

Лекція 1

Тема лекції: **Вступ. Основні елементи електричного кола.**

План лекції

1. Елементи електричного кола: вузол, вітка, джерело струму і ЕРС.
2. Миттєве, середнє і діюче значення синусоїдних струмів і напруг.
3. Синусоїдна величина як вектор, що обертається у комплексній площині.

Література

1. Зеленков О. А., Шахов В. П., Бунчук О. А. Лінійні електричні кола постійного і змінного струму. Конспект лекцій. – К.: НАУ, 2003. – 156 с.
2. Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 1999. – 639 с.
4. Монтик П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.

Зміст лекції

ВСТУП

1. Елементи електричного кола: вузол, вітка, джерело струму і ЕРС.

Електричним колом називається сукупність пристроїв, призначених для створення в них електричного струму.

Основні елементи електричного кола: джерела і приймачі електричної енергії та з'єднувальні провони. Джерела електричної енергії перетворюють різні первинні види енергії (механічну, хімічну, теплову і т.д.) в електричну. Приймачі електричної енергії перетворюють електричну енергію в інші види (механічну, теплову, світлову і т.д.) або перетворюють електричну енергію одного виду або параметрів в електричну енергію іншого виду або параметрів.

Елементи електричного кола				
Пасивні		Активні		
Активні опори	Реактивні опори	Джерела ЕРС	Джерела напруги	Джерела струму
	Індуктивність	Ємність		

2. Миттєве, середнє і діюче значення синусоїдних струмів і напруг.

Змінним струмом називається струм, який змінюється в часі. Значення струму в будь-який момент часу називається миттєвим. Для одного з двох можливих напрямів струму через поперечний переріз провідника миттєве значення струму i вважають додатнім, а для протилежного – від’ємним. Напрямок струму (напруги), для якого його миттєві значення додатні, називається додатнім напрямом струму (напруги).

Струм визначений, якщо відома залежність його миттєвого значення від часу $i=f(t)$ і вказано його додатній напрям.

Складання і віднімання синусоїдальних функцій часу на комплексній площині. Векторна діаграма. Припустимо, що необхідно скласти два струми ($i_1=I_{1m}\sin(\omega t+\psi_1)$ і $i_2=I_{2m}\sin(\omega t+\psi_2)$) однакової частоти. Сума їх дає деякий струм тієї ж частоти $i=I_m\sin(\omega t+\psi)$.

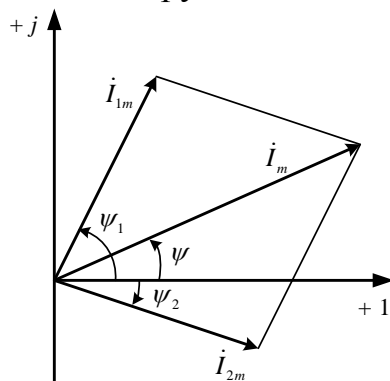


Рис. 1.6

Потрібно знайти амплітуду I_m і початкову фазу ψ струму i . З цією метою струм i_1 зображений на комплексній площині (рис. 1.6) вектором $\dot{i}_{1m} = I_{1m}e^{j\psi_1}$, а струм i_2 – вектором $\dot{i}_{2m} = I_{2m}e^{j\psi_2}$. Геометрична сума векторів \dot{i}_{1m} і \dot{i}_{2m} дасть комплексну амплітуду сумарного струму $\dot{i}_m = I_m e^{j\psi}$. Амплітуда струму i_m визначається довжиною сумарного вектора, а початкова фаза ψ – кутом, утвореним цим вектором і віссю +1.

Для визначення різниці двох струмів (ЕРС, напруг) необхідно на комплексній площині провести не складання, а віднімання відповідних векторів.

Питання для самоперевірки

1. Що є елементами електричного кола?
2. Що називається віткою електричного кола?
3. Що називається вузлом?
4. Навести визначення джерела ЕРС.
5. Навести визначення джерела струму.
6. Що є миттєвим, середнім і діючим значенням синусоїдних струмів і напруг?
7. Як зображуються вектори синусоїдальних величин на комплексній площині?
8. Що таке векторна діаграма?

Лекція 2

ТЕМА ЛЕКЦІЇ: ОДНОФАЗНЕ КОЛО СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ.

План лекції

1. Закон Ома в комплексній формі для активного, ємнісного та індуктивного елементів.
2. Повний, активний і реактивний опори послідовного кола.
3. Трикутники напруг і опорів.
4. Повна, активна та реактивна провідності.

Література

1. Зеленков О. А., Шахов В. П., Бунчук О. А. Лінійні електричні кола постійного і змінного струму. Конспект лекцій. – К.: НАУ, 2003. – 156 с.
2. Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 1999. – 639 с.
4. Монтик П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.

Зміст лекції

Активний опір. В активному опорі R електромагнітна енергія перетворюється в тепло. Активний опір також часто застосовують для врахування перетворення електромагнітної енергії в інші форми (наприклад, механічну) і врахування енергії випромінювання.

На рис. 2.1, *a* зображено резистор опором R , через який тече струм $i = I_m \sin \omega t$. За законом Ома напруга на резисторі $u = iR = RI_m \sin \omega t$, або $u = U_m \sin \omega t$, де $U_m = RI_m$; в комплексній формі $\dot{U} = iR$; діюче значення $U = IR$.

Комплекс струму \dot{i} співпадає за фазою з комплексом напруги \dot{U} , як показано на векторній діаграмі рис.2.1, *б*.

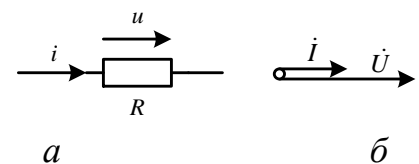


Рис. 2.1

Індуктивність. Індуктивність L є елементом схеми, який враховує енергію $\frac{Li^2}{2}$ магнітного поля і явище самоіндукції. При зміні струму в індуктивності

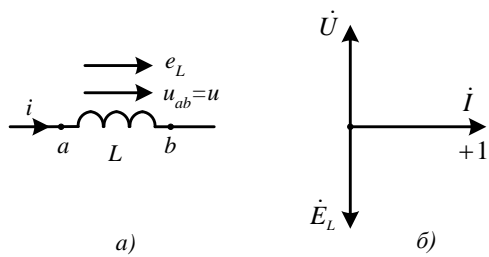


Рис. 2.2

виникає ЕРС самоіндукції e_L . За законом Ленца, вона перешкоджає зміні струму. Тому при виборі позитивних напрямів для струму i і ЕРС однаковими, як це прийнято робити, знаки e_L і di/dt завжди протилежні і $e_L = -L \frac{di}{dt}$ (рис. 2.2, а).

Якщо через L протікає струм $i = I_m \sin \omega t$, то в котушці наводиться ЕРС самоіндукції

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos \omega t = \omega L I_m \sin(\omega t - 90^\circ).$$

Додатній напрям відліку для ЕРС на рис. 3.2, а позначено стрілкою, яка співпадає з додатнім напрямом відліку струму i . Різниця потенціалів між точками a і b $u_{ab} = u = \varphi_a - \varphi_b = -e_L = L \frac{di}{dt}$, а напруга

$$u = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ) = U_m \sin(\omega t + 90^\circ); \quad U_m = \omega L I_m; \quad \text{в комплексній формі } \dot{U} = j\omega L \dot{I}; \text{ діюче значення } U = \omega L I.$$

Добуток ωL позначають X_L і називають *індуктивним опором*. Одиниця виміру індуктивного опору Ом. Таким чином, індуктивна котушка має опір, модуль якого $X_L = \omega L$ прямо пропорційний частоті. Крім того, напруга на ній випереджує струм за фазою на 90° – на рис.2.2, б вектор напруги \dot{U} випереджає вектор струму \dot{I} на 90° . Комплекс ЕРС самоіндукції \dot{E}_L знаходиться в протифазі з комплексом напруги \dot{U} .

Ємність. Ємність C є елементом електричної схеми, який враховує енергію $\frac{CU^2}{2}$ електричного поля. Якщо прикладена до конденсатора напруга не змінюється за часом, то заряд $q = Cu$ на одній його обкладці та заряд $-q = -Cu$ на другій (C – ємність конденсатора) також не змінюються і струм через конденсатор не проходить ($i = dq/dt = 0$). Якщо напруга на конденсаторі змінюється в часі, то за таким же законом буде змінюватися і заряд q конденсатора: $q = Cu$ – і конденсатор буде періодично перезаряджатися. Періодична перезарядка конденсатора супроводжується протіканням через нього зарядного струму:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}, \text{ або } u = \frac{1}{C} \int idt.$$

$$\text{Якщо } i = I_m \sin \omega t, \text{ то } u = \frac{1}{C} \int idt = \frac{1}{\omega C} \int id\omega t = -\frac{1}{\omega C} I_m \cos \omega t = \frac{1}{\omega C} I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right);$$

$$U_m = \frac{1}{\omega C} I_m; \text{ в комплексній формі } \dot{U} = \frac{1}{\omega C} \dot{I} e^{-j\frac{\pi}{2}} = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I}; \text{ діюче значення } U = \omega L I.$$

Величину $X_C = \frac{1}{\omega C}$ називають *ємнісним опором*.

Одиниця виміру ємнісного опору Ом. Додатній напрям струму через конденсатор на рис. 2.3, а співпадає з додатнім напрямом напруги на ньому. Струм через конденсатор випереджає за фазою напругу на 90° . Тому на векторній діаграмі рис. 2.3, б вектор струму \dot{i} випереджає вектор напруги \dot{U} на 90° .

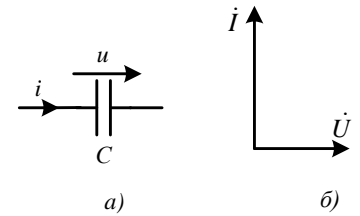


Рис. 2.3

2. Повний, активний і реактивний опори послідовного кола.

При послідовному з'єднанні споживачів з різним характером опорів (активним, індуктивним і ємнісним) (рис. 2.4) за другим законом Кірхгофа можна записати рівняння $u = u_R + u_L + u_C$ або $iR + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt = u$. В комплексній

формі: $\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C$ або $iR + i \cdot j\omega L + i \left(\frac{-j}{\omega C} \right) = \dot{U}$.

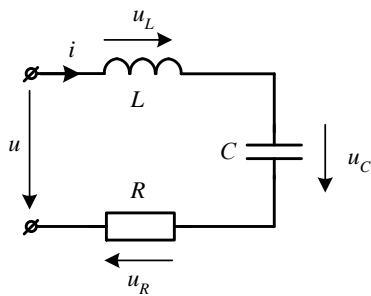


Рис. 2.4

Звідки
$$i = \frac{\dot{U}}{R + j\omega L - \frac{j}{\omega C}}$$
.

Множник $R + j\omega L - j/(\omega C)$ називають *комплексним опором*:

$$\dot{Z} = Z \cdot e^{j\varphi} = R + j\omega L - \frac{j}{\omega C}.$$

Закон Ома в комплексній формі може бути записаний як $i = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}}$.

Векторна діаграма кола зображена на рис. 2.5. Необхідно відмітити, що побудова векторних діаграм здійснюється з дотриманням масштабів струмів і напруги.

Для визначення загальної напруги, прикладеної до кола (рис. 3.4), необхідно скласти синусоїдальні напруги на окремих її ділянках. Цю операцію можна виконати за правилом складання векторів (рис. 2.5).

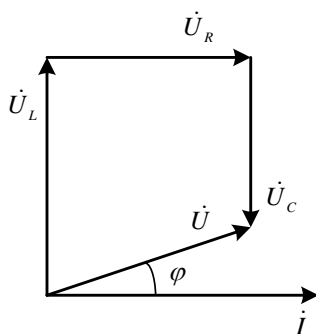


Рис. 2.5

3. Трикутники напруг та опорів

Трикутник OAB (рис. 2.6, а), який називається трикутником напруг, дозволяє визначити діюче значення напруги, прикладеної до кола:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{U_a^2 + U_p^2},$$

де $U_a = U_R$ – активна складова напруги; $U_p = U_L - U_C$ – реактивна складова напруги.

Розділивши сторони трикутника напруг OAB на струм, який протікає в колі, отримуємо трикутник опорів (рис. 2.6, б), із якого можна визначити повний опір кола:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2},$$

де $X = X_L - X_C$ – реактивний опір кола; Z – модуль повного опору кола: $Z = U/I$.

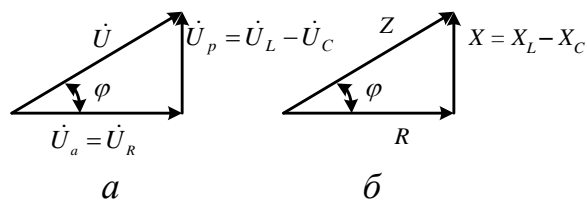


Рис. 2.6

Із векторної діаграми (рис. 2.5) видно, що напруга, прикладена до кола, не співпадає за фазою із струмом. Кут зсуву фаз φ між струмом і напругою дорівнює різниці початкових фаз напруги і струму

$\varphi = \psi_u - \psi_i$. Кут φ може бути знайдено з трикутника опорів (рис. 2.6, б):

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}.$$

Питання для самоперевірки

1. Сформулюйте закон Ома в комплексній формі.
2. Побудуйте трикутник напруг для послідовного кола.
3. Що уявляє собою трикутник опорів?
4. Що таке повна, активна та реактивна провідності?

Лекція 3-4

ТЕМА ЛЕКЦІЇ: ПОТУЖНІСТЬ В ОДНОФАЗНОМУ КОЛІ СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ.

ПЛАН ЛЕКЦІЇ

Потужність в однофазному колі синусоїдального струму. Потужність, що споживається в активному, індуктивному та ємнісному опорах. Повна, активна і реактивна потужності. Трикутник потужностей. Потужність джерела енергії. Баланс потужностей в електричному колі.

1. Миттєва потужність в однофазному колі синусоїдального струму.
2. Повна, активна і реактивна потужності. Трикутник потужностей.
3. Потужність, що споживається в активному, індуктивному та ємнісному опорах.
4. Баланс потужностей в електричному колі.

Література

1. Зеленков О. А., Шахов В. П., Бунчук О. А. Лінійні електричні кола постійного і змінного струму. Конспект лекцій. – К.: НАУ, 2003. – 156 с.
2. Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка.

Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.

3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 1999. – 639 с.

4. Монтик П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.

Зміст лекції

1. Миттєва потужність в однофазному колі синусоїдального струму.

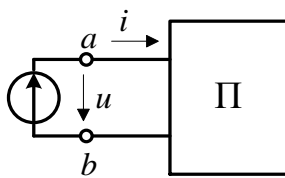


Рис. 3.1

Переміщення елементарного dq заряду в позитивному напрямку ЕРС джерела супроводжується елементарною роботою джерела напруги (ЕРС) $dA=edq$, яка у вигляді електромагнітної енергії віддається джерелом у зовнішнє коло і витрачається на роботу з переміщення заряду dq в позитивному напрямку напруги через пасивний

двополюсник: $dA=udq$.

Миттєва потужність, що виробляється і віддається джерелом напруги і споживається двополюсником, дорівнює швидкості здійснення роботи в даний момент часу:

$$p = \frac{dA}{dt} = \frac{udq}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui.$$

Якщо напруга і струм на вході двополюсника зсунені за фазою на кут φ , а їх миттєві значення дорівнюють $u=U_m \sin \omega t$ і $i=I_m \sin(\omega t - \varphi)$, то миттєва потужність визначиться як:

$$p = ui = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = \frac{U_m I_m}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi).$$

$$\text{Але } \sum S_{\text{дж}} \neq \sum S_{\text{пр}}$$

Питання для самоперевірки

1. Що уявляє собою миттєва потужність в однофазному колі синусоїдального струму?
2. Що таке повна потужність?
3. Наведіть трикутник потужностей.
4. Що уявляє собою потужність, що споживається в активному опорі?
5. Навести вираз щодо потужності, що споживається в індуктивному опорі.
6. Що уявляє собою потужність, що споживається в ємнісному опорі?
7. Пояснити, що таке баланс потужностей в електричному колі.

Лекція 6

Тема лекції: Метод вузлових потенціалів. Метод еквівалентних перетворень.

План лекції

1. Метод вузлових потенціалів
2. Метод еквівалентних перетворень

Література

1. Зеленков О. А., Шахов В. П., Бунчук О. А. Лінійні електричні кола постійного і змінного струму. Конспект лекцій. – К.: НАУ, 2003. – 156 с.
2. Красношاپка Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 1999. – 639 с.
4. Монтик П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.

Зміст лекції

1. Метод вузлових потенціалів

Метод вузлових потенціалів є модифікацією методу рівнянь Кірхгофа і базується на рівняннях за першим законом Кірхгофа.

Струм в будь-якій вітці електричного кола може бути визначений за законом Ома для ділянки кола, якщо відомі потенціали вузлів, до яких під'єднана вітка електричного кола. Наприклад, для вітки, під'єднаної до вузлів 2 і 1 (рис. 5.1), струм

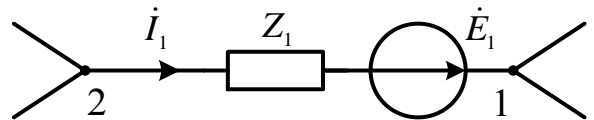


Рис. 5.1

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{V}_2 - \dot{V}_1 + \dot{E}_1}{\dot{Z}_1}, \quad (5.1)$$

де \dot{V}_2, \dot{V}_1 – відповідно потенціали 2-го і 1-го вузлів.

При послідовному з'єднанні пасивних елементів величини еквівалентних параметрів визначаються за співвідношеннями:

$$R_{екв} = \sum R_i, \quad L_{екв} = \sum L_i, \quad 1/C_{екв} = \sum 1/C_i,$$

а при паралельному

$$1/R_{екв} = \sum 1/R_i, \quad 1/L_{екв} = \sum 1/L_i,$$

$$C_{екв} = \sum C_i.$$

Розглянемо застосування на прикладі схеми, наведеної на рис. 5.2 в якій необхідно визначити струм \dot{I}_1 .

Для спрощення електричної схеми перетворимо зірку опорів $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3$ в трикутник $\dot{Z}_{12}, \dot{Z}_{23}, \dot{Z}_{31}$ (рис. 5.3):

$$\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_3}; \quad \dot{Z}_{23} = \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 + \frac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_3}{\dot{Z}_1}; \quad \dot{Z}_{31} = \dot{Z}_3 + \dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_3 \dot{Z}_1}{\dot{Z}_2}.$$

Тепер замінимо паралельно з'єднані опори \dot{Z}_{12} і \dot{Z}_4 та \dot{Z}_{31} і \dot{Z}_5 еквівалентними (рис. 5.4):

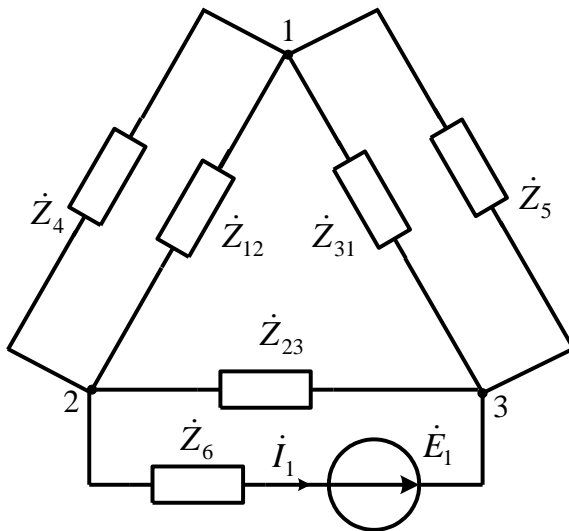


Рис. 5.4

$$\dot{Z}_{124} = \frac{\dot{Z}_{12} \dot{Z}_4}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_4}; \quad \dot{Z}_{315} = \frac{\dot{Z}_{31} \dot{Z}_5}{\dot{Z}_{31} + \dot{Z}_5}.$$

Опори \dot{Z}_{124} та \dot{Z}_{315} з'єднані послідовно. Замінимо їх еквівалентним опором \dot{Z}_{45} (рис. 5.5): $\dot{Z}_{45} = \dot{Z}_{124} + \dot{Z}_{315}$. Після заміни еквівалентним опором паралельно з'єднаних опорів \dot{Z}_{23} та \dot{Z}_{45} , отримаємо нерозгалужене електричне коло (рис.

5.6), для якого згідно з законом Ома: $\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_6 + \dot{Z}_{235}}$.

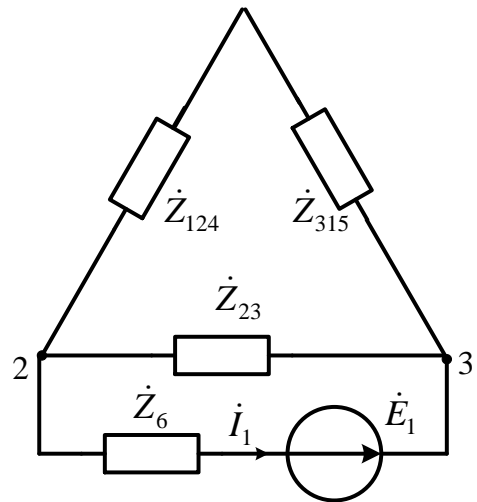


Рис. 5.3

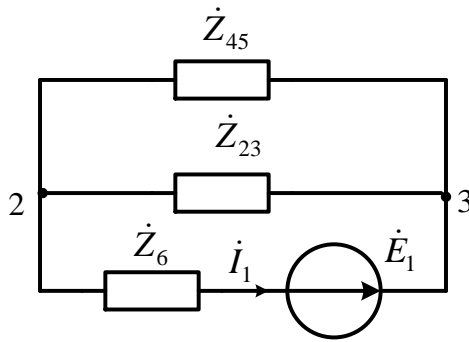


Рис. 5.5

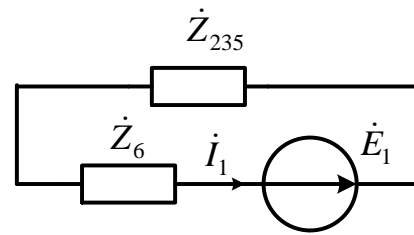


Рис. 5.6

Питання для самоперевірки.

1. Як враховуються джерела електричної енергії при складанні рівнянь за методом вузлових потенціалів?
2. Наведіть формули еквівалентних перетворень при послідовному і паралельному з'єднанні пасивних елементів.
3. Наведіть формули еквівалентних перетворень трикутник – зірка та зірка – трикутник.
4. У чому полягає метод вузлових потенціалів?
5. Як знаходяться струми у вітках за методом вузлових потенціалів?

Лекція 7-8

Тема лекції: ЯВИЩЕ РЕЗОНАНСУ В ПОСЛІДОВНОМУ І ПАРАЛЕЛЬНОМУ КОЛАХ

План лекції

1. Резонанс напруг
2. Добротність та затухання контуру.
3. Частотні і резонансні характеристики кола з послідовним з'єднанням активного, індуктивного і ємнісного елементів.
4. Резонанс струмів
5. Частотні і резонансні характеристики кола з паралельним з'єднанням активного, індуктивного і ємнісного елементів.
6. Енергетичні процеси при резонансі

Література

1. Зеленков О. А., Шахов В. П., Бунчук О. А. Лінійні електричні кола постійного і змінного струму. Конспект лекцій. – К.: НАУ, 2003. – 156 с.
2. Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 1999. – 639 с.
4. Монтик П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний

Зміст лекції

1. Резонанс напруг

Під резонансним режимом роботи електричного кола змінного струму розуміють режим, при якому вхідний опір кола є чисто активним. Струм і напруга на вході співпадають за фазою. Реактивна потужність при цьому дорівнює нулю [1–3]. Розрізняють два основних різновиди резонансних режимів: резонанс напруг (послідовний резонанс) і резонанс струмів (паралельний резонанс).

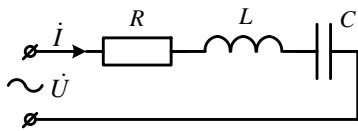


Рис. 6.1

Резонанс у схемі послідовного з'єднання активного опору, індуктивності та ємності (рис. 6.1) називають резонансом напруг. Умова настання резонансу в схемі на рис. 6.1 $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$, де $\omega_0 = \sqrt{1/LC}$ – резонансна частота.

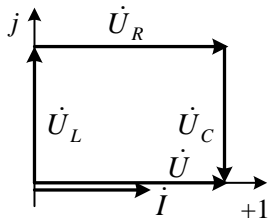


Рис. 6.2

Напруга на індуктивності при резонансі дорівнює напрузі на ємності. Векторна діаграма струму і напруг наведена на рис. 6.2.

Відношення $\frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{\rho}{R} = Q$ називають добротністю, а $\rho = \sqrt{L/C}$ – характеристичним опором. Добротність показує, у скільки разів напруга на індуктивності (або ємності)

перевищує напругу на вході схеми в резонансному режимі $Q = U_L/U = U_C/U$. Характеристичним опором ρ для схеми на рис. 6.1 називають відношення напруги на індуктивності або ємності в режимі резонансу до струму в цьому режимі $\rho = U_L/I = U_C/I = QR$.

2. Добротність та затухання контуру

Відношення напруги на котушці індуктивності або конденсаторі до напруги на затискачах кола при резонансі називається добротністю контуру:

$$Q = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{\omega_0 LI}{RI} = \frac{\rho}{R}.$$

В технічних пристроях $Q=5\dots 5000$.

Добротність контуру показує в скільки разів при резонансі напруга на індуктивній котушці або на конденсаторі більше, ніж напруга, прикладена до кола.

Добротність резонансного контуру тим більша, чим менший активний опір контуру.

Величина, обернена добротності, називається затуханням резонансного контуру:

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\rho}$$

3. Частотні характеристики кола з послідовним з'єднанням R, L, C

Частотні характеристики – це залежності величин X, X_L, X_C, Z та φ від частоти прикладеної напруги. При цьому $\omega=0\dots\infty$.

Зобразимо вказані залежності (рис. 4.3):

1. $X_L = \omega L$ – лінійна залежність; $X_L(0) = 0$; $X_L(\infty) = \infty$.
2. $X_C = \frac{1}{\omega C}$ – гіпербола; $X_C(0) = \infty$; $X_C(\infty) = 0$.
3. $X = X_L - X_C$; $X(0) = -\infty$; $X(\omega_0) = 0$; $X(\infty) = \infty$.
4. $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ – парабола; $Z(0) = \infty$; $Z(\omega_0) = R$; $Z(\infty) = \infty$.
5. $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$; $\varphi(0) = -\frac{\pi}{2}$; $\varphi(\omega_0) = 0$; $\varphi(\infty) = \frac{\pi}{2}$.

При $\omega < \omega_0$ – ємнісний характер кола;

при $\omega = \omega_0$ – активний характер кола;

при $\omega > \omega_0$ – індуктивний характер кола.

Резонансні характеристики – це залежності U_L, U_C, I від частоти прикладеної напруги ω (або від значень L та C).

Побудуємо резонансні характеристики в залежності від частоти (рис. 4.4). Нехай $\omega=0\dots\infty$.

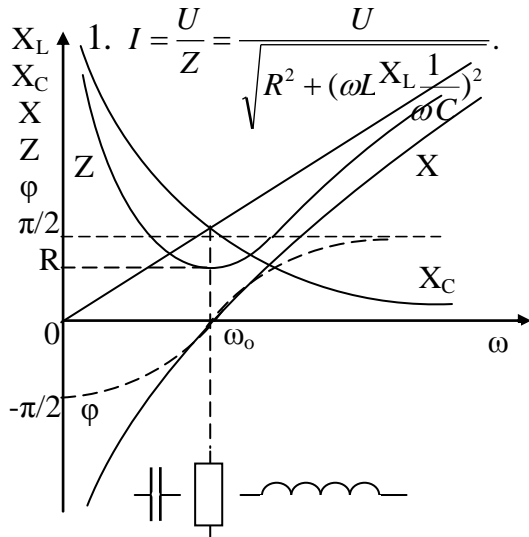


Рис. 4.3

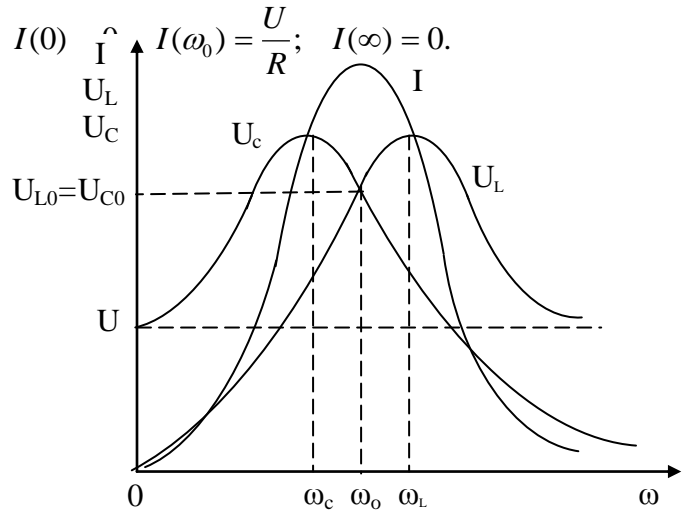


Рис. 4.4

$$2. U_c = \frac{I}{\omega C} = \frac{U}{\omega C \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 \omega^2 C^2 + (\omega^2 LC - 1)^2}}; \quad U_c(0) = U; \quad U_{c0}(\omega_0) = U \frac{\rho}{R} = UQ;$$

$$U_c(\infty) = 0.$$

Для визначення частоти ω_c , при якій U_c досягає максимуму, дослідимо підкореневий вираз на мінімум:

$$\frac{d}{d\omega} (R^2 \omega^2 C^2 + \omega^4 L^2 C^2 - 2\omega^2 LC + 1) = 0;$$

$$2R^2 C^2 \omega + 4L^2 C^2 \omega^3 - 4LC\omega = 0 \quad | : 2\omega C,$$

$$R^2 C + 2L^2 C \omega^2 - 2L = 0;$$

$$2L^2 C \omega^2 = 2L - R^2 C;$$

$$\omega^2 = \frac{2L}{2L^2 C} - \frac{R^2 C}{2L^2 C} = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2} = \frac{1}{LC} \left(1 - \frac{R^2 C}{2L}\right) = \omega_0^2 \left(1 - \frac{R^2}{2\rho^2}\right) = \omega_0^2 \left(1 - \frac{1}{2Q^2}\right).$$

Таким чином $\omega_c = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{R^2}{2\rho^2}}; \quad \omega_c < \omega_0$, так як підкореневий вираз

менший за одиницю.

$$3. U_L = \omega LI = \frac{\omega UL}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{U}{\sqrt{\frac{R^2}{\omega^2 L^2} + (1 - \frac{1}{\omega^2 LC})^2}}.$$

Частота ω_L , при якій U_L досягає максимуму, визначається аналогічно попередньому випадку і дорівнює:

$$\omega_L = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - \frac{R^2}{2\rho^2}}}; \quad \omega_L > \omega_0, \text{ тому що підкореневий вираз менший за}$$

одиницю.

Максимальні значення напруги на індуктивній котушці та конденсаторі будуть дорівнювати:

$$U_{L \max} = U_L(\omega_L) = U_{C \max} = U_c(\omega_c) = \frac{QU}{\sqrt{1 - \frac{R^2}{4\rho^2}}} = \frac{QU}{\sqrt{1 - \frac{d^2}{4}}}.$$

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає явище резонансу напруг?
2. Що таке добротність контуру?
3. Як будуються частотні характеристики при резонансі напруг?

4. Що таке резонансні характеристики?
5. Чому дорівнює резонансна частота?
6. В якому колі спостерігається явище резонансу струмів?
7. Поясніть умову резонансу струмів.
8. У чому полягає умова резонансу напруг?
9. За якими умовами має місце резонанс струмів?
10. Поясніть, як будуються частотні характеристики при резонансі струмів.
11. Поясніть, як будуються резонансні характеристики при резонансі струмів.
12. У чому полягають енергетичні процеси при резонансі.
13. Чому дорівнює миттєва енергія, накопичена в магнітному і електричному полях при резонансі напруг?
14. Що таке характеристичний опір?

Лекція 9-10

Тема лекції: ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ЗІ ВЗАЄМНОЮ ІНДУКЦІЄЮ

План лекції

1. Явище взаємної індукції
2. Послідовне з'єднання індуктивно зв'язаних котушок.
3. Розрахунок електричних кіл зі взаємною індукцією.

Література

1. Зеленков О. А., Шахов В. П., Бунчук О. А. Лінійні електричні кола постійного і змінного струму. Конспект лекцій. – К.: НАУ, 2003. – 156 с.
2. Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 1999. – 639 с.
4. Монтик П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.

Зміст лекції

1. Явище взаємної індукції.

У випадку, коли зміна струму в одному з елементів кола призводить до появи ЕРС в другому елементі кола, кажуть, що такі два елементи індуктивно зв'язані, а ЕРС, що виникає, називають ЕРС взаємної індукції [1–3].

При складанні рівнянь для кіл зі взаємною індукцією необхідно знати узгоджено чи зустрічно спрямовані потоки самоіндукції та взаємоіндукції. Два затискача, що належать двом різним індуктивно зв'язаним елементам кола називають однойменними, якщо при однаковому напрямі струмів

відносно однойменних затискачів магнітні потоки самоіндукції та взаємної індукції в кожному елементі додаються.

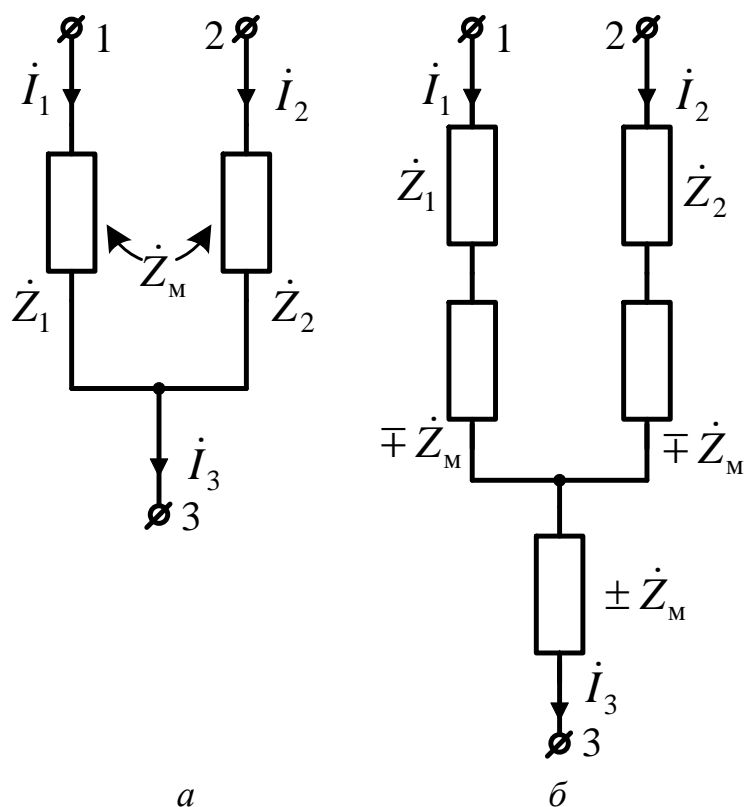


Рис. 7.4

Питання для самоперевірки

1. Які увімкнення індуктивно зв'язаних котушок називають узгодженим і зустрічним?
2. В чому полягає перехід до еквівалентного кола без взаємної індукції?
3. У чому полягає явище взаємної індукції?
4. Чому дорівнює опір взаємної індукції?
5. Наведіть вираз для комплексного опору взаємної індукції.
6. Чому дорівнює індуктивність двох послідовно з'єднаних елементів?
7. У чому полягає ємнісний ефект?
8. Поясніть, як будуються векторні діаграми для кола із взаємною індукцією.

Лекція 11-13

Тема лекції: ТРИФАЗНІ КОЛА СИНУСОЇДАЛЬНОГО ЗМІННОГО СТРУМУ

План лекції

1. З'єднання трифазного джерела і споживача за схемою “зірка - зірка”.
2. Розрахунок кіл при з'єднанні “зірка - зірка”.
3. З'єднання трифазного джерела і споживача за схемою “трикутник -

трикутник” .

4. Симетричний і несиметричний режими трифазного кола синусоїдального струму.

5. Потужність трифазного електричного кола.

Література

1. Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 1999. – 639 с.
3. Монтик П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.

Зміст лекції

1. З'єднання трифазного джерела і споживача за схемою “зірка - зірка”.

Під трифазною симетричною системою ЕРС розуміють сукупність трьох синусоїдальних ЕРС однакової частоти і амплітуди, які зсунуті по фазі на 120° (рис. 8.1). Ділянка трифазного кола, по якій протікає однаковий струм, називається фазою [1; 2].

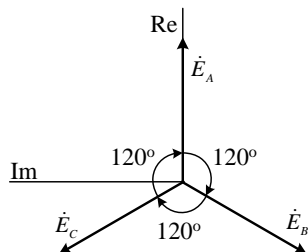


Рис. 8.1

Точку, в якій об'єднанні три кінці трифазного навантаження при з'єднанні його зіркою, називають нульовою точкою навантаження і позначають O' . Нульовим проводом називають провід, який з'єднує нульові точки генератора та навантаження. Струм нульового проводу позначимо i_0 . Додатній напрям струму візьмемо від точки O' до точки O . Проводи, які з'єднують точки А,В,С генератора з навантаженням, називають лінійними. Схему на рис. 8.2 називають «зірка-зірка» з нульовим проводом.

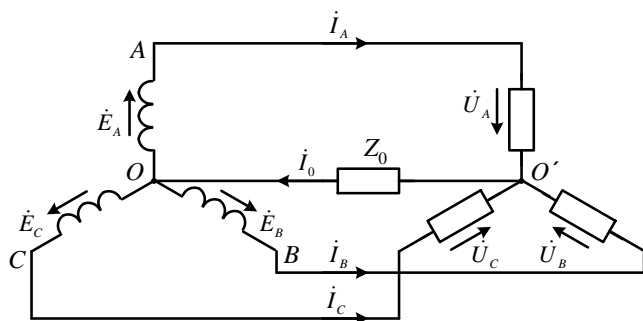


Рис. 8.2

Напругу між лінійними проводами називають лінійною і позначають двома індексами (\dot{U}_{AB} – лінійна напруга між точками А і В). Миттєві значення трифазної системи ЕРС записуються у вигляді:

$$e_A(t) = E\sqrt{2} \sin \omega t ;$$

$$e_B(t) = E\sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ) = E\sqrt{2} \sin(\omega t + 240^\circ);$$

$$e_C(t) = E\sqrt{2} \sin(\omega t - 240^\circ) = E\sqrt{2} \sin(\omega t + 120^\circ).$$

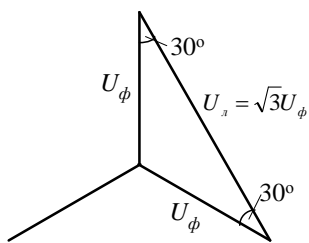


Рис. 8.3

При з'єднанні генератора у зірку (рис. 8.1) лінійна напруга $U_{л}$ за модулем в $\sqrt{3}$ разів більша фазової напруги U_{ϕ} (рис. 8.3)
 $U_{л} = U_{AB} = U_{\phi} 2 \cos 30^{\circ} = \sqrt{3} U_{\phi}$.

Лінійний струм $I_{л}$ при з'єднанні генератора або навантаження у зірку дорівнює фазному струму: $I_{л} = I_{\phi}$.

Якщо провід у схемі має дуже малий опір, то потенціал точки O' практично дорівнює потенціалу точки O . У схемі утворюються три незалежних контури, через які проходять струми:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A}{\dot{Z}_A}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B}{\dot{Z}_B}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{E}_C}{\dot{Z}_C}.$$

Векторна діаграма для активно-індуктивного навантаження наведена на рис. 8.4.

2. Розрахунок кіл при з'єднанні “зірка - зірка”

За першим законом Кірхгофа струм у нульовому проводі дорівнює геометричній сумі фазових струмів: $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$. При наявності у нульовому проводі деякого опору розрахунок схеми проводять методом вузлових потенціалів:

$$\dot{U}_{OO'} = \frac{\dot{E}_A \dot{Y}_A + \dot{E}_B \dot{Y}_B + \dot{E}_C \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_0},$$

де $\dot{Y}_A = \frac{1}{\dot{Z}_A}$; $\dot{Y}_B = \frac{1}{\dot{Z}_B}$; $\dot{Y}_C = \frac{1}{\dot{Z}_C}$ – провідності фаз

навантаження, а \dot{Y}_0 – провідність нульового проводу.

Тоді напруга на фазах навантаження буде дорівнювати $\dot{U}_A = \dot{E}_A - \dot{U}_{OO'}$, $\dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{U}_{OO'}$ і $\dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{U}_{OO'}$.

Роль нульового проводу полягає в забезпеченні симетрії напруг на фазах навантаження при порушенні симетрії струмів.

3. З'єднання трифазного джерела і споживача за схемою “трикутник - трикутник”

Схему на рис. 8.5 називають «трикутник – трикутник». При $Z_0=0$ (нехтування опором лінійних проводів) розрахунок таких кіл зводиться до розрахунку трьох одноконтурних кіл, так як потенціали однойменних вузлів генератора та навантаження однакові [1,2]. Лінійні струми i_A, i_B, i_C визначають за першим законом Кірхгофа, відповідно для вузлів A', B', C' .

При з'єднанні у трикутник $I_{л} = \sqrt{3} I_{\phi}$, а $U_{л} = U_{\phi}$.

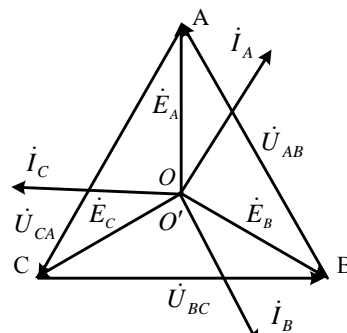


Рис. 8.4

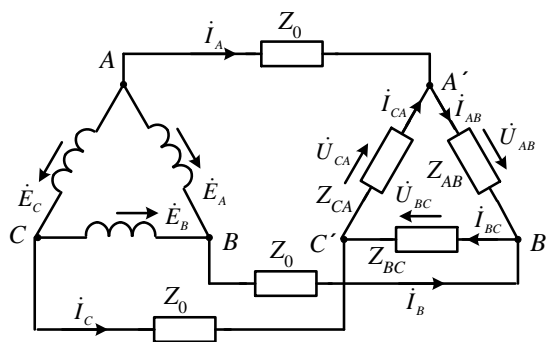


Рис. 8.5

Розрахунок та дослідження трифазних електричних кіл значно ускладнюється при врахуванні опору лінійних проводів $Z_0 \neq 0$, в такому випадку, необхідно скласти систему рівнянь за одним із методів розрахунку електричних кіл (метод рівнянь Кірхгофа, метод контурних струмів, метод вузлових потенціалів та ін.).

4. Симетричний і несиметричний режими трифазного кола синусоїдального струму.

5. Потужність трифазного електричного кола.

Питання для самоперевірки

1. Що є трифазною симетричною системою ЕРС?
2. Наведіть вирази миттєвих значень трифазної системи ЕРС.
3. Яке співвідношення існує між лінійною і фазовою напругою при з'єднанні генератора у зірку?
4. Наведіть співвідношення для лінійного струму при з'єднанні генератора у зірку.
5. Чому дорівнює струм у нульовому проводі?
6. У чому полягає роль нульового проводу?
7. Яку схему називають "трикутник - трикутник"?
8. Наведіть співвідношення для лінійних напруг і струмів в схемі "трикутник - трикутник".
9. Яке навантаження називають рівномірним?
10. Яке навантаження є симетричним?
11. Як визначається потужність трифазного кола?

Лекція 14-15

Тема лекції: Нелінійні елементи в колах постійного струму.

План лекції

1. Нелінійні електричні кола постійного струму.
2. Статичні та динамічні опори НЕ.
3. Розрахунок нелінійних кіл з послідовним з'єднанням НЕ .
4. Розрахунок кола з паралельним з'єднанням НЕ
5. Розрахунок кіл зі змішаним з'єднаннями НЕ.
6. Розгалужені електричні кола з одним нелінійним елементом.

Література

1. Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 1999. – 639 с.
3. Монтик П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.

Зміст лекції

1. Нелінійні електричні кола постійного струму.

Нелінійні елементи (НЕ) – елементи, параметри яких (електричний опір R , індуктивність L чи ємність C) залежать від величини або напрямку струмів в них чи напруг на їх затискачах. В колах постійного струму мають місце тільки нелінійні резистори.

НЕ на відміну від лінійних мають нелінійні вольт-амперні характеристики (ВАХ). ВАХ – це залежність струму, що протікає через елемент кола, від напруги на ньому, тобто $I=f(U)$ або $U=f(I)$.

НЕ поділяються на дві великі групи: некеровані та керовані.

В керованих НЕ, на відміну від некерованих, крім основного кола, зазвичай, є ще принаймні допоміжне (керуюче) коло, яке впливає на ВАХ основного кола. В некерованих НЕ ВАХ зображають однією кривою, а в керованих – декількома кривими, кожна з яких знімається при деяких заданих значеннях керованих величин.

2. Статичні та динамічні опори НЕ

Окрім ВАХ НЕ характеризується також статичним $R_{cm.}$ та динамічним $R_{дин.}$ опором.

Для точки $A(U_0, I_0)$ (рис. 4) визначимо $R_{cm.}$ $R_{дин.}$

Під статичним опором розуміють відношення постійної напруги на НЕ до струму в ньому

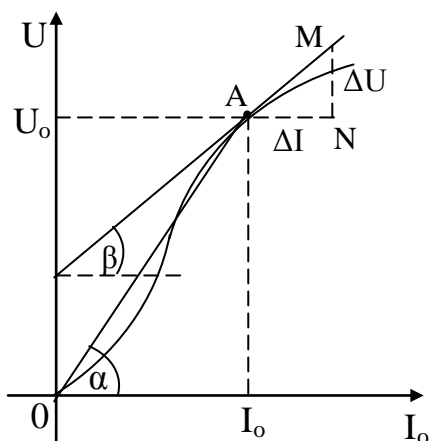


Рис. 4

$$R_{cm.} = \frac{U_0}{I_0} = tg \alpha \text{ [Ом]}$$

Отже, статичний опір НЕ в будь-якій точці ВАХ пропорційний тангенсу кута нахилу до осі струму лінії, що проходить через дану точку і початок координат.

Величина, обернена до $R_{cm.}$, називається статичною провідністю

$$G_{cm.} = \frac{1}{R_{cm.}} \text{ [См].}$$

Питання для самоперевірки

1. Що таке нелінійні елементи?
2. На які групи поділяються нелінійні елементи?
3. Що таке статичний опір?
4. Що є динамічним опором?
5. Як розраховуються нелінійні кола з послідовним з'єднанням нелінійних елементів?

6. Як розраховуються нелінійні кола з паралельним з'єднанням нелінійних елементів?

7. Як розраховуються нелінійні кола зі змішаним з'єднанням нелінійних елементів?

8. Як розраховуються розгалужені електричні кола з одним нелінійним елементом?

Лекція 16-17

Тема лекції: Розрахунок магнітних кіл.

План лекції

1. Магнітні кола
2. Основні закони магнітних кіл
3. Магнітні кола постійних магнітних потоків
4. Розрахунок нерозгалуженого магнітного кола постійного струму
5. Методи аналізу розгалужених магнітних кіл
6. Магнітні кола змінних магнітних потоків

Література

1. Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 1999. – 639 с.
3. Монтик П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.

Зміст лекції

1. Магнітні кола

Як відомо з курсу фізики, навколо провідника із струмом з'являється магнітне поле. Інтенсивність магнітного поля характеризується векторною величиною напруженості магнітного поля \vec{H} , яка вимірюється в амперах на метр (А/м). Інтенсивність магнітного поля характеризується також вектором магнітної індукції \vec{B} , яка вимірюється в теслах (Тл). Напруженість магнітного поля не залежить, а магнітна індукція залежить від властивостей навколишнього середовища:

$$\vec{B} = \mu_a \vec{H} = \mu_0 \mu \vec{H},$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – абсолютна магнітна проникність, Гн/м;

μ – відносне значення магнітної проникності, безрозмірна величина;

Залежно від величини відносної магнітної проникності, всі речовини діляться на три групи:

- 1) діамагнетики: $\mu < 1$;
- 2) парамагнетики: $\mu > 1$.
- 3) феромагнетики: $\mu \gg 1$.

До феромагнетиків належать залізо, нікель, кобальт і багато сплавів з 21e лінійності 21их речовин.

Магнітним колом називається сукупність пристроїв, призначених для утворення та замикання магнітного потоку.

У магнітних колах використовується властивість феромагнітного матеріалу багатократно підсилювати магнітне поле котушки із струмом за рахунок власної намагніченості. Магнітні кола з феромагнітних матеріалів є нелінійними, оскільки відносна магнітна проникність є змінною величиною.

Процеси в магнітних колах описуються за допомогою понять магніторушійної сили, магнітного потоку.

Магнітним потоком називається потік вектора магнітної індукції через поверхню S :

$$\Phi = B \cdot S.$$

Магнітний потік вимірюється у веберах (Вб).

Магнітна напруга між двома точками магнітного поля на відстані \vec{l} $U_m = \vec{H} \cdot \vec{l}$ і вимірюється в амперах.

При розрахунках вибирають \vec{l} за напрямом \vec{H} , тоді $U_m = H \cdot l$.

Магніторушійна сила (МРС) $F = wI$, де w – кількість витків котушки; I – струм, що протікає в ній. Одиниця виміру МРС – ампер.

2. Основні закони магнітних кіл

1. *Принцип неперервності магнітного потоку.* Лінії магнітної індукції неперервні і замкнені. Тому магнітний потік через замкнену поверхню $\Phi = \oint B ds = 0$. Тому в нерозгалужених магнітних колах потік на всіх ділянках однаковий, а в розгалужених колах алгебраїчна сума магнітних потоків в точці розгалуження дорівнює нулю

$$\sum \Phi = 0.$$

2. *Закон повного струму.* Лінійний інтеграл напруженості магнітного поля вздовж замкненого контуру дорівнює алгебраїчній сумі струмів, що пронизують цей контур:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I.$$

Із знаком плюс записуються струми, які пов'язані із обраним напрямом обходу контуру інтегрування правилом правої руки (правого гвинта). Контур інтегрування обирають таким, що співпадає з магнітною силовою лінією, тоді позначення векторів можна прибрати. Якщо всередині контуру інтегрування знаходяться не лінійні провідники, а індуктивні котушки, то в правій частині рівняння за законом повного струму потрібно записати алгебраїчну суму МРС:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum F = \sum wI.$$

Напруженість магнітного поля приймають для середньої магнітної лінії.

В основі розрахунків магнітних кіл лежать:

– закон Ома для магнітного кола;

5. перший і другий закони Кірхгофа для магнітного кола.

Закон Ома для магнітного кола: магнітний потік Φ в нерозгалуженому магнітному колі пропорційний магніторушійній силі (МРС) F , та обернено пропорційний магнітному опору R_M .

$$\Phi = \frac{Iw}{R_M} = \frac{F}{R_M}$$

Перший закон Кірхгофа для магнітного кола: алгебраїчна сума магнітних потоків у вузлі дорівнює нулю

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

Другий закон Кірхгофа для магнітного кола: алгебраїчна сума МРС, що діють в замкненому контурі магнітного кола, дорівнює алгебраїчній сумі падінь магнітних напруг на всіх ділянках цього контуру

$$\sum_{k=1}^n w_k I_k = \sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum_{k=1}^n \Phi_k R_{Mk} = \sum_{k=1}^n U_{Mk}.$$

Магнітна напруга спрямована за потоком. Для визначення напрямку МРС можна скористатися правилом правої руки: якщо осердя уявно охопити правою рукою, розташувавши чотири пальця за напрямом струму в котушці, то відігнутий великий палець вкаже напрям МРС.

Внаслідок 22е лінійності зв'язку між індукцією та напруженістю магнітного поля для феромагнітних матеріалів, розрахунки таких кіл зазвичай здійснюються графоаналітичними методами аналогічно до методів розрахунку нелінійних електричних кіл.

При розрахунках магнітних кіл розрізняють дві задачі: пряму та зворотну. В першому випадку за заданим магнітним потоком необхідно визначити магніторушійну силу (МРС) котушки, яка необхідна для його створення. В другій задачі за заданою МРС визначається створений нею магнітний потік. У випадку розгалужених електричних кіл також має місце змішана задача, коли відомі частина значень МРС та потоків і необхідно розрахувати інші МРС та потоки.

Серед розгалужених магнітних кіл часто зустрічаються симетричні. В такому випадку магнітне коло по осі симетрії розділяють на два нерозгалужених. Магнітні потоки в них однакові та дорівнюють половині магнітного потоку середнього стрижня.

У випадках несиметричних розгалужених магнітних кіл зручно переходити до схеми заміщення та аналогічній їй електричній схемі заміщення.

При розв'язанні прямої задачі, коли відомі геометричні розміри магнітопроводу, основна крива намагнічування, магнітні потоки та необхідно визначити величини МРС, складають рівняння за законами Кірхгофа для магнітних кіл. За відомими магнітним потоками та геометричним розмірами розраховують величини індукції на ділянках магнітопроводу та за кривою намагнічування визначають значення напруженості магнітного поля. Потім знаходять значення МРС за другим законом Кірхгофа для магнітного кола.

Зворотну задачу, коли при відомих геометричних розмірах, основній кривій намагнічування та значеннях МРС необхідно визначити магнітні

потоки, розв'язують графоаналітичним способом аналогічно до нелінійних електричних кіл.

В задачах даного типу починають з побудови вебер-амперних характеристик (залежностей величини магнітного потоку від магнітної напруги) на кожній ділянці магнітного кола. Далі найчастіше користуються методом двох вузлів. Умовою розв'язання задачі є виконання першого закону Кірхгофа для магнітних кіл: алгебраїчна сума магнітних потоків у вузлі дорівнює нулю.

В змішаній задачі за частиною МРС та потоків необхідно розрахувати інші значення МРС та магнітних потоків. Завдання хоча б одного з потоків або співвідношення між потоками значно спрощує розв'язання такої задачі порівняно із зворотною.

Для розв'язання задачі також починають із побудови вебер-амперних характеристик, а в рівнянні за першим законом Кірхгофа для магнітного кола при знаходженні робочої точки використовують задані значення потоків або співвідношення між ними.

Питання для самоперевірки

1. Що таке напруженість магнітного поля?
2. Від чого залежить магнітна індукція?
3. Що називається магнітним потоком?
4. Наведіть основні закони магнітних кіл.
5. Що уявляють собою магнітні кола постійних магнітних потоків?
6. Як розраховуються магнітні кола постійного струму?
7. Що таке магнітна напруга?
8. Наведіть вебер – амперну характеристику магнітного кола.
9. У чому полягають методи аналізу розгалужених магнітних кіл?
10. Що уявляє собою магнітне коло змінного магнітного потоку?

Лекція 18

Тема лекції: ДВА ТИПИ ЕМП. ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОМУ ПЕРЕТВОРЕННІ

План лекції

1. Закони електромеханіки
2. Електромеханічні перетворювачі

Література

1. Монтік П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.
2. Попов М. П. Основы электромеханики. Конспект лекций. – К.:

КМУГА, 1995. – 116 с.

3. Курілов В.І., Макаров І.Е., Попов М.П. Електромеханіка та електричні машини. К.: НАУ. –2003. – 152 с

4. Красношапка Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.

1. Закони електромеханіки

Електричні струми утворюють в навколишньому просторі магнітне поле, яке виявляється завдяки деяким явищам, що спостерігаються в ньому. Найбільш дослідженими і важливими властивостями магнітного поля є його електромеханічні й індукційні дії, які покладені в основу роботи електричних машин, апаратів, вимірювальних приладів і т. д.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає електромеханічна дія?
2. Поясніть перший закон електромеханіки.
3. Які існують види втрат в електромеханічних перетворювачах?
4. На які групи поділяють втрати потужності в електромеханічних перетворювачах?
5. У чому полягає другий закон електромеханіки?
6. У чому полягає третій закон електромеханіки?
7. Що таке електромеханічний перетворювач?
8. Які існують співвідношення в електромеханічних системах?
9. Який метод називають методом електромеханічних аналогій?

Лекція 19 - 20

Тема лекції: ОДНОФАЗНІ ТРАНСФОРМАТОРИ. ПРИНЦИП ДІЇ. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

План лекції

1. Однофазні трансформатори. Принцип дії
2. Схеми заміщення однофазного трансформатора
3. Зовнішня характеристика трансформатора
4. Робочі характеристики трансформатора

Література

1. Монтік П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.

2. Попов М. П. Основы электромеханики. Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1995. – 116 с.

3. Курілов В.І., Макаров І.Е., Попов М.П. Електромеханіка та електричні машини. К.: НАУ. –2003. – 152 с

1. Однофазні трансформатори

Трансформатор – це статичний електромагнітний апарат, призначений для перетворення електричної енергії змінного струму однієї напруги в електричну енергію іншої напруги при незмінній частоті [4–8].

Принцип дії розглянемо на прикладі двообмоткового трансформатора стрижневої конструкції (рис. 10.1). При подаванні на первинну обмотку трансформатора синусоїдної напруги $u_1 = U_{1m}\sin\omega t$, по ній починає протікати змінний струм i_1 , який при ненасиченому магнітопроводі можна вважати синусоїдним $i_1 = I_{1m}\sin(\omega t - \varphi_1)$. Відставання за фазою струму i_1 від напруги u_1 на кут φ_1 обумовлене індуктивністю обмоток трансформатора.

Струм первинної обмотки трансформатора утворює магніторушійну силу (МРС), діюче значення якої пропорційно величині струму і кількості витків первинної обмотки $F_1 = I_1 w_1$. Магніторушійна сила F_1 створює в магнітопроводі трансформатора синусоїдний магнітний потік Φ_1 , синфазний з МРС. Основна частина магнітного потоку Φ_0 замикається по магнітопроводу і

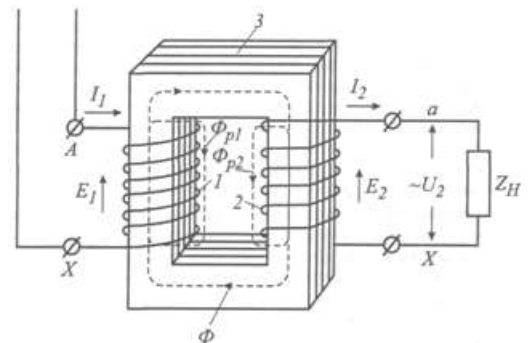


Рис. 10.1

зчеплена як з первинною, так і вторинної обмотками. Інша частина магнітного потоку Φ_1 зчеплена лише з витками первинної обмотки і називається потоком розсіяння Φ_{p1} . Таким чином, $\Phi_1 = \Phi_0 + \Phi_{p1}$.

Синусоїдні магнітні потоки Φ_0 і Φ_{p1} наводять в обмотках ЕРС: $E_1 = -w_1 (d\Phi_0/dt)$, $E_2 = -w_2 (d\Phi_0/dt)$, $E_{p1} = -w_1 (d\Phi_{p1}/dt)$.

Якщо коло вторинної обмотки замкнено, то струм вторинної обмотки утворює МРС $F_2 = I_2 w_2$, яка спільно з МРС первинної обмотки формує магнітний потік Φ_0 і потік розсіяння Φ_{p2} , зчеплений тільки із вторинною обмоткою і наведена в ній ЕРС розсіяння дорівнює $E_{p2} = - (d\Phi_{p2}/dt)$. Оскільки похідна від синусоїдної залежності утворює косинусоїдну залежність, то ЕРС відстають за фазою від магнітних потоків на 90° ел. Рівняння рівноваги напруг первинної і вторинної обмоток можна записати в комплексній формі:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_{p1} + \dot{I}_1 r_1 \quad \dot{E}_2 = \dot{E}_{p2} + \dot{I}_2 r_2 + \dot{I}_2 Z_H,$$

де $\dot{U}_1 = \dot{I}_2 Z_H$ – напруга на вторинній обмотці під навантаженням.

Оскільки величини ЕРС розсіяння пропорційні величинам струмів обмоток, то їх можна подати у вигляді падінь напруг $\dot{E}_{p1} = -j\dot{I}_1 x_1$ і $\dot{E}_{p2} = -j\dot{I}_2 x_2$, де x_1 і x_2 – індуктивні опори розсіяння первинної і вторинної обмоток відповідно.

2. Схеми заміщення однофазного трансформатора

Особливістю роботи трансформатора під навантаженням є незначна залежність величини магнітного потоку Φ_0 від величини струму навантаження, що обумовлено протифазністю МРС первинної і вторинної обмоток, тобто $w_1 \dot{I}_1 + w_2 \dot{I}_2 = w_1 \dot{I}_{10}$, і сума первинної і вторинної МРС дорівнює МРС первинної обмотки в режимі холостого ходу трансформатора. Таким чином, роботу однофазного трансформатора можна описати системою рівнянь [4–8]:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1); \\ \dot{E}_2 &= \dot{U}_2 + \dot{I}_2(r_2 + jx_2); \end{aligned} \quad (10.1)$$

$$w_1 \dot{I}_1 + w_2 \dot{I}_2 = w_1 \dot{I}_{10}. \quad (10.2)$$

Струм холостого ходу трансформатора можна подати у вигляді двох складових $\dot{I}_{10} = \dot{I}_{0a} + \dot{I}_{0p}$, де \dot{I}_{0a} – активна складова струму холостого ходу, обумовлена втратами в сталі трансформатора; \dot{I}_{0p} – намагнічувальний струм (I_0), який утворює магнітний потік трансформатора.

Величини ЕРС обмоток визначаються співвідношеннями:

$$E_1 = 4,44w_1f\Phi_0 \text{ і } E_2 = 4,44w_2f\Phi_0,$$

де f – частота змінного струму мережі живлення.

Цій системі рівнянь відповідає схема заміщення на рис. 10.2.

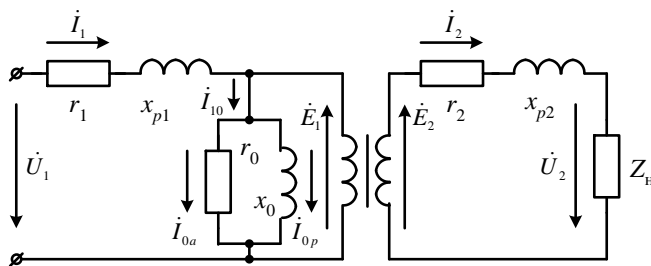


Рис. 10.2

Відношення ЕРС первинної обмотки до ЕРС вторинної обмотки, яке дорівнює відношенню кількості витків цих обмоток, називають коефіцієнтом трансформації трансформатора $E_1/E_2 = w_1/w_2 = k_{тр}$.

Знижувальні трансформатори ($U_1 > U_2$) мають $k_{тр} > 1,0$, а підвищувальні ($U_1 < U_2$) мають $k_{тр} < 1,0$.

Якщо рівняння (10.1) помножити на $k_{тр}$, а рівняння (10.2) розділити на w_1 , то вийде система рівнянь приведенного трансформатора, у якого кількість витків вторинної обмотки дорівнює кількості витків первинної обмотки, а значення параметрів приведенного трансформатора повинно забезпечувати такі ж енергетичні і фазові співвідношення, як і в реальному трансформаторі:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1); \\ \dot{E}'_2 &= \dot{U}'_2 + \dot{I}'_2(r'_2 + jx'_2); \\ \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 &= \dot{I}_{10}. \end{aligned} \quad (10.3)$$

З рівняння (10.3) виходить, що при збільшенні навантаження трансформатора $I'_2 = I_2/k_{тр}$ збільшується струм первинної обмотки, тому що фаза струму $-\dot{I}'_2$ мало відрізняється від фази \dot{I}_1 .

Величина ЕРС вторинної обмотки, приведена до витків первинної обмотки $E'_2 = E_2 k_{тр}$ дорівнює ЕРС первинної обмотки $E'_2 = E_1$.

З урахуванням цих обставин схема заміщення приведенного трансформатора може бути подана (рис. 10.3) з електричним зв'язком первинного і вторинного контурів. Значення параметрів r'_2 і x'_2 у схемі заміщення (рис. 10.3) визначаються множенням реальних параметрів r_2 і x_2 на квадрат коефіцієнта трансформації $r'_2 = r_2 (w_1 / w_2)^2$, $x'_2 = x_2 (w_1 / w_2)^2$.

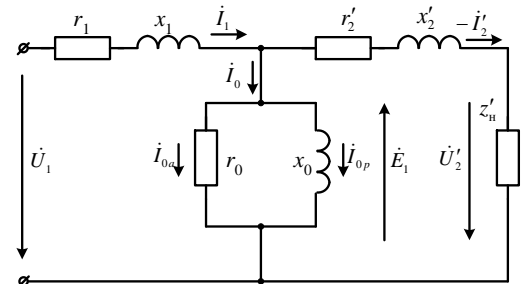


Рис. 10.3

На рис. 10.4 наведено векторну діаграму однофазного трансформатора при роботі на активно-індуктивне навантаження.

3. Зовнішня характеристика трансформатора

Зовнішні характеристики трансформатора показують залежність вторинної напруги від навантаження і коефіцієнта потужності. З наведеної схеми заміщення трансформатора (див. рис. 10.3) виходить, що

$$\dot{U}_1 = \dot{U}'_n + \Delta \dot{U}_{тр} = z'_n \dot{I}'_2 + \Delta \dot{U}_{тр}.$$

Модуль вектора падіння напруги на трансформаторі можна також одержати, скориставшись виразом:

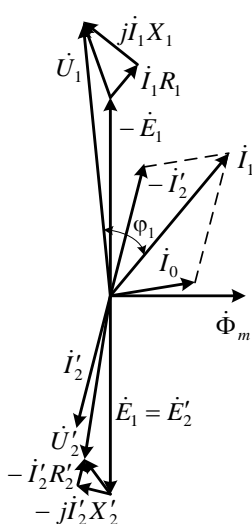


Рис. 10.4

$$\Delta U \% = \beta (U_{ка} \cos \varphi + U_{кр} \sin \varphi) + \frac{\beta^2 (U_{кр} \cos \varphi - U_{ка} \sin \varphi)^2}{200},$$

де $U_{ка} = \frac{I_{н\text{ном}} r_k}{U_{н\text{ном}}}$; $U_{кр} = \frac{I_{н\text{ном}} x_k}{U_{н\text{ном}}}$; $\beta = \frac{I_1}{I_{н\text{ном}}}$ – коефіцієнт навантаження.

Вигляд зовнішньої характеристики трансформатора визначається не тільки величиною навантаження, але і її характером. При збільшенні струму навантаження вихідна напруга трансформатора зменшується при активному і активно-індуктивному і збільшується при ємнісному і активно-ємнісному характерах навантаження.

4. Робочі характеристики трансформатора

Робочі характеристики трансформатора є залежностями коефіцієнта корисної дії, коефіцієнта потужності, струму в первинній обмотці і напруги на навантаженні від струму навантаження [7; 8]. Всі ці залежності розраховуються на підставі схеми заміщення (рис. 10.3). Характерний вигляд робочих характеристик показаний на рис. 10.5.

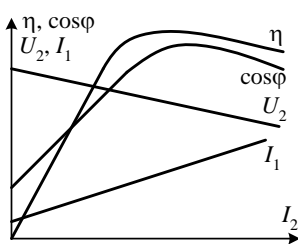


Рис. 10.5

Питання для самоперевірки

1. Що таке трансформатор?
2. У чому полягає принцип дії трансформатора?
3. Пояснити рівняння рівноваги напруг первинної і вторинної обмоток.
4. Якими співвідношеннями визначаються електрорушійні сили обмоток?
5. Які існують схеми заміщення трансформатора?
6. Яку залежність ілюструють зовнішні характеристики трансформатора?
7. Якими залежностями є робочі характеристики трансформатора?

Лекція 21

Тема лекції: ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМІВ ХОЛОСТОГО ХОДУ І НОРМАЛЬНОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ. ТРИФАЗНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

План лекції

1. Режими холостого ходу і короткого замикання трансформаторів
2. Трифазні трансформатори
3. Втрати енергії і ККД трансформаторів
4. Групи з'єднання обмоток трифазного трансформатора
5. Паралельна робота трифазних трансформаторів
6. Трансформатори спеціального призначення

Література

1. Монтік П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.
2. Попов М. П. Основы электромеханики. Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1995. – 116 с.
3. Курілов В.І., Макаров І.Е., Попов М.П. Електромеханіка та електричні машини. К.: НАУ. –2003. – 152 с
4. Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.

1. Режими холостого ходу і короткого замикання трансформаторів
Дослідження режимів холостого ходу (ХХ) і нормального короткого замикання (КЗ) дозволяє визначити параметри намагнічувального контуру схеми заміщення, розрахувати величини втрат і номінальний ККД трансформатора [3–8]. З цією метою в режимі ХХ при розімкненому колі вторинної обмотки до первинної обмотки трансформатора підводиться номінальна величина напруги $U_{1ном}$. Оскільки величина струму ХХ I_{10} звичайно не перевищує 10% від величини номінального струму первинної обмотки $I_{1ном}$, то втрати в міді первинної обмотки в режимі ХХ

трансформатора не перевищують 1% від номінального рівня цих втрат і втратами в первинній обмотці нехтують. Тому активна потужність P_0 , споживана з мережі трансформатором в режимі ХХ, дорівнює номінальній потужності втрат в сталі магнітопровода $P_{ст}$.

У режимі нормального КЗ ланцюг вторинної обмотки трансформатора замикається накоротко, а до первинної обмотки трансформатора підводиться знижена напруга U_{1k} , при якій по обмотках протікають номінальні струми $I_{1ном}$ і $I_{2ном}$. Звичайно напруга U_{1k} не перевищує 10% рівня номінальної напруги, а оскільки втрати в сталі магнітопровода $P_{ст}$ пропорційні квадрату напруги на первинній обмотці, то в режимі КЗ трансформатора ними нехтують. Активна потужність, споживана в режимі КЗ трансформатора, визначає номінальну величину втрат в міді первинної і вторинної обмоток P_m .

$$r_k = r_1 + r_2' = (U_{1k} \cos \varphi_k) / I_{1ном} ; x_k = x_1 + x_2' = (U_{1k} \sin \varphi_k) / I_{1ном} ;$$

$$\varphi_k = \arccos P_k / (U_{1k} I_{1ном}).$$

Номінальний ККД трансформатора визначається співвідношенням $\eta = P_{2ном} / (P_{2ном} + \Delta P_{ст} + \Delta P_m) = P_{2ном} / (P_{2ном} + P_0 + P_k)$.

2. Трифазні трансформатори.

Аналіз режимів роботи трифазних трансформаторів при симетричному навантаженні може проводитися з розрахунку на одну фазу з використанням методичного апарату, вживаного для однофазних трансформаторів [4–8].

Слід мати на увазі, що внаслідок несиметрії трифазного трансформатора стрижневої конструкції в режимі холостого ходу спостерігається несиметрія фазних струмів. Так струм обмотки фази, розташованої на середньому стрижні, менше струмів обмоток фаз, розташованих на крайніх стрижнях. При аналізі режиму холостого ходу трифазного трансформатора струм фази визначається як середнє арифметичне струмів всіх фаз

$$I_{10} = (I_{1A0} + I_{1B0} + I_{1C0}) / 3.$$

З появою навантаження на вторинних обмотках трифазного трансформатора несиметрія струмів фаз зникає. З цієї причини зовнішня і робочі характеристики трифазного трансформатора з розрахунку на одну фазу відповідають характеристикам однофазного трансформатора еквівалентної потужності з тими ж значеннями номінальних рівнів напруги і струмів.

Специфічними для трифазних трансформаторів є способи з'єднання його первинних і вторинних обмоток. Обмотки можуть з'єднуватися зіркою (Y) або трикутником (Δ), при прямому і зустрічному увімкненні. Повна кількість варіантів з'єднань обмоток високої і низької сторін трансформатора дорівнює дванадцяти.

При з'єднанні зіркою може використовуватися нульовий провід. Спосіб з'єднання обмоток впливає на відношення напруг на фазах і зсув за фазою між напругами на вході і виході трансформатора.

Залежно від фазового зсуву трансформатори розрізняються за групами. Номер групи визначається фазовим зсувом між однойменними лінійними напругами первинної і вторинної сторін, розділеним на 30° . Знання групи з'єднань обмоток трифазних трансформаторів необхідне для визначення можливості включення їх на паралельну роботу. Уникнути зрівняльних струмів трифазних трансформаторів при паралельній роботі можливо лише тоді, коли трансформатори мають однакову групу з'єднання обмоток та однакові первинні і вторинні напруги відповідно (тобто однакові коефіцієнти трансформації).

Для розподілу струмів навантаження пропорційно їх номінальним потужностям при паралельній роботі необхідно, щоб трансформатори мали однакову величину U_{1k} , а для пропорційного розподілу потоків активних і реактивних потужностей, крім того, повинна забезпечуватися рівність активних і реактивних складових U_{1k} кожного трансформатора.

Лекція 22-24

Тема лекції: АСИНХРОННІ МАШИНИ. ПРИНЦИП ДІЇ. ОСНОВНІ СПІВВІДНОШЕННЯ

План лекції

1. Принцип дії асинхронної машини
2. Режими роботи асинхронної машини
3. Основні співвідношення і схеми заміщення асинхронного двигуна

Література

- 1.Монтік П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.
- 2.Попов М. П. Основы электромеханики. Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1995. – 116 с.
- 3.Курілов В.І., Макаров І.Е., Попов М.П. Електромеханіка та електричні машини. К.: НАУ. –2003. – 152 с
- 4.Красношапка Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.

1. Принцип дії асинхронної машини

Асинхронною машиною (АМ) називається електромеханічний перетворювач, в якому відбувається перетворення енергії при швидкостях обертання ротора, відмінних від швидкості обертання магнітного поля в повітряному зазорі машини.

Принцип дії трифазної АМ можна пояснити за допомогою рис. 1, на якому трифазні обмотки для спрощення зображені зосередженими. Магнітна система машини виконується у вигляді двох концентрично розташованих циліндричних осердь. Внутрішнє осердя 2 (ротор) може вільно обертатися

всередині нерухомого осердя I (статора). Між осердями має місце повітряний зазор δ . Залежно від конструктивного виконання ротора АМ підрозділяються на машини з короткозамкненою і фазною обмоткою ротора.

2. Режими роботи асинхронної машини.

Залежно від величини та знаку ковзання режими роботи АМ поділяються на режими двигуна (АД), генератора і гальмування противімкненням.

Під час роботи в режимі двигуна відбувається перетворення електричної потужності, яка споживається з мережі, в механічну потужність на валу АМ. У цьому режимі роботи величина ковзання змінюється в діапазоні $0 < s \leq 1,0$, тобто швидкість обертання ротора змінюється від нуля ($s = 1,0$) до швидкості, близької до швидкості обертання поля ω_0 ($s \rightarrow 0$). Електромагнітний момент спрямований у бік обертання ротора і є причиною цього обертання.

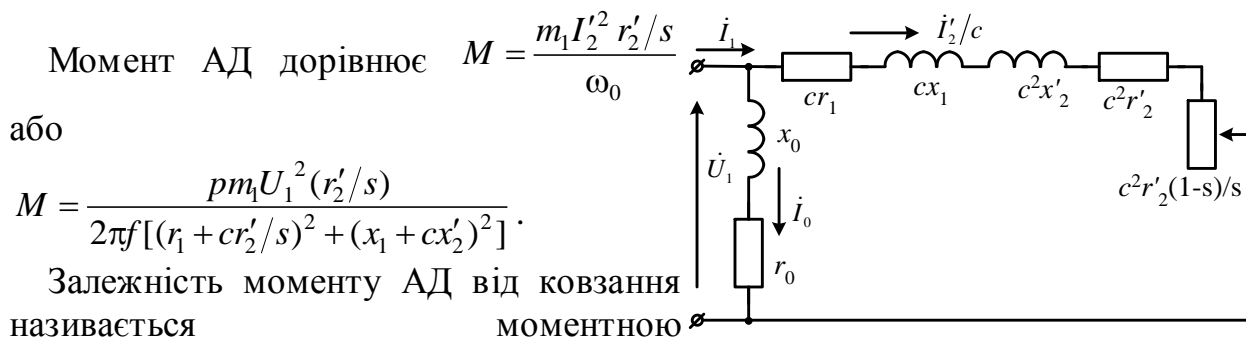


Рис. 2

Ковзання, при якому момент досягає максимального значення, називається критичним $s_{кр}$. Коефіцієнт $c \approx 1$, тому $s_{кр}$ можна визначити за формулою

$$s_{кр} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} \approx \frac{r_2'}{(x_1 + x_2')}.$$

Величину максимального моменту АД визначають за формулою

$$M_{\max} = \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_0 (x_1 + x_2')}.$$

Коефіцієнт корисної дії АМ при роботі в режимах двигуна і генератора розраховують за співвідношеннями

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\sum \Delta p}{P_2 + \sum \Delta p} = \frac{P_1 - \sum \Delta p}{P_1}.$$

Питання для самоперевірки.

1. Поясніть принцип дії АМ.
2. Які Ви знаєте режими роботи АМ?
3. Наведіть рівняння приведеної АМ.
4. Яке ковзання називається критичним?
5. Як розраховується коефіцієнт корисної дії АМ?

Лекція 25

Тема лекції : Характеристики асинхронної машини

План лекції

1. Енергетична діаграма асинхронної машини
2. Механічна і моментна характеристики
3. Живлення трифазних асинхронних двигунів від однофазної мережі
4. Регулювання швидкості обертання асинхронних машин.

Література

- 1.Монтік П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.
- 2.Попов М. П. Основы электромеханики. Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1995. – 116 с.
- 3.Курілов В.І., Макаров І.Е., Попов М.П. Електромеханіка та електричні машини. К.: НАУ. –2003. – 152 с
- 4.Красношарпа Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.

1. Енергетична діаграма асинхронної машини

У процесі перетворення енергії в асинхронному двигуні (АД) мають місце співвідношення між електромагнітною $P_{ем}$, споживаною P_1 і механічною $P_{мех}$ потужностями та втратами ковзання Δp_k :

$$P_{ем} = M_{ем}\omega_0 = P_1 - \Delta p_{м1} - \Delta p_{ст1};$$

$$P_{мех} = M_{ем}\omega = P_{ем} (1 - s);$$

$$\Delta p_k = P_{ем} - P_{мех} = P_{ем}s.$$

Енергетична діаграма АД наведена на рис. 1.; $\Delta p_{м1}$ і $\Delta p_{ст1}$ – електричні і магнітні втрати в обмотці статора АД. Якщо параметри ротора приведені до статора, то втрати в міді ротора

$$\Delta p_k = P_{ем}s = m_1(I_2')^2 r_2' / s = M \cdot (\omega_1 - \omega) = M\omega_1 s.$$

Звідки
$$M = \frac{m_1(I_2')^2 r_2' / s}{\omega_1}.$$

2. Механічна і моментна характеристики.

Для оцінки властивостей асинхронного двигуна використовується його моментна і механічна характеристики (залежності обертового моменту M від ковзання s і швидкості обертання ротора машини ω від моменту M відповідно). Часто застосовують формулою Клосса, яка встановлює зв'язок між значенням моменту асинхронної машини, її максимальним значенням, критичним ковзанням $s_{кр}$ і ковзанням s :

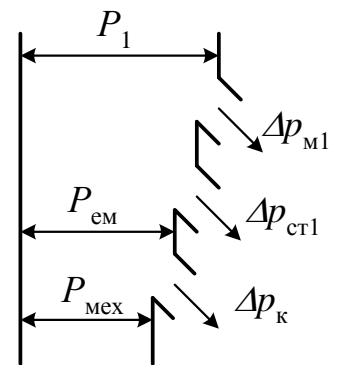


Рис. 1

$$M = M_{\max} \frac{2 + as_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s} + as_{кр}},$$

де $a = \frac{2r_1}{cr_2'}$ — коефіцієнт, що враховує співвідношення активних опорів обмоток статора і ротора асинхронної машини.

Питання для самоперевірки.

1. Поясніть енергетичну діаграму АМ.
2. Як впливає величина додаткового опору в колі фазного ротора АМ на вид механічної характеристики?
3. Як здійснюється регулювання кутової швидкості ротора?
4. За яких умов виникає гальмування проти включенням?
5. Як здійснюють гальмівні режими?

Лекція 26-27

Тема лекції:СИНХРОННІ МАШИНИ

План лекції

1. Принцип дії синхронної машини
2. Реакція якоря в синхронній машині
3. Електромагнітна потужність синхронної машини
4. Режими роботи синхронного генератора
5. Векторні діаграми й характеристики синхронного генератора
6. Електромагнітна потужність трифазного синхронного генератора
7. Робота трифазної синхронної машини в режимі двигуна
8. Характеристики трифазного синхронного двигуна

Література

- 1.Монтік П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.
- 2.Попов М. П. Основы электромеханики. Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1995. – 116 с.
- 3.Курілов В.І., Макаров І.Е., Попов М.П. Електромеханіка та електричні машини. К.: НАУ. –2003. – 152 с
- 4.Красношапка Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.

1. Принцип дії синхронної машини.

Синхронною (СМ) називають машину змінного струму, в якій швидкість обертання ротора дорівнює швидкості обертання магнітного поля в її повітряному зазорі.

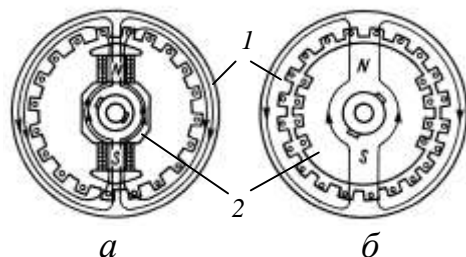


Рис. 1

1 – статор; 2 – ротор

Розрізняють два основні конструктивні різновиди СМ. В одному випадку якірня обмотка розташована на статорі, а індуктор обертається, в другому – індуктор розташований на статорі, а якірня обмотка на роторі (обернена конструкція). Залежно від конструкції індуктора розрізняють явнополюсні (рис. 1, а) і неявнополюсні (рис. 1, б) синхронні машини. Потужні синхронні

машини дво- і чотириполюсного виконання з швидкостями обертання 3000 і 1500 об/хв для забезпечення механічної міцності ротора виконуються неявнополюсними. Обмотка збудження в такій машині розміщується в пазах осердя ротора, виконаного з масивної сталевий поковки, і зміцнюється в них немагнітними металевими клинами.

У синхронних двигунах з явнополюсним ротором в полюсних наконечниках розміщуються стрижні білячої клітки, виконаної з матеріалу з підвищеним питомим опором (латунь і ін.). Ця клітка служить пусковою обмоткою. Останнім часом синхронні двигуни часто виконуються без пускової обмотки, але з масивними полюсами. У цих полюсах при пуску виникають вихрові струми, які, взаємодіючи з обертовим магнітним полем, створюють пусковий момент.

Явнополюсні СМ із-за нерівномірності повітряного зазору за поздовжньою віссю d (віссю полюсів індуктора) і поперечною віссю q (по середині міжполюсного простору) мають різні величини синхронних індуктивних опорів $x_d > x_q$.

У неявнополюсних СМ повітряний зазор рівномірний, тому синхронні індуктивні опори по поздовжній і поперечній осях однакові $x_d = x_q$. В режимі холостого ходу СМ вектор напруги співпадає за напрямом з вектором ЕРС і їх амплітуди рівні. З цієї причини кут навантаження θ (кут між векторами ЕРС і напруги) дорівнює нулю, і магнітні силові лінії в повітряному зазорі мають найменшу довжину та спрямовані в радіальних напрямках.

Якщо за рахунок навантаження СМ, яка працює на електричну мережу, магнітне поле індуктора починає випереджати поле струмів якоря, то внаслідок взаємодії електромагнітного поля індуктора із струмами статора з'являються тангенціальні складові електромагнітних сил, що створюють гальмівний момент. СМ працює в генераторному режимі, віддаючи електричну енергію в мережу.

Якщо під дією зовнішніх факторів поле індуктора починає відставати від поля струмів якоря на кут $\theta < 0$, то тангенціальні складові сил електромагнітної взаємодії змінюють знак і діють у напрямі обертання ротора, СМ переходить в режим двигуна, споживаючи з мережі електричну енергію і розвиваючи механічну енергію на своєму валу.

2. Реакція якоря в синхронній машині

У режимі холостого ходу в синхронному генераторі (СГ) існує тільки одна намагнічувальна сила – ротора, що створює основне магнітне поле в робочому зазорі машини. При появі струму в обмотках статора взаємодія намагнічувальних сил ротора і статора призводить до появи результуючого магнітного поля генератора. Це поле як за величиною магнітної індукції в робочому зазорі машини, так і за характером її розподілу в цьому зазорі в значній мірі визначається величиною і напрямом струму якоря.

Вплив струму якоря на картину розподілу магнітного потоку в робочому зазорі машини називають реакцією якоря. Форма кривої ЕРС СГ, що працює в режимі навантаження, визначається картиною розподілу магнітної індукції в робочому зазорі машини. Для того, щоб крива ЕРС, що генерується СМ, мала синусоїдну форму, необхідно, щоб форма кривої результуючої індукції в зазорі трохи відрізнялася від синусоїди.

При розгляді реакції якоря в СГ звичайно вважається, що він працює в режимі симетричного навантаження. При активному навантаженні $\varphi = 0$. В генераторі виникає поперечна реакція якоря, яка змінює кут θ між векторами ЕРС і напруги, істотно не впливаючи на величину основного магнітного потоку.

При активно-індуктивному навантаженні, крім поперечної, з'являється і поздовжня реакція якоря, ЕРС якої спрямована проти ЕРС, створюваної струмом збудження, і напруга на генераторі знижується. При активно-ємнісному навантаженні ЕРС поздовжньої реакції співпадає за напрямом з ЕРС, яка створюється обмоткою збудження і збільшує напругу генератора.

3. Електромагнітна потужність синхронної машини

Електромагнітна потужність СМ визначається співвідношенням $P_{em} = m_1 U_1 I \cos\varphi$. Якщо виразити струм через параметри і кут навантаження, то для явнопольсного генератора

$$P_{em} = \frac{m_1 E_0 U}{x_d} \cos\theta + \frac{m_1 U^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta.$$

Перший доданок залежить від ступеня збудження генератора та пропорційний косинусу кута навантаження, а другий – пропорційний синусу подвійного кута навантаження, що обумовлено явнопольсністю генератора $x_d > x_q$.

Для неявнопольсного генератора $x_d = x_q$ і другий доданок потужності рівний нулю.

Якщо розділити електромагнітну потужність на швидкість обертання, то можна визначити електромагнітний момент машини:

$$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega} = \frac{P}{2\pi f} P_{em},$$

де ω – швидкість обертання ротора, рівна швидкості обертання магнітного поля, а f – частота змінного струму якоря СМ.

Питання для самоперевірки

1. Які існують основні конструкції СМ?
2. Що таке реакція якоря в СМ і як вона проявляється?
3. Що уявляє собою характеристика холостого ходу синхронного генератора?
4. Як визначається електромагнітна потужність синхронного генератора?
5. Що уявляють собою кутові характеристики синхронного генератора?
6. Як залежить ККД синхронного генератора від навантаження і коефіцієнта потужності приймачів?
7. Яка існує схема включення трифазного синхронного двигуна?
8. Що уявляють собою кутові характеристики синхронного двигуна?
9. Що уявляють собою характеристики синхронного двигуна?
10. Як можна визначити потужність синхронної машини?

Лекція 28-30

Тема лекції :ПРИНЦИП ДІЇ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. РІВНЯННЯ І ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

План лекції

1. Принцип дії машини постійного струму
2. Умови самозбудження генераторів
3. Загальні властивості машин постійного струму
4. Класифікація машин за способом збудження
5. Характеристики генераторів постійного струму з різними схемами збудження
6. Паралельна робота генераторів постійного струму

Література

- 1.Монтік П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.
- 2.Попов М. П. Основы электромеханики. Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1995. – 116 с.
- 3.Курілов В.І., Макаров І.Е., Попов М.П. Електромеханіка та електричні машини. К.: НАУ. –2003. – 152 с
- 4.Красношапка Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.

1. Принцип дії машини постійного струму

Електричною машиною постійного струму (МПС) називається такий електромеханічний перетворювач, який перетворює механічну енергію в електричну постійного струму (генератор), або електричну енергію постійного струму в механічну (двигун).

2. Умови самозбудження генераторів.

Для самозбудження генераторів повинні виконуватись умови:

- 1) в магнітній системі генератора повинен бути потік залишкового магнетизму;
- 2) магнітний потік, що створюється МПС збудження, повинен бути спрямований узгоджено з потоком залишкового магнетизму, тобто підсилювати останній;
- 3) опір кола збудження повинен бути меншим за критичний.

3. Загальні властивості машин постійного струму

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає принцип дії машини постійного струму?
2. Які існують умови самозбудження генераторів?
3. У чому полягають властивості машин постійного струму?
4. Як класифікуються машини за способом збудження?
5. У чому полягає робота машини постійного струму в режимі генератора?
6. Які існують характеристики генератора постійного струму?
7. У чому полягає паралельна робота генераторів постійного струму?

Лекція 31 - 32

Тема лекції: РІВНЯННЯ І ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

План лекції

1. Принцип дії двигуна постійного струму
2. Швидкісні та механічні характеристики двигуна постійного струму паралельного збудження
3. Швидкісні та механічні характеристики двигуна постійного струму послідовного збудження
4. Робота двигуна постійного струму змішаного збудження
5. Регулювання швидкості двигунів постійного струму

Література

- 1.Монтік П. М. Електротехніка та електромеханіка: Навчальний посібник – Львів: Новий Світ – 2000, 2007. – 497 с.
- 2.Попов М. П. Основы электромеханики. Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1995. – 116 с.
- 3.Курілов В.І., Макаров І.Е., Попов М.П. Електромеханіка та електричні машини. К.: НАУ. –2003. – 152 с
- 4.Красношапка Н.Д., Єнчев С.В. Електротехніка та електромеханіка. Конспект лекцій – К.: НАУ, 2010. – 62 с.

1. Принцип дії двигуна постійного струму.

Принцип дії двигуна постійного струму (ДПС) також заснований на законах електромагнітної індукції та електромагнітних сил.

При ввімкненні якоря двигуна до джерела постійного струму (рис. 1) і наявності магнітного потоку, що створюється індуктором, в провідниках секцій якорної обмотки починає протікати струм. У результаті взаємодії цього струму з магнітним полем індуктора виникають електромагнітні сили f_{np} , напрям яких у провідниках якорної обмотки, розташованими під різнойменними полюсами, однаковий. Оскільки ці сили прикладаються до рознесених від осі обертання провідників обмотки, то виникає електромагнітний момент, який викликає обертання якоря.

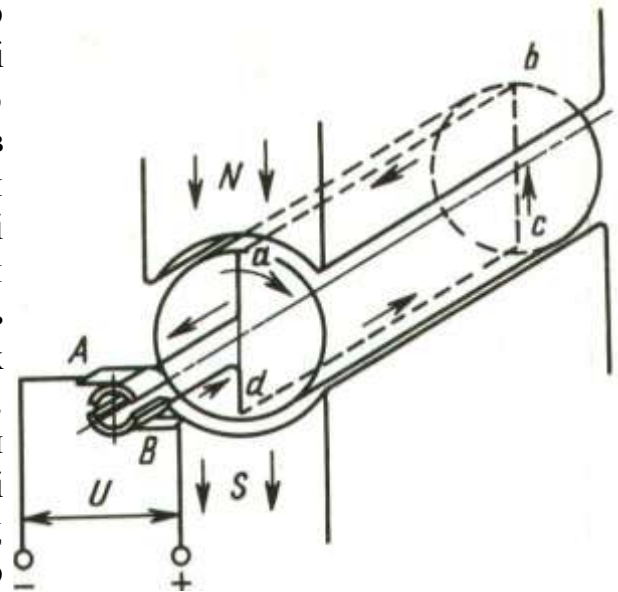


Рис. 1

$$\sum_{i=1}^N f_{npi} = i_{npi} l \sum_{i=1}^N B_{\delta i} = \frac{I}{2a} l N B_{\delta \text{сєр}} ;$$

$$M_{em} = \frac{D}{2} \sum_{i=1}^N f_{npi} = \frac{pN}{2\pi a} l \tau B_{\delta \text{сєр}} I = c \Phi I ,$$

де $I/2a$ – струм паралельної вітки, який дорівнює струму провідника;
 $\tau = \pi D/2p$ – полюсний поділ; $B_{\delta \text{сєр}}$ – середня величина магнітної індукції в повітряному зазорі.