паралельних гілках розподіляються обернено пропорційно їх опорів:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}, \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}, \quad \frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1}$$

Для m паралельно з'єднаних резисторів з однаковими опорів, загальний опір

$$R = R_1 / m,$$

де R_1 - Величина опорів одного резистора,

m – кількість гілок з однаковими опорів.

Для двох паралельно з'єднаних резисторів загальний опір

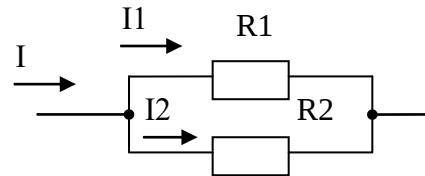
$$R_{\text{заг}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

струми в гілках:

$$U = R_{\text{заг}} I$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R_{\text{заг}} I}{R_1} = I \frac{R_1 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{R_{\text{заг}} I}{R_2} = I \frac{R_1 R_2}{R_2 (R_1 + R_2)} = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Правило розкиду

Мішане з'єднання – це таке з'єднання, при якому в електричному колі є і послідовне, і паралельне з'єднання резисторів.

При розрахунках таких кіл розглядають окремі ділянки кола послідовного та паралельного з'єднань і застосовують відповідні формули.

Розрахунок ЕК постійного струму шляхом згортання схем (метод еквівалентних опорів).

Метод еквівалентних опорів застосовують для розрахунку таких електричних кіл, в яких є пасивні елементи, ввімкнені між собою послідовно, паралельно або мішано.

Алгоритм розрахунку:

1. Визначення еквівалентних опорів.

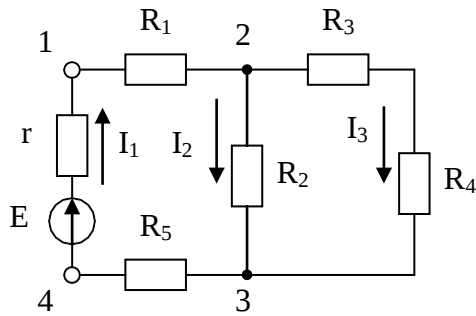
На схемі (мал. 3.1) опори R_3 та R_4 ввімкнені послідовно. Ці два опори можна замінити одним (еквівалентним), визначив його як суму $R_3 + R_4 = R_{3,4}$.

Після такої заміни утворюється більш проста схема (мал. 3.2). опори R_2 та $R_{3,4}$ з'єднані паралельно, їх можна замінити одним (еквівалентним), визначив його по формулі:

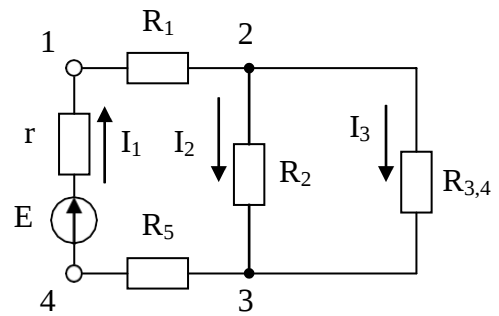
$$R_{2-4} = \frac{R_2 R_{3,4}}{R_2 + R_{3,4}}$$

і отримати більш просту схему (мал. 3.3).

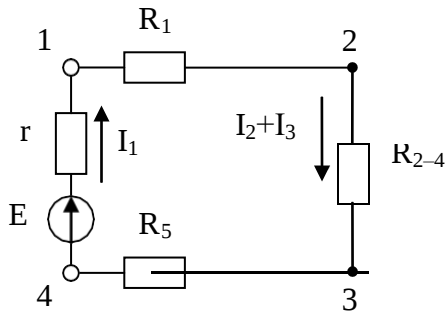
В схемі мал. 3.3 опори R_1 , R_{2-4} , R_5 з'єднані послідовно. Замінивши ці опори одним (еквівалентним) опором між точками 1 і 4, отримаємо найпростішу схему (мал. 3.4).



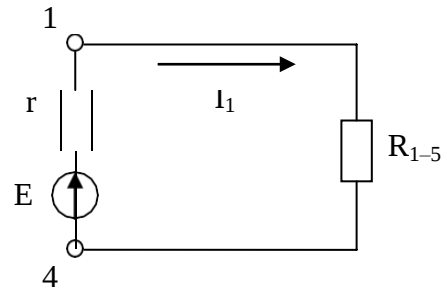
Мал. 3.1



Мал. 3.2



Мал. 3.3



Мал. 3.4

Подібним перетворенням схему мішаного з'єднання пасивних елементів з одним джерелом енергії в більшості випадків можна привести до найпростішої схеми. В більш складних схемах методом еквівалентних опорів досягається спрощення, яке значно полегшує розрахунок.

2. Визначення струмів.

В найпростішій схемі (мал. 3.4) струм визначається по закону Ома для повного кола. Струми в інших гілках первісної схеми визначають, переходячи від схеми до схеми в зворотному порядку.

1 спосіб визначення струмів:

Зі схеми 3.3 бачимо, що $I_1 = I_2 + I_3$.

Крім того, напруга між точками 2 і 3:

$$U_{2-3} = I_1 \cdot R_{2-3}$$

Знаючи цю напругу, легко визначити струми I_2 та I_3 :

$$I_2 = U_{2-3} / R_2; \quad I_3 = U_{2-3} / R_{3,4}$$

2 спосіб визначення струмів:

За законом Ома визначаємо струм I_1 :

$$I_1 = \frac{E}{R_{1-5} + r}$$

За правилом розкиду визначаємо струми I_2 та I_3 :

$$I_2 = I_1 \frac{R_{3,4}}{R_2 + R_{3,4}}$$

$$I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_{3,4}}$$

Самостійна робота № 4

Розрахунок електричних кіл постійного струму.

План:

1. Закони Кірхгофа.
2. Баланс потужностей в електричному колі.
3. Розрахунок електричних кіл по законам Кірхгофа.

Головна мета розрахунку електричного кола полягає у визначенні струмів в її гілках. Якщо знати струми, неважко знайти напруги і потужності гілок і окремих елементів кола. Величини струмів, напруг, потужностей дають можливість оцінити умови і ефективність роботи електротехнічного обладнання і пристроїв в усіх ділянках кола.

Для розрахунку електричних кіл разом з законом Ома використовують два закони Кірхгофа, які є наслідком закону збереження енергії.

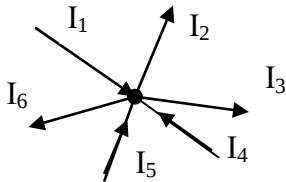
Перший закон Кірхгофа.

Алгебраїчна сума струмів, які збігаються в вузлі, дорівнює нулю.

$$\sum I_K = 0$$

Струми, які входять до вузла, записують зі знаком "+", які виходять з вузла – зі знаком "-".

Перший закон Кірхгофа можна сформулювати так: сума струмів, які напрямлені до вузла електричного кола, дорівнює сумі струмів, напрямлених від цього вузла.



$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 + I_5 - I_6 = 0$$

Другий закон Кірхгофа.

1. Алгебраїчна сума напруг на усіх елементах замкненого контуру дорівнює нулю.

$$\sum U_K = 0$$

2. Алгебраїчна сума ЕРС в контурі дорівнює алгебраїчній сумі напруг на елементах, що залишились у контурі.

$$\sum E_K = \sum U_K$$

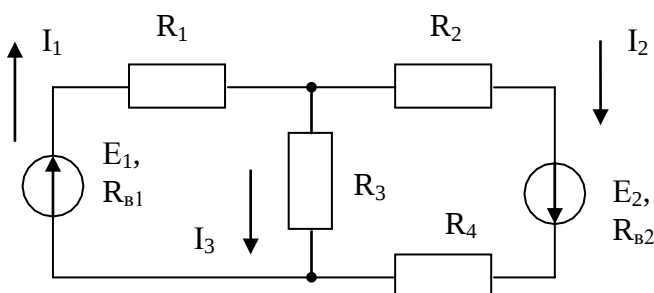
Баланс потужностей в електричному колі.

Для замкненого електричного кола виконується закон збереження енергії: потужність, яка віддається джерелами, дорівнює сумі потужностей, які виділяються в опорах.

$$\sum EI = \sum RI^2$$

Рівняння балансу потужностей служить для перевірки правильності розрахунків електричних кіл.

Розрахунок ЕК по законам Кірхгофа



$$\begin{aligned} E_1 &= E_2 = 105 \text{ В}; \\ R_1 &= R_4 = 9,5 \text{ Ом}; \\ R_2 &= R_3 = 20 \text{ Ом}; \\ R_{61} &= R_{62} = 0,5 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Визначити струми в усіх гілках методом рівнянь Кірхгофа.

1. Задаємо додатний напрям струму в гілках.

2. Визначаємо кількість вузлів в схемі ($y=2$).

3. Визначаємо кількість гілок з невідомими струмами ($v=3$).

4. Для одного вузла ($y-1$) записуємо рівняння по першому закону Кірхгофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

5. Обираємо два внутрішніх контура ($v-(y-1)$) та записуємо для них рівняння по другому закону Кірхгофа (напрямок обходу контуру обираємо самі):

$$(R_1 + R_{e1}) \cdot I_1 + R_3 \cdot I_3 = E_1$$

$$(R_2 + R_{e2} + R_4) \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3 = E_2$$

6. Розв'язуємо систему рівнянь з невідомими $I_1 - I_3$:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$(R_1 + R_{e1}) \cdot I_1 + R_3 \cdot I_3 = E_1$$

$$(R_2 + R_{e2} + R_4) \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3 = E_2$$

Підставляємо в систему рівнянь відомі величини:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$(9,5 + 0,5) \cdot I_1 + 20 \cdot I_3 = 105$$

$$(20 + 0,5 + 9,5) \cdot I_2 - 20 \cdot I_3 = 105$$

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

$$10 \cdot I_1 + 20 \cdot I_3 = 105 \quad (2)$$

$$30 \cdot I_2 - 20 \cdot I_3 = 105 \quad (3)$$

З рівняння (2) визначимо I_1 :

$$I_1 = \frac{105 - 20 \cdot I_3}{10} \quad (4)$$

З рівняння (3) визначимо I_2 :

$$I_2 = \frac{105 + 20 \cdot I_3}{30} \quad (5)$$

Підставимо отримані вирази в рівняння (1):

$$\frac{105 - 20 \cdot I_3}{10} - \left(\frac{105 + 20 \cdot I_3}{30} \right) - I_3 = 0.$$

$$\frac{315 - 60 \cdot I_3 - 105 - 20 \cdot I_3 - 30 \cdot I_3}{30} = 0$$

$$210 = 110 \cdot I_3$$

$$I_3 = 1,909 \text{ (A)}$$

Підставимо отримане значення I_3 в рівняння (4) та (5) та знайдемо значення струмів I_1 та I_2 :

$$I_1 = \frac{105 - 20 \cdot 1,909}{10} = 6,682 \text{ (A)};$$

$$I_2 = \frac{105 + 20 \cdot 1,909}{30} = 4,7726 \text{ (A)}$$

7. Складаємо рівняння балансу потужностей та перевіряємо розрахунок задачі:

$$(R_1 + R_{e1}) \cdot I_1^2 + (R_2 + R_{e2} + R_4) \cdot I_2^2 + R_3 \cdot I_3^2 = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2$$

$$10 \cdot 6,682^2 + 30 \cdot 4,7726^2 + 20 \cdot 1,909^2 = 1202,705$$

$$105 \cdot 6,682 + 105 \cdot 4,7726 = 1202,73$$

$$1202 = 1202$$

Самостійна робота № 6
Магнітне поле постійного струму.

План:

1. МП постійного струму
2. Характеристики (індукція, напруженість, магнітна проникність середовища, магнітний потік, потокозчеплення), властивості, зображення магнітного поля.
3. Магнітні властивості речовини.
4. Намагнічування речовини.
5. Магнітний гістерезис.

1. Характеристики, властивості, зображення магнітного поля.

Досліди показали, що навколо провідників зі струмом і постійних магнітів існує **магнітне поле**, яке легко виявити за силовою дією, якою воно впливає на інші провідники зі струмом або постійні магніти.

Магнітним полем називається особливий вид матерії, який виникає навколо електричних зарядів, що рухаються, або навколо провідників зі струмом, і є посередником у їх взаємодії. Воно як матерія має масу та енергію.

МП постійних магнітів утворюється молекулярними струмами внаслідок руху електронів вздовж орбіт і обертанням їх навколо власних осей.

Електричне поле діє як на рухомі, так і на нерухомі електричні заряди. Магнітне поле діє лише на рухомі в цьому полі електричні заряди.

Силу дію магнітного поля в будь-якій його точці на заряджену частинку, що пролітає через цю точку, характеризують магнітною індукцією B .

Властивості магнітного поля:

1. Магніти та електромагніт притягають феромагнітні матеріали і виявляють відштовхуючу дію на діамагнітні матеріали.
2. МП виявляє силу дію на провідники з електричним струмом, які розміщено в ньому.
3. При перетинанні провідниками МП в них утворюється електрорушійна сила.
4. МП двох провідників із струмом виявляють притягання або відштовхуючу дію на провідники, залежно від напрямку струму в них.
5. Деякі матеріали в магнітному полі змінюють свої розміри. Це явище називають **магнітострикцією**.

Характеристики магнітного поля:

1. Магнітна проникність – це величина, що характеризує властивість речовини намагнічуватися і створювати під дією сили МП власне МП. Магнітна проникність характеризує також здатність речовини посилювати чи послабляти МП, в якому вона знаходиться.

Абсолютна магнітна проникність виражається формулою:

$$\mu_a = \mu_0 \mu_r ,$$

де μ_0 – магнітна проникність вакууму, практично – повітря,

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \approx 125 \cdot 10^{-8} \text{ Гн/м};$$

μ_r – відносна магнітна проникність, вона показує у скільки разів магнітна проникність даної речовини більша або менша, ніж магнітна проникність вакууму.

2. Напруженість МП (H) – векторна величина, що характеризує інтенсивність МП у вакуумі (в повітрі).

МП мають намагнічуючу силу тим більшу, чим більша величина напруженості в точках МП.

3. Магнітна індукція (B) – векторна величина, яка характеризує інтенсивність МП будь-яких речовин.

Магнітна індукція і напруженість МП зв'язані між собою співвідношенням:

$$B = \mu_a H ,$$

де B – магнітна індукція, Тл;

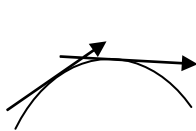
μ_a – абсолютна магнітна проникність, Гн/м;

H – напруженість МП, А/м.

Для графічного зображення МП зручно користуватись лініями магнітної індукції. **Лініями магнітної індукції** називаються такі лінії, дотичні до яких в кожній точці збігаються з напрямком вектора B в цих точках поля. Лінії магнітного поля завжди замкнені.

Напрямок ліній індукції магнітного поля струму визначається за правилом свердлика: якщо вкручувати свердлик за напрямком руху струму в провіднику, то напрямок руху його рукоятки покаже напрям ліній магнітної індукції. Лінії магнітної індукції можна спостерігати за допомогою дрібних металевих ошурків, які в магнітному полі ведуть себе, як маленькі магнітні стрілки.

При розрахунку магнітних полів використовується поняття магнітної напруги (U_M) між двома точками магнітної силової лінії (мал. 1)



$$U_M = H \cdot l_{1-2}$$

Магнітна напруга, обчислена по замкнутому контуру, називається намагнічуючою силою або магніторушійною силою (МРС) і позначається F_M .

Намагнічуюча сила характеризує властивість струму утворювати магнітне поле. Закон повного струму, встановлений експериментально, стверджує, що намагнічуюча сила вздовж контуру дорівнює повному струму, який пронизує площу, обмежену цим контуром.

$$H \cdot l = \sum I$$

де H – напруженість магнітного поля вздовж контуру, А/м;

l – довжина контуру, м; $\sum I$ – повний струм, А.

Залежно від величини відносної магнітної проникності усі речовини поділяються на три групи: парамагнетики, діамагнетики, феромагнетики.

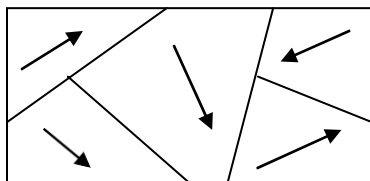
Парамагнетиками називають такі речовини, в яких відносна магнітна проникність більша за одиницю (повітря, алюміній, марганець, платина та ін.). В зовнішньому МП вони намагнічуються дуже слабо і тому неістотно підсилюють зовнішнє МП.

Діамагнетиками називають такі речовини, в яких відносна магнітна проникність менша за одиницю (мідь, срібло, графіт). Діамагнетики надто слабо намагнічуються і створюють слабе поле зворотного напрямку щодо зовнішнього поля, тому вони неістотно послаблюють зовнішнє МП.

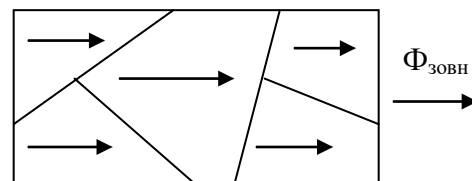
Феромагнетиками називають такі речовини, в яких відносна магнітна проникність значно більша за одиницю (сталь, кобальт, нікель та різноманітні сплави). Феромагнетики дуже добре намагнічуються, значно підсилюють зовнішнє МП, створюючи власне МП.

Феромагнетики складаються з дуже малих намагнічених ділянок, об'єм яких близько 10^{-8} см^3 . Ці ділянки називаються **магнітними доменами** (мал. 13.1). У доменах елементарні кругові струми атомів орієнтовані в певному напрямку і створюють, завдяки цьому, магнітний момент. Електронна орбіта атома є елементарним круговим струмом, а отже, і елементарним магнітиком, що має елементарний магнітний момент. У звичайному куску сталі або іншого феромагнетика магнітні моменти окремих доменів мають різні напрями. Тому в цілому цей кусок не створює магнітного поля, тобто матеріал не намагнічений.

Якщо феромагнетик помістити в зовнішнє магнітне поле, то він намагнічується, оскільки вектори магнітних полів орієнтуються в напрямі зовнішнього магнітного поля (мал. 13.2). Феромагнетик створює власне магнітне поле, яке посилює напруженість зовнішнього магнітного поля і магнітну індукцію.



Мал. 13.1



Мал. 13.2

Магнітна індукція характеризує міру намагнічування феромагнетика.

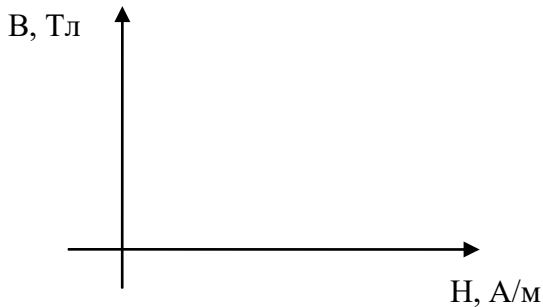
При невеликій напруженості зовнішнього магнітного поля всередині феромагнетика в магнітному полі орієнтується невелика кількість доменів, в яких вектори власних магнітних полів

мають напрям, близький до напрямку потоку зовнішнього магнітного поля, і феромагнетик слабо намагнічується, величина магнітної індукції невелика.

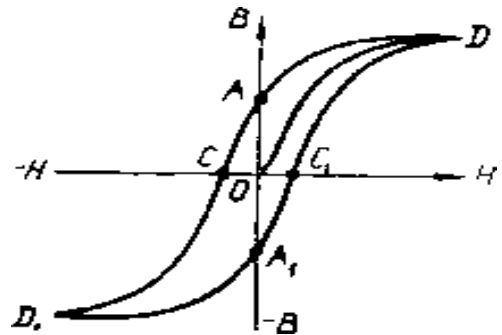
При збільшенні напруженості зовнішнього магнітного поля на нього орієнтується все більша кількість доменів, і магнітна індукція феромагнетика зростає. При подальшому збільшенні напруженості всі домени орієнтуються за напрямом зовнішнього магнітного поля, після чого магнітна індукція B не буде помітно зростати. Це явище називається **магнітним насиченням**. Потім магнітна індукція зростатиме тільки за рахунок напруженості зовнішнього магнітного поля $B = \mu_0 H$, а це величина дуже мала, оскільки $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

Описаний процес ілюструється графіком, що являє собою криві намагнічування для різних феромагнетиків (мал. 13.3). Крива намагнічування зображує залежність магнітної індукції від напруженості магнітного поля.

Якщо зразок магнітного матеріалу намагнічувати, неперервно збільшуючи напруженість магнітного поля, то магнітна індукція теж буде неперервно збільшуватися по кривій початкового намагнічування (крива OD на мал. 13.4). При зменшенні напруженості магнітного поля теж буде зменшуватися. Але зменшення відбуватиметься не вздовж основної кривої намагнічування OD , а вздовж кривої DA , що знаходиться вище від основної. Якщо напруженість магнітного поля зменшиться до нуля, то магнітна індукція не зменшиться до нуля, а становитиме деяку величину (відрізок OA на мал. 13.4). Це пояснюється тим, що дезорієнтуються не всі домени феромагнетика. Частина доменів, що залишились орієнтованими, створюють величину магнітної індукції B_r , яку називають **залишковою**.



Мал. 13.3



Мал. 13.4

Магнітна індукція, що зберігається у феромагнетика, коли відсутнє зовнішнє магнітне поле, називається **залишковою магнітною індукцією** B_r (відрізки OA і OA_1 на мал. 13.4).

Для розмагнічення матеріалу треба, щоб напруженість магнітного поля змінила свій напрямок на зворотній ($-H$). При цій напруженості (відрізок OC на мал. 13.4) усі домени дезорієнтовані, і осердя розмагнічується. Залишкова магнітна індукція зменшиться до нуля. Напруженість магнітного поля, необхідну для повного розмагнічування осердя, називають **коерцитивною або затримуючою силою** (відрізки OC і OC_1 на мал. 13.4).

При подальшому зростанні напруженості $-H$ домени орієнтуються в протилежному напрямі вздовж кривої CD_1 .

При зменшенні напруженості до нуля, осердя розмагнічується, але не повністю — зберігається залишкова магнітна індукція $-B_r$ (відрізок OA_1 на мал. 13.4).

Якщо знову змінити полярність і збільшувати напруженість до величини, відповідній відрізку OC_1 , то остаточна магнітна індукція зменшиться до нуля, і осердя розмагнітиться вздовж кривої A_1C_1 . При наступному зростанні струму і напруженості магнітного поля осердя знову намагнітиться вздовж кривої C_1B . Отже, крива перемагнічування осердя замикається і має вигляд петлі.

З цього процесу випливає, що зміна магнітної індукції відстає від зміни напруженості магнітного поля. Коли напруженість досягне нуля, магнітна індукція нулю не дорівнюватиме.

Явище запізнення зміни магнітної індукції від зміни напруженості магнітного поля називають магнітним гістерезисом.

Замкнену криву залежності магнітної індукції від напруженості магнітного поля за два цикла (намагнічування і розмагнічування) називають **петлею гістерезису**.

У колах змінного струму, де безперервно відбувається зміна величини і напрямку струму в котушках з феромагнітними осердями, це осердя перемагнічуються, енергія витрачається на повороти доменів у осердях, які й нагріваються. Витрати потужності, зв'язані з гістерезисом, називаються **втратами на гістерезис** і вимірюються в Дж/м³. **Площа петлі гістерезису дорівнює величині цих витрат за два цикли перемагнічування феромагнітного осердя.**

Для оцінки форми гістерезисної петлі застосовують характеристику – коефіцієнт гістерезисної петлі K_H , який розраховується по петлі гістерезису.

$$K_H = B_r / B_m$$

де B_r – залишкова магнітна індукція; B_m – максимальна індукція (мал. 13.4)

Чим більша величина K_H , тим більш прямокутна петля гістерезису. У магнітних матеріалів, які застосовуються для запам'ятовуючих пристроїв в електронних обчислювальних машинах, $K_H = 0,96 - 0,98$.

Феромагнетики з великою коерцитивною силою і великим залишковим магнетизмом називають **магніто-твердими**. Вони мають велику площу петлі гістерезису і використовуються для виготовлення постійних магнітів.

Феромагнетики з малою коерцитивною силою називають **магніто-м'якими**. Вони мають вузьку петлю гістерезису і використовуються в колах змінного струму для осердь котушок, трансформаторів, електричних машин і апаратів.

Самостійна робота № 7

Електромагнітна індукція.

План:

1. Закон електромагнітної індукції.
2. Правило Ленца.
3. ЕРС самоіндукції.
4. Енергія магнітного поля.

У 1831 році англійський фізик М. Фарадей експериментально відкрив важливе явище, яке стало широко використовуватись в техніці.

Якщо провідник рухати в магнітному полі так, щоб він перетинав магнітні силові лінії, то на його кінцях виникає різниця потенціалів. Це пояснюється тим, що кожний вільний електрон провідника, рухаючись разом з провідником, створює своєрідний елементарний електричний струм у просторі. При цьому виникає взаємодія елементарних струмів з магнітним полем і виникає механічна сила, що штовхає вільні електрони провідника до його кінця.

Сили, що діють на електрони, які рухаються в магнітному полі, були відкриті голландським фізиком Г.А. Лоренцом.

Вона визначається за формулою:

$$F = eBv \sin \alpha$$

де F – сила Лоренцо, e – заряд електрона, B – магнітна індукція, v – швидкість руху електрона, α – кут між напрямом руху електрона і напрямом магнітної індукції поля.

Під впливом сил Лоренцо, діючих на провідник, що рухається, на кінці А утворюється надмір електронів, тобто негативний потенціал, а на кінці Б – недостача електронів, тобто позитивний потенціал. Так виникає електрорушійна сила, яка називається індукованою.

Явищем електромагнітної індукції називається виникнення ЕРС у провіднику при перетинанні провідником магнітних силових ліній або при зміні величини магнітного потоку, пронизуючого контур.

Напрямок індукованої ЕРС у провіднику, що рухається в магнітному полі, визначається за правилом правої руки: якщо долоню правої руки розмістити в магнітному полі так, щоб магнітні силові лінії входили в долоню, а відігнутий великий палець був напрямлений у бік руху провідника, то випрямлені чотири пальці покажуть напрям ЕРС, індукованої у провіднику.

Для визначення напрямку ЕРС, індукованої в контурі або в котушці, що виникає при зміні магнітного потоку в них, використовується **правило Ленца**: індукована ЕРС завжди напрямлена так, що своїм струмом і магнітним потоком протидіє причині, що її викликала.

Якщо визначити полярність котушки від індукційного струму, то легко **визначити напрям струму**. Для цього користуються **правилом накладання правої руки на котушку**: якщо долоню правої руки розмістити так, щоб великий палець був напрямлений у бік північного полюса котушки, то випрямлені чотири пальці покажуть напрям індукційного струму у витках котушки.

Величина індукованої ЕРС при переміщенні провідника в магнітному полі визначається за формулою

$$e = Blv \sin \alpha$$

e – індукована ЕРС, В; v – швидкість руху провідника, м/с; l – довжина провідника, м; α – кут між напрямом вектора магнітної індукції і напрямом руху провідника, градус.

Коли індукована ЕРС виникає в контурі або в середині котушки за рахунок магнітного потоку, що змінюється, то величина ЕРС залежить від швидкості зміни магнітного потоку і визначається за формулою

$$e = - \frac{d\Phi}{dt},$$

де e – індукована ЕРС, В; $d\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ – приріст магнітного потоку, Вб; $dt = t_1 - t_2$ – приріст часу; $d\Phi / dt$ – швидкість зміни магнітного потоку, Вб/с.

Знак «мінус» відображує фізичну суть правила Ленца, тобто протидію індукованої ЕРС причині, що її викликала.

Взагалі електромагнітна індукція – це явище перетворення механічної енергії в електричну.

Якщо через котушку проходить струм, то утворюється магнітний потік Φ , зчеплений з витками котушки N . Якщо всі магнітні лінії зчеплені з усіма витками котушки, то потокозчеплення виражається формулою: $\psi = N\Phi$, де ψ – потокозчеплення, Вб.

Якщо магнітний потік змінюється, то зміна потокозчеплення визначається так: $d\psi = Nd\Phi$

Тоді індуковану ЕРС можна виразити через потокозчеплення:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt}$$

Закон електромагнітної індукції виражається так:

Електрорушійна сила, що індукується в замкненому контурі при зміні зчепленого з ним магнітного потоку, дорівнює швидкості зміни потокозчеплення.

Якщо за допомогою потенціометра змінювати напругу, що подається на тороїдну котушку, то під час зміни величини струму в обмотці котушки змінюється магнітний потік, і тому в котушці індукватиметься ЕРС, що називається ЕРС самоіндукції.

Самоіндукцією називається явище виникнення в провіднику або в котушці електрорушійної сили, яка утворюється внаслідок зміни власного струму і створеного ним магнітного потоку.

Явище самоіндукції — це окремий випадок електромагнітної індукції, воно спостерігається в усіх електричних колах, де змінюється величина струму. В колах змінного струму ЕРС самоіндукції виникає безперервно, а в колах постійного струму — тільки в трьох випадках, а саме:

– при замиканні кола, оскільки струм у колі зростає від нуля до деякої величини, що визначається за законом Ома;

– при розмиканні кола, оскільки струм зменшується від існуючої величини до нуля;

– при зміні величини струму за допомогою реостата або потенціометра.

Напрямок ЕРС самоіндукції визначається за правилом Ленца, тобто при збільшенні величини струму в колі виникає ЕРС самоіндукції, протилежна за напрямом до струму, так, що протидіє його зростанню, яке є причиною виникнення ЕРС.

Для визначення величини ЕРС самоіндукції користуються формулою, за якою визначається величина ЕРС електромагнітної індукції, що виникає у котушці при зміні магнітного потоку:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Згідно із законом Ома для магнітного кола постійного струму

$$\Phi = \frac{IN\mu_a S}{l}$$

Для змінного струму формула має вигляд:

$$d\Phi = \frac{dIN\mu_a S}{l},$$

де di – приріст струму, $d\Phi$ – приріст магнітного потоку.

Підставимо значення $d\Phi$ у формулу для e :

$$e = -N \frac{dIN\mu_a S}{ldt}$$

Звідси дістанемо формулу для визначення величини ЕРС самоіндукції у котушці:

$$e_L = -\frac{N^2 \mu_a S}{l} \frac{di}{dt},$$

де e_L – ЕРС самоіндукції, В; N – кількість витків котушки; μ_a – абсолютна магнітна проникність, Гн/м; S – площа поперечного перерізу котушки, м²; l – довжина котушки, м; di/dt – швидкість зміни струму в котушці, А/с.

У формулі для e_L величина $N^2 \mu_a S / l$ є сталою, позначається буквою L і називається коефіцієнтом самоіндукції або індуктивністю. Одиницею індуктивності є Генрі (Гн).

ЕРС самоіндукції у котушці визначається за формулою:

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

Звідси величина ЕРС самоіндукції прямо пропорційна швидкості зміни струму та індуктивності котушки.

В системі магніто-зв'язаних котушок ЕРС, що виникає у витках другої котушки від зміни магнітного потоку першої котушки, називається ЕРС взаємоіндукції.

Явище виникнення ЕРС в провідниках, розміщених поблизу інших провідників, по яких проходить змінний у часі електричний струм, називається взаємоіндукцією. ЕРС взаємоіндукції утворюватиметься також при замиканні та розмиканні кола першої котушки тому, що при цьому теж відбувається зміна струму і його магнітного потоку від нуля до сталої величини і від сталої величини до нуля.

Явище електромагнітної індукції широко застосовується у техніці, наприклад на електростанціях в генераторах великої потужності, які перетворюють механічну енергію в електричну. Це явище застосовують також у пристроях, що працюють з досить малими потужностями (звукознімачі електропрогравачів, які забезпечують відтворення грампластинок; магнітофони; електродинамічні мікрофони). Потужності, що розвиваються у цих пристроях, вимірюються долями мікроват.

Енергія магнітного поля, що накопичується у котушці розраховується за формулою:

Самостійна робота № 8
Електричні кола змінного струму.

План:

1. Змінний струм, отримання змінного струму.
2. Рівняння синусоїдних ЕРС та струмів.
3. Параметри змінного струму (фаза і початкова фаза, кутова частота, зсув за фазою).
4. Графічне зображення синусоїдних величин.
5. Діючий струм.

1. Отримання, передача та використання електричної енергії здійснюється, в основному, за допомогою пристроїв змінного струму.

Змінним струмом називається струм, який змінюється з часом.

Розрізняють змінні струми:

- що змінюються тільки за величиною;
- що змінюються як за величиною, так і за напрямом;
- що змінюються через однакові проміжки часу – періодичні;
- зміна яких не повторюється – неперіодичні.

Змінні струми широко застосовують в енергетиці та електрорадіотехніці. Вони мають ряд переваг над постійним струмом, а саме:

1. легко трансформувати (перетворювати) напругу і струм для передачі електричної енергії на велику відстань з малими втратами, а також для створення різних величин напруги в схемах електричних приладів;
2. електродвигуни й генератори змінного струму більш прості за конструкцією і надійні в роботі;
3. в апаратурі зв'язку змінні струми дають змогу здійснювати передачу інформації по каналах зв'язку.

2. Періодичний електричний струм, який є синусоїдною функцією часу, називається синусоїдним електричним струмом.

Синусоїдний електричний струм виникає під дією ЕРС такої ж форми.

В загальному вигляді рівняння синусоїдних ЕРС, напруг та струмів має вигляд:

$$e = E_m \sin(\omega t \pm \varphi)$$

$$u = U_m \sin(\omega t \pm \varphi)$$

$$v = I_m \sin(\omega t \pm \varphi),$$

де буквами e, u, i позначається миттєве значення ЕРС, напруги, струму.

Миттєвим значенням змінного струму називається величина струму в даний момент часу.

3. Параметрами змінного струму називають сталі величини, які характеризують даний змінний струм. Основними параметрами синусоїдних струмів є: період, частота, амплітуда, кутова частота, початкова фаза.

Період (T) – найменший інтервал часу, через який миттєві величини повторюються.

Частота (f) – величина, обернена періоду. $f = 1/T, [Гц]$

Амплітуда (I_m) – максимальне значення струму за період.

Фаза (фазовий кут ($\omega t + \varphi$)) – аргумент синусоїдного струму, який відраховується від найближчої точки переходу струму через нуль до позитивного значення.

Початкова фаза (φ) – фаза синусоїдного струму в початковий момент часу.

Дві синусоїдні величини, які мають різні початкові фази, називаються зсунутими за фазою.

Кутова частота (ω) – швидкість зміни фази. За час одного періоду фазовий кут рівномірно змінюється на 2π , тому $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$

4. Зображаються синусоїдні величини

а) за допомогою графіків залежності їх миттєвих значень від часу. Ці графіки називають **часовими** або **хвильовими** діаграмами (рис. 1);

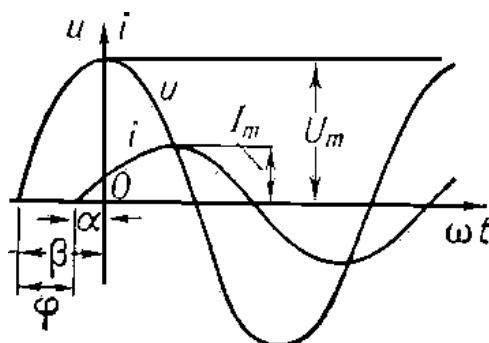


Рис. 1

б) За допомогою **векторних** діаграм, на яких зображуються вектори амплітуд ЕРС або струму у певних масштабах, вважаючи що вектори обертаються проти руху стрілки годинника (швидкість обертання вектора позначається буквою ω).

Векторні діаграми та синусоїдні графіки зв'язані між собою (рис. 2).

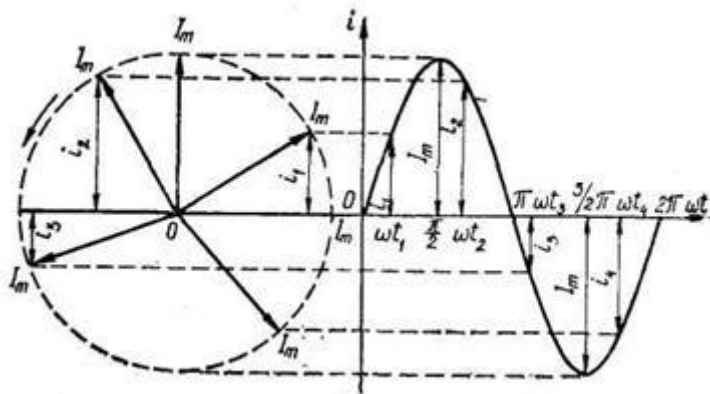


Рис. 2

5. Середнє значення синусоїдного струму за період не може бути мірою величини струму, яка вимірюється амперметром, оскільки середній струм за період дорівнює нулю.

Про величину струму можна говорити, спираючись на той ефект, який дістають від дії струму, наприклад тепловий ефект. На цій основі й визначається діюче або ефективне значення змінного струму, яке показують електровимірювальні прилади.

Зрозуміло, що для виділення в даному колі однакової кількості тепла при постійному та при змінному струмах необхідно, щоб амплітуда змінного струму була більшою, ніж величина постійного струму, оскільки синусоїдний струм досягає своєї амплітуди за період тільки два рази, а величина постійного струму за період змінного струму незмінна.

Отже, **діючим значенням змінного струму** називається таке значення постійного струму, яке за період змінного струму при даному опорі виділяє стільки ж тепла, скільки виділяє змінний струм за той самий час.

Діючі значення змінного струму, напруги, ЕРС позначають, як при постійному струмі: I , U , E .

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

Самостійна робота № 9
Кола змінного струму з ідеальними елементами.

План:

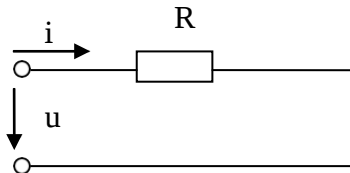
1. Коло змінного струму з активним опором. Поняття про активну потужність.
2. Коло змінного струму з індуктивністю. Поняття про реактивну потужність.
3. Коло змінного струму з ємністю.

1. Усі реальні електротехнічні пристрої мають електричний опір R , індуктивність L та ємність C , які є параметрами електричного кола змінного струму. Однак кожен з параметрів по – різному впливає на струм в колі, тому в деяких випадках з розрахункової схеми виключаються ті, вплив яких незначний.

Таким чином схема електричного кола змінного струму характеризується одним з параметрів R , L , C або їх комбінацією при різних способах з'єднання елементів.

2. Коло з активним опором.

Електричні лампи накаливання, печі опору, побутові нагрівальні пристрої та інші пристрої, в яких електрична енергія перетворюється в теплову, на схемах заміщення визначаються тільки опором R .



Для схеми, зображеної на рис.1, задані опір R та струм, який змінюється за законом

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

Вираз для миттєвої напруги знайдемо за законом Ома:

$$u = R \cdot i = R \cdot I_m \sin(\omega t + \varphi) = U_m \sin(\omega t + \varphi),$$

де $U_m = R \cdot I_m$ амплітуда напруги.

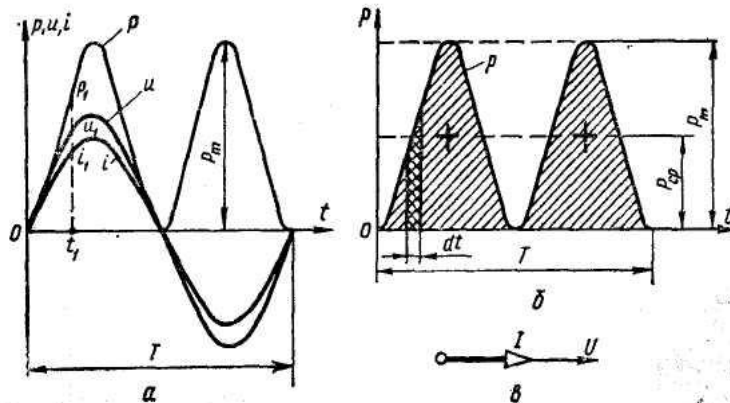
Фазові кути напруги та струму однакові, тобто, *напруга і струм у колі з активним опором збігаються за фазою.*

Це показано на графіках і векторній діаграмі на мал.. 2.

Діюче значення струму знайдемо, поділивши амплітуду на $\sqrt{2}$

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$I = U / R, \quad U = IR, \quad R = U / I$$



У будь – який момент потужність можна виразити формулою:

$$p = ui$$

Підставимо в цю формулу вирази миттєвих значень напруги і струму:

$$p = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t$$

Звідси графік потужності не матиме синусоїдної форми (рис. 3).

Швидкість перетворення електричної енергії в інший вид енергії за кінцевий проміжок часу, значно більший періоду зміни струму, характеризується середньою потужністю. Вона дорівнює середній потужності за період, яку називають активною.

Активна потужність – середнє арифметичне миттєвої потужності за період.

Активна потужність кола з опором дорівнює добутку діючих величин напруги та струму:

$$P = U \cdot I = I^2 R = U^2 / R$$

Опір, який визначається відношенням активної потужності кола до квадрата діючого струму, називається активним електричним опором.

Властивості кола з активним опором:

1. Струм та наруга збігаються за фазою.
2. Активний опір провідників змінного струму більший, ніж омичний опір постійного струму і визначається за формулою $R = P / I^2$
3. Діюче значення змінного струму прямо пропорційне діючому значенню напруги і обернено пропорційне активному опору кола: $I = U / R$
4. Енергія, що надходить від генератора імпульсами, необоротно перетворюється на активному опорі в інші види енергії.

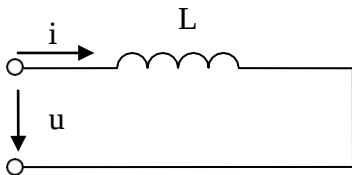
3. Коло з індуктивністю.

Розглянемо коло з ідеальною котушкою індуктивності ($R = 0$).

Якщо на цю котушку подати синусоїдну напругу, то в колі виникає синусоїдний струм і створиться змінний магнітний потік $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$, який індукуює в котушці ЕРС самоіндукції

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

При відсутності активного опору напруга зрівноважується тільки ЕРС самоіндукції, тому згідно з другим законом Кірхгофа в будь – який момент часу $u = -e_L$.



Припустимо, що струм у колі (рис. 4) змінюється за законом

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

Тоді рівняння напруги має вигляд

$$u = L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \cos(\omega t + \varphi) = \omega L I_m \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

Згідно з цією формулою, напруга на затискачах кола випереджає за фазою струм на 90° , або струм відстає від напруги на 90° .

Відставання струму є наслідком протидії ЕРС самоіндукції змінного струму; амплітуда напруги

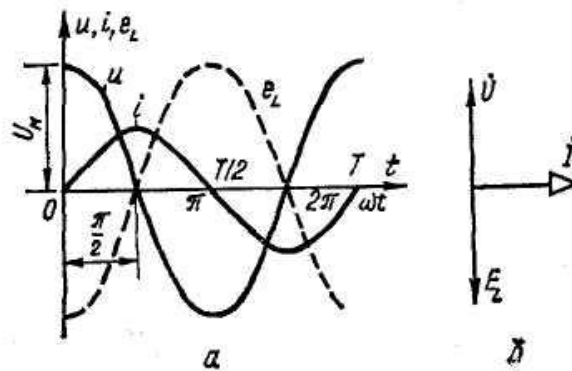
$$U_m = \omega L I_m, \quad \text{звідси} \quad I_m = U_m / \omega L$$

Ця формула є законом Ома для даного кола. Отже, ωL визначає величину опору кола і називається **індуктивним опором**

$$X_L = \omega L \quad [X_L] = \text{Ом}$$

Індуктивним опором називається величина, що характеризує протидію ЕРС самоіндукції змінному струму.

Часові і векторні діаграми кола:

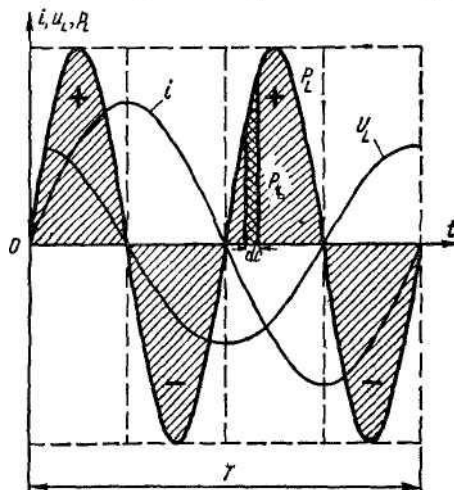


Миттєва потужність $p = ui$, або

$$p = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \cdot I_m \sin \omega t = U_m I_m \cos \omega t \sin \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t$$

Графік зміни потужності являє собою синусоїду подвійної частоти з амплітудою

$$Q = \frac{U_m I_m}{2} = \frac{U_m I_m}{\sqrt{2} \sqrt{2}}, \text{ або } Q = UI$$



В ідеальної котушці індуктивності енергія не витрачається, активна потужність дорівнює нулю: $P = i^2 R = 0$, тобто $R=0$.

У теорії змінних струмів ті види опорів, в яких енергія не витрачається, називають **реактивними опорами**. Отже, індуктивний опір є реактивним.

Потужність у колі з індуктивним опором, де енергія не витрачається, називають **реактивною потужністю** і позначають:

$$Q_L = U_L I = I^2 X_L = \frac{U^2}{X_L}$$

$$Q_L = \omega L I^2$$

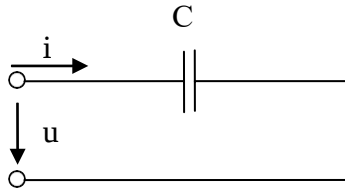
Одиницею реактивної потужності є **вар** (вольт – ампер реактивний).

Властивості кола з ідеальною індуктивністю.

1. Струм у колі відстає за фазою від напруги на 90° .
2. Котушка індуктивності чинить змінному струму індуктивний опір, тим більший, чим більша індуктивність котушки і чим більша частота струму: $X_L = \omega L$
3. Діюче значення струму в колі прямо пропорційна діючому значенню напруги на затискачах кола і обернено пропорційна індуктивному опору котушки: $I = U / X_L$
4. Енергія в колі не витрачається, тобто $R=0$, а коливається між генератором і магнітним полем котушки. Потужність у колі реактивна.

4. Коло з ємністю.

Розглянемо коло з однією ємністю. Внаслідок малої величини активного опору кола вважатимемо, що $R=0$.



До затискачів кола прикладена синусоїдна напруга

$$u = U_m \sin \omega t$$

Залежність струму від напруги у ємності

$$i = C \frac{du}{dt},$$

тоді
$$i = \omega C U_m \cos \omega t = \omega C U_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

У колі з ємністю струм випереджає за фазою напругу на 90° , або напруга відстає від струму на 90° .

Амплітуда струму дорівнює

$$I_m = \omega C U_m, \text{ або}$$

$$I_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}$$

Вираз $1/\omega C$ є величиною опору кола, який називається **ємнісним опором** і позначається X_C :

$$X_C = 1/\omega C, \quad [X_C] = \text{Ом}$$

Ємнісним опором називається протидія, яку чинить напруга на обкладках конденсатора змінному струму.

Часові і векторні діаграми кола зображені на рис. 1

Миттєва потужність $p = ui$, або

$$p = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_m I_m \cos \omega t \sin \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t$$

Графік потужності представлений на рис. 2.

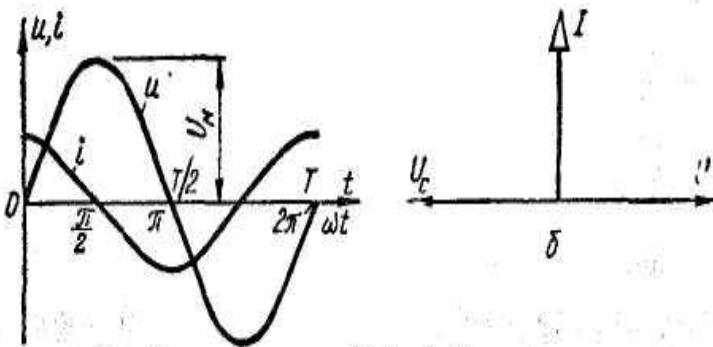


Рис.1

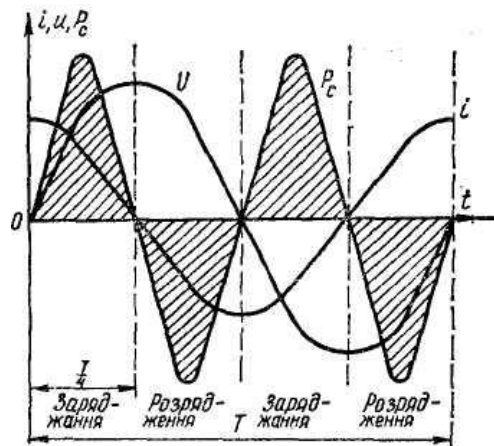


Рис. 2

Активна потужність в колі з ємністю дорівнює нулю ($P=0$);

реактивна потужність: $Q_C = U_C I = U \omega C$

Властивості кола з ємністю.

1. Струм випереджає напругу на затискачах кола з ідеальною ємністю на 90° .
2. Ємнісний опір тим більше, чим менша величина ємності й частота змінного струму $X_C = 1/\omega C$
3. Діюче значення струму в колі з ідеальною ємністю прямо пропорційне діючому значенню напруги на затискачах кола і обернено пропорційне ємнісному опору: $I = U / X_C = U \omega C$
4. Енергія в колі з ідеальною ємністю не витрачається, а коливається між генератором змінного струму і електричним полем конденсатора. Потужність у колі реактивна і змінюється з подвійною частотою.

План:

1. Відмінність реальної та ідеальної котушки індуктивності.
2. Схема заміщення котушки з послідовним з'єднанням елементів.
3. Схема заміщення конденсатора з послідовним з'єднанням елементів.

1. Відмінність реальної та ідеальної котушки індуктивності.

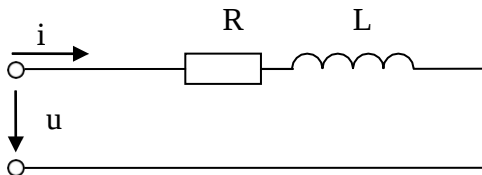
Реальна котушка відрізняється від ідеальної тим, що змінний струм у ній супроводжується не тільки зміною енергії у магнітному полі, але і перетворенням електричної енергії у інший вид (у проводі котушки електрична енергія перетворюється в тепло згідно з законом Джоуля – Ленца).

В колі змінного струму процес перетворення електричної енергії в інший вид енергії характеризується активною потужністю кола P , а зміна енергії у магнітному полі - реактивною потужністю Q .

В реальній котушці мають місце обидва процеси, тобто її активна та реактивна потужності відрізняються від нуля. Тому в схемі заміщення реальна котушка має бути представлена активним та реактивним елементами.

2. Схема заміщення котушки з послідовним з'єднанням елементів.

В схемі з послідовним з'єднанням елементів реальна котушка характеризується активним опором R та індуктивністю L .



Напруга на затискачах кола розподіляється на двох його ділянках. Отже, в будь – який момент

Припустимо, що по колу проходить синусоїдний струм

$$i = I_m \sin \omega t$$

Тоді активна складова частина напруги u виражається рівнянням (оскільки фазовий кут ωt однаковий зі струмом)

$$u_R = R I_m \sin \omega t$$

Індуктивна складова частини напруги

$$u_L = X_L I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Значення діючих значень напруг:

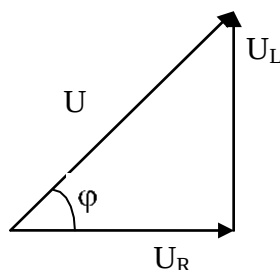
$$U_R = I \cdot R$$

$$U_L = I \cdot X_L$$

Для графічного аналізу процесів даного кола побудуємо векторну діаграму в такій послідовності (рис. 1):

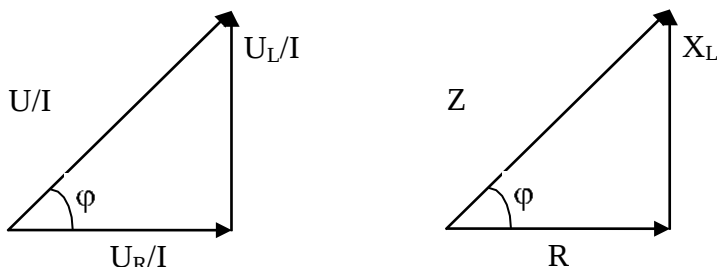
1. будуємо вектор діючого струму I (в масштабі). Вважаючи, що початкова фаза $\varphi = 0$, вектор знаходиться в горизонтальному положенні;
2. будуємо вектор діючого спаду напруги на активному опорі, який збігається за фазою з вектором струму, тобто початкова фаза U_a , як і в струмі дорівнює нулю;
3. будуємо вектор діючого спаду напруги на індуктивному опорі (від кінця вектора U_a під кутом 90° , оскільки в колі з ідеальною індуктивністю напруга випереджає струм на 90°).

Через те, що в послідовному колі напруга на затискачах кола дорівнює сумі спадів напруги на ділянках кола, додаємо вектори U_a та U_L і дістаємо вектор напруги U на затискачах кола.



З векторної діаграми випливає, що:

- у колі з реальною котушкою струм відстає від напруги на затискачах кола на кут менший 90° (кут буде тим менше, чим більше активний опір і чим менше індуктивний опір кола).
- загальна напруга дорівнює не арифметичній сумі спадів напруг на ділянках R і X_L , а геометричній сумі векторів U_R та U_L , які разом з вектором U утворюють так званий *трикутник напруг*
За теоремою Піфагора



У подальшому загальний опір у всіх колах змінного струму позначатимемо буквою Z .

З трикутника опорів випливає, загальний опір у такому колі визначається як геометрична сума:

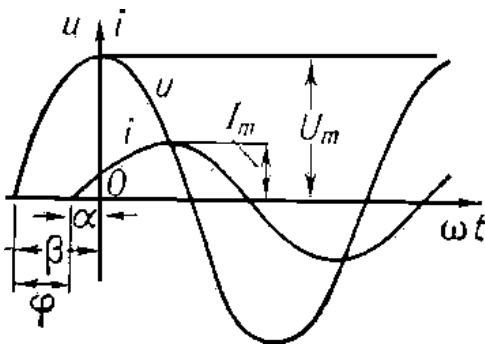
Діюче значення струму визначається за законом Ома:

Якщо припустити, що струм і напруга на затискачах кола в будь-який момент часу зсунуті на кут φ , то формула для їх миттєвих значень набирає вигляду

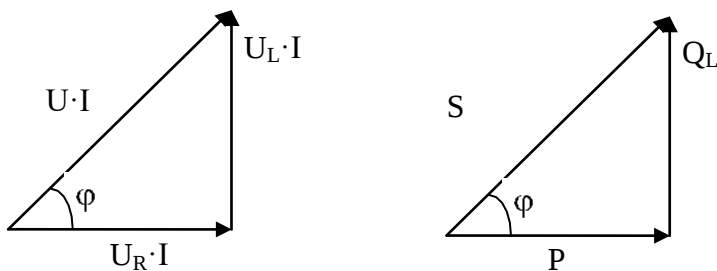
$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = U_m \sin (\omega t + \varphi)$$

Звідси закон Ома для миттєвих значень струму та напруги не виконується. Зважаючи на наявність зсуву за фазою φ , струм не дорівнює нулю в момент, коли напруга дорівнює нулю:



Якщо помножити сторони трикутника напруги на силу струму в колі, то дістанемо вираз для відповідних потужностей:

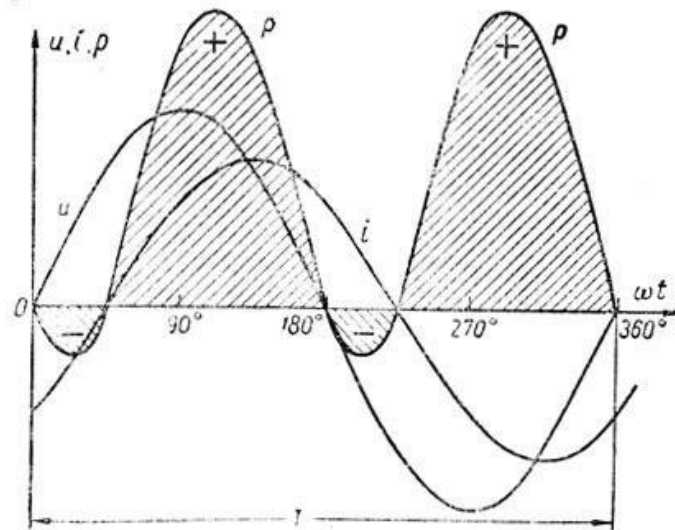


Повна потужність кола (позначається буквою S) дорівнює геометричній сумі активної та реактивної потужностей

Одиницею повної потужності є вольтампер (ВА):

$$[S] = VA$$

Графік залежності потужності від часу:



Згідно з графіком

1. крива повної потужності має нульові значення тоді, коли або струм, або напруга мають нульові значення. Амплітуда її буде всередині між двома нульовими моментами;
2. крива активної потужності має нульові значення тоді, коли криві u_a та i_a мають нульові значення;
3. криву реактивної потужності побудовано так, як в колі з ідеальною котушкою індуктивності.

Площа, обмежена додатною частиною графіка повної потужності p та віссю t , відповідає всій енергії генератора, що надходить до кола. Частина цієї енергії безповоротно втрачається на активному опорі кола, а решта повертається до генератора. Ця частина називається *реактивною енергією*. На графіку реактивній енергії відповідає площа, обмежена від'ємною частиною кривої повної потужності і віссю t .

Згідно з графіком повної потужності, реактивна енергія є досить малою.

З трикутника потужностей знаходимо активну потужність

Середня потужність даного кола дорівнює активній потужності.

Величина $\cos \varphi$ називається коефіцієнтом потужності; показує, яку частину повної потужності становить активна потужність, і характеризує енергію, що безповоротно перетворюється в інші види енергії.

При розрахунках кола з активним та індуктивним опорами можна використати формули, що отримані з трикутників напруг, опорів та потужностей:

— — —

— — —

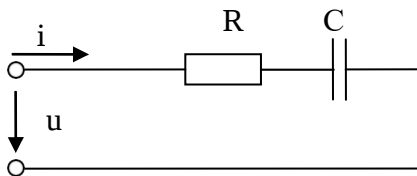
— — —

Властивості кола з активним та індуктивним опорами.

1. Струм відстає за фазою від напруги на кут $\varphi < 90^\circ$, завдяки активному опору в колі.
$$i = I_m \sin \omega t; \quad u = U_m \sin (\omega t + \varphi)$$
2. Діюче значення напруги на затискачах кола дорівнює геометричній сумі спадів напруг на активному та індуктивному опорах: _____
3. Діюче значення сили струму в колі прямо пропорційне діючому значенню напруги на затискачах кола і обернено пропорційне повному опору кола.
—
4. Енергія, яка надходить від генератора в коло, частково накопичується в магнітному колі котушки, а частково витрачається безповоротно на активному опорі та перетворюється в інші види енергії.
Повна потужність кола складається з двох частин – активної та реактивної потужностей. _____

3. Схема заміщення конденсатора з послідовним з'єднанням елементів.

Для реального конденсатора можна скласти іншу розрахункову схему – з послідовним з'єднанням активного та ємнісного опору.



Розраховують таке коло за методикою розрахунку послідовного з'єднання активного та реактивного елементів.

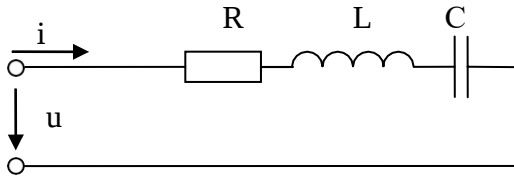
Самостійна робота № 11

Розрахунок кіл з послідовним з'єднанням активних та реактивних елементів.

План:

1. Кола з R,L.
2. Кола з R,C.
3. Кола з R,L,C.

Розглянемо коло з послідовним з'єднанням активного та декількох реактивних елементів.



Напруга на затискачах кола розподіляється на двох його ділянках. Отже, в будь – який момент

Значення діючих значень напруг:

$$U_R = I \cdot R$$

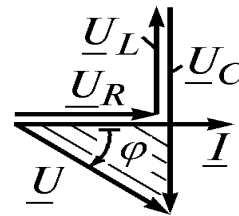
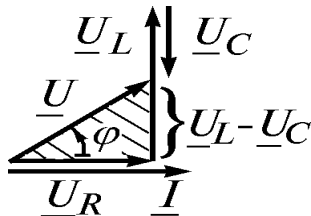
$$U_L = I \cdot X_L$$

$$U_C = I \cdot X_C$$

Побудуємо векторні діаграми для випадків:

1) $X_L > X_C$

2) $X_L < X_C$



З векторної діаграми визначаємо вхідну напругу кола:

Звідки струм та повний опір (за законом Ома):

де $X = X_L - X_C$ – реактивний опір кола.

Зсув фаз визначається з трикутника напруг або опорів:

Якщо $X_L > X_C$, тобто $X > 0$, то коло має індуктивний характер. В цьому випадку $U_L > U_C$, а кут зсув фаз додатний ($\varphi > 0$).

Якщо $X_L < X_C$, тобто $X < 0$, то коло має ємнісний характер. В цьому випадку $U_L < U_C$, а кут зсув фаз від'ємний ($\varphi < 0$).

Особливий випадок, коли $X_L = X_C$, тобто реактивний опір кола $X = 0$. В цьому випадку коло має тільки активний характер, а кут зсув фаз дорівнює нулю. Такий режим називається резонансом напруг.

Розглянемо паралельне з'єднання котушки та конденсатора представивши їх на схемі активними та реактивними провідностями (рис. 1а). На схемі рис. 1б ті ж котушка і конденсатор представлені активним та реактивним опорами. Перша схема має деякі переваги, тому що в ній усі елементи з'єднані паралельно, а в другій вони з'єднані змішано.

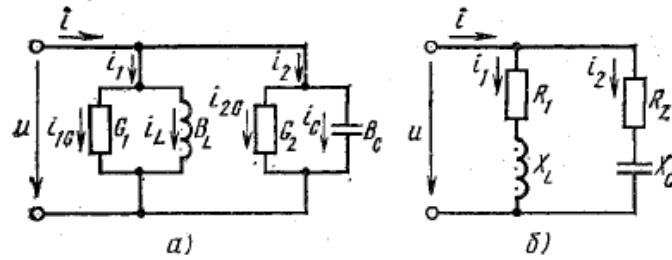


Рис.1 – Схеми заміщення котушки і конденсатора при паралельному з'єднанні.

Вважаючи відомими параметри котушки G_1 , B_L і конденсатора G_2 , B_C , а також напругу $u = U_m \sin \omega t$, визначимо струми в гілках кола та потужність кола.

Згідно першому закону Кірхгофа, миттєва величина загального струму дорівнює сумі миттєвих струмів окремих гілок:

$$i = i_1 + i_2 = i_{1G} + i_L + i_{2G} + i_C$$

Величину загального струму знайдемо векторним додаванням:

$$I = I_{1G} + I_L + I_{2G} + I_C$$

Для побудови векторної діаграми кола знаходимо діючі значення струмів:

$$I_G = UG_1; \quad I_{2G} = UG_2; \quad I_L = UB_L; \quad I_C = UB_C$$

В залежності від співвідношення величин реактивних провідностей гілок с індуктивністю і ємністю можна відмітити три випадки:

1. Індуктивна провідність більша за ємнісну ($B_L > B_C$).

Для цього випадку векторна діаграма представлена на рис.

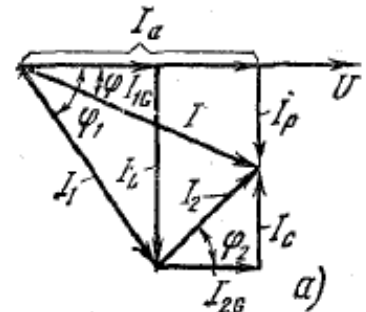
2. На діаграмі побудовані трикутники струмів для котушки і конденсатора та знайдені вектори струмів:

$$I_1 = I_{1G} + I_L; \quad I_2 = I_{2G} + I_C$$

Векторна сума струмів $I_1 + I_2 = I$ дає загальний струм кола.

$I_{1G} + I_{2G} = I_a$ – активна складова струму.

$I_L + I_C = I_p$ – реактивна складова струму.



Вектори активних складових струму напрямлені в один бік, тому їх численні значення додаються. Вектори реактивних складових напрямлені перпендикулярно вектору напруги в протилежні боки, тому їм даються різні знаки: **індуктивні струми вважаються додатними, а ємнісні – від'ємними**. При однакової напрузі на усіх елементах кола $I_L > I_C$. Загальний струм відстає від загальної напруги на кут φ .

З трикутника струмів отримаємо розрахункові формули:

$$I = \sqrt{(I_{1G} + I_{2G})^2 + (I_L - I_C)^2} = U \sqrt{(G_1 + G_2)^2 + (B_L - B_C)^2}$$

$$I = U \sqrt{G^2 + B^2} = UY,$$

де $G = G_1 + G_2$ – активна провідність кола;

$B = B_L - B_C$ – реактивна провідність кола;

$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$ – повна провідність кола.

Ці три провідності утворюють вже відомий трикутник провідностей.

Кут зсуву за фазою між напругою та загальним струмом у колі додатний $\varphi > 0$ (фазові кути відраховуються від вектора струму).

Самостійна
робота № 12
Резонанс напруг.

План:

1. Резонанс напруг.
2. Умови виникнення та ознаки резонансу напруг.
3. Частота вільних коливань.
4. Частотні характеристики послідовного коливального контуру.

Розглянемо коливальний контур, підключений до генератора, який подає в контур струм з частотою власних коливань контуру: ω_0 . Тоді в контурі виникають вимушені коливання, при яких $U_L = U_C$. Реактивні опори кола повністю компенсують один одного, і колі різко зростає величина струму, впливає явище резонансу напруг.

Резонансом напруг називається явище зростання напруг на ділянках L і C кола при максимальній величині струму, який збігається за фазою з напругою на затискачах кола і надходить від генератора змінного струму. При цьому напруги на ділянках кола можуть значно перевищувати напругу на затискачах кола.

Умови виникнення резонансу напруг:

1. Послідовне з'єднання індуктивності та ємності з генератором змінного струму;
2. Частота власних коливань контуру повинна дорівнювати частоті генератора, при цьому $\omega = \omega_0$;
3. Активний опір контуру повинен бути менше від R , щоб у колі виникли вільні коливання, які генератор підтримує незатухаючими.

Реактивні опори X_L та X_C залежать від частоти вимушених коливань:

$$X_L = \omega L; \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

При резонансі реактивні опори дорівнюють один одному $X_L = X_C$, тому

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Звідки резонансна частота

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

тобто резонансна частота залежить тільки від параметрів реактивних елементів кола. І щоб настроїти контур на резонанс треба або змінювати частоту генератора, зрівнюючи її з частотою власних коливань контуру, або змінювати частоту власних коливань контуру, змінюючи індуктивність або ємність.

Ознаки резонансу:

1. Оскільки $R < \sqrt{L/C}$, то при резонансі напруг коло має активний характер
2. Струм збігається за фазою з напругою
3. Внаслідок мінімального опору контуру струм у колі досягає максимальної величини $I_{max} = \frac{U}{R}$
4. При цьому напруги на ділянках L і C будуть великими і однаковими, бо $U_L = U_C = I_{max} \cdot \sqrt{L/C}$
5. З рівності реактивних напруг випливає, що спад напруги на активному опорі кола дорівнюватиме напрузі на затискачах кола $U_R = U$
6. Потужність в колі активна

Важливим параметром контуру при резонансі є хвильовий опір контуру. **Хвильовим опором називають індуктивний і ємнісний опори в коливальному контурі при частоті вільних коливань.**

—

—

але чому саме цю величину називають хвильовим опором? Підставимо у формули реактивних опорів X_L та X_C значення кутової частоти при резонансі

Тоді

$$\underline{\underline{X_L = \omega L}} \quad \underline{\underline{X_C = \frac{1}{\omega C}}}$$

Знайдемо тепер ємнісний опір

$$\underline{\underline{X_C = \frac{1}{\omega C}}}$$

Таким чином, хвильовим опором називають індуктивний і ємнісний опори в коливальному контурі при частоті вільних коливань.

При резонансі напруг відношення напруги на індуктивності або ємності до напруги на затискачах кола дорівнює відношенню хвильового опору до активного.

— — —

Це відношення називається добротністю контуру і показує у скільки разів напруга на котушці і конденсаторі при резонансі більша за напругу генератора. Таким чином, добротність визначає якість резонансного контуру.

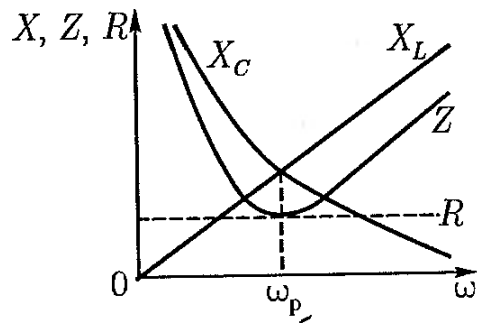
—

При використанні резонансу великий практичний інтерес представляють залежності напруг та струмів на окремих елементах кола від частоти. Ці залежності називаються резонансними кривими.

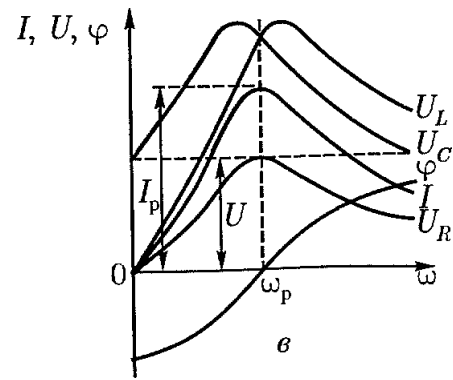
Реактивні опори зі зміною частоти змінюються (мал.1). При збільшенні частоти X_L збільшується прямо пропорційно частоті, а X_C зменшується по закону зворотної пропорційності. Відповідно повний опір кола при резонансній частоті найменший і дорівнює активному опору. На частотах менших за резонансну коло має ємнісний характер і загальна напруга зменшується за рахунок зменшення ємнісного опору. При частотах більших за резонансну повний опір зростає зі збільшенням частоти за рахунок збільшення індуктивного опору (коло має індуктивний характер).

Така залежність повного опору від частоти визначає характер зміни струму при постійній напрузі в колі (мал. 2). При $\omega=0$ струм дорівнює нулю (генератор підтримує постійну напругу на затискачах кола і $X_C=1/\omega C=\infty$). При збільшенні частоти струм збільшується і досягає максимального значення на резонансній частоті (чому?). Подальше збільшення частоти приводить до зменшення струму до нуля при $\omega=\infty$. Аналогічно змінюється напруга на активному опорі, яка пропорційна струму

(Пояснення вигляду резонансних кривих U_L , U_C , ϕ)



Мал.1



Мал. 2

Отже, робимо висновок: Резонанс - це явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань системи, що настає при наближенні частоти зовнішнього впливу до певних значень (резонансних частот), обумовлених властивостями системи. Таким чином, причиною резонансу є збіг зовнішньої (збудливої) частоти із внутрішньої (власної) частотою коливальної системи.

Основна література

- 1.Левченко Т.В. Хоменко В.В., Оверчук М.П., Стефанішин М.В. Загальна електротехніка з основами автоматики: Навчальний посібник - К., 2010.- 358с.
2. Паначевний Б.І. Курс електротехніки: Підручник. –Харків:Торнадо, 1999.-288с
- 3.Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум: Підручник. – К.: Каравела, 2004. – 440 с.
- 4.Стахів П.Г., Коруд В.І., Гамола О.Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування . – Львів: Магнолія плюс. -2003. -208с.
- 5.Конспект лекцій з дисципліни Електротехніка, електроніка і мікропроцесорна техніка / Укл.: Г. В. Карандаков, В. І. Кривенко. – Київ, НТУ, 2008. – 230 с.

Література для завантаження

[Конспект лекцій з дисципліни Електротехніка, електроніка і мікропроцесорна техніка / Укл.: Г. В. Карандаков, В. І. Кривенко. – Київ, НТУ, 2008. – 230 с.](#)
[Електронний підручник з теоретичних основ електротехніки](#)
[Збірник книг: Електротехніка 1964-2010](#)
[Шпаргалки з електротехніки](#)
[Посібники з розв'язування задач](#)
[Тубальцев А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок](#)

Додаткова :

- 2.Титаренко М.В. Електротехніка: Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних (не електротехнічних) спеціальностей вузів. – К.: Кондор, 2004. – 240 с.
- 3.Мурзін В.К. Загальна електротехніка. – Полтава: «Кременчук», 2001. – 328 с.
- 4.Міліх В.І. Електротехніка та електромеханіка: Навч. посібник. – К.: Каравела, 2006. – 376 с.
- 5.Малинівський С.М. Загальна електротехніка. – Полтава,2001. – 323 с.

Перелік рекомендованої літератури з автоматизації

- 1.Ладанюк А. П. , Трегуб В. Г. , Ельперін І.В. , Цюцюра В. Д. К: Аграрна освіта., 2001-244 с. "Автоматизація технологічних процесів і виробництва харчової промисловості"
- 2.М.М. Благовещенская, Н.О. Воронина, А.В. Казаков и др.- М: Агропромиздат, 1991.- 239 с. "Автоматика и автоматизация пищевых производств"
- 3.Л.А. Шишироков, В.И. Михайлов, Р.З. Фельдман, А.И. Кузьмин, С.С.Червяков М.: Агропромиздат, 1986.- 311 с."Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в пищевой промышленности"
- 4.Попович М.Г. , Ковальчук О.В. К: Либідь, 1997- 544 с. "Теорія автоматичного керування"
- 5.Левченко Т.В. Загальна електротехніка з основами автоматики: Навчальний посібник /.-К.,2010. -358с.

Ретро література

[В.А. Александров. Основный курс электротехники. Державне видавництво України, 1929.-248с.](#)