1.3. Електричні кола однофазного змінного струму

Прочитайте і опрацюйте:

Л6, с. 90…114; Л10, с. 318…393.

Короткі теоретичні відомості та методичні вказівки:

1. Основні поняття і параметри синусоїдного струму.

Відомо, що у промисловості, сільському господарстві та побуті переважно використовується змінний струм. Причина полягає в тому, що застосовування змінного струму дає можливість ширше використовувати процеси перетворення енергії порівняно з постійним струмом завдяки явищу електромагнітної індукції.

З усіх можливих форм зміни струму вибрана синусоїдна форма. Переваги струму цієї форми:

- технічна простота одержання в промислових умовах;
- простота математичної інтерпретації, тобто складання математичних моделей електромагнітних процесів;
- повторюваність форми ЕРС джерела в струмах і напругах на всіх ділянках лінійного електричного кола.

Синусоїдні струми, напруги та ЕРС можуть бути зображені за допомогою

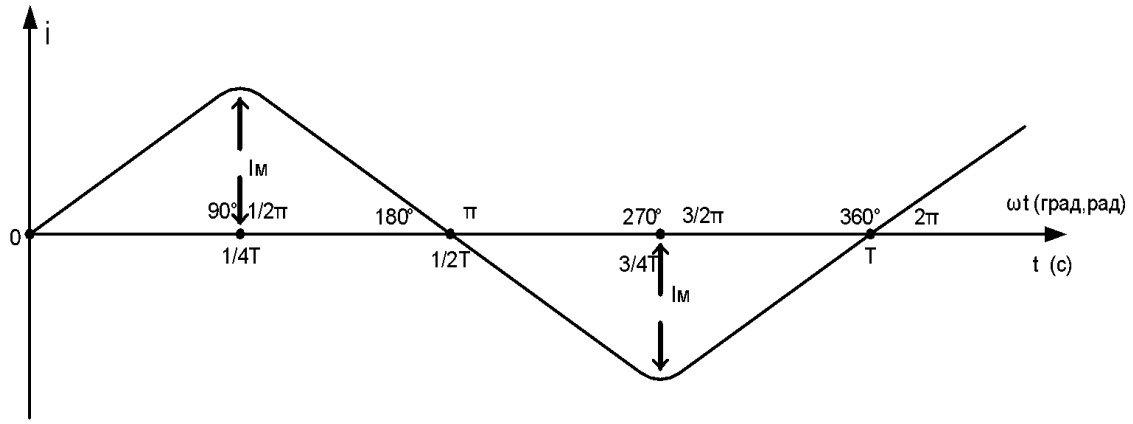

Рис.1.3.1

хвильового часового графіка у прямокутній системі координат (рис.1.3.1) Відрізок часу, за який здійснюється одна повна зміна синусоїдної величини, називається періодом T: [T] - с.

Величина, що дорівнює кількості періодів за одиницю часу, називається частотою f:

$$f = \frac{1}{T}, [f] = \frac{1}{c} - Гц \qquad (1.3.1)$$

Значення синусоїдної величини у будь-який момент часу називається *миттєвим* значенням і визначається формулами:

$$e = E_м \cdot \sin \omega t \;,\; i = I_м \cdot \sin \omega t \;,\; u = U_м \cdot \sin \omega t \qquad (1.3.2)$$

Найбільше з усіх миттєвих значень називається максимальним, або амплітудним значенням: *Ем, Iм, Uм.*

Кутове значення аргументу синусоїдної величини називається електричним або *фазовим кутом (фазою)* і відкладається по осі абсцис:

$$\beta = \omega t \rightarrow [\beta] - рад(град) \qquad (1.3.3)$$

Швидкість зміни фазового кута називається *кутовою частотою*:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, [\omega] - \frac{рад}{с} = с^{-1} \qquad (1.3.4)$$

Якщо в початковий момент часу значення синусоїдної величини не дорівнює нулю, його фазовий кут теж не дорівнює нулю. Значення фазового кута в початковий момент часу називається *початковою фазою – Ψ.*

Якщо розглянути дві синусоїдні величини однакової частоти з різними початковими фазами, то видно, що вони зсунуті відносно одна одної по горизонтальній осі (фазовій осі), тобто зсунуті по фазі.

Кутом зсуву фаз називається різниця початкових фаз двох синусоїдних величин однакової частоти:

$$\varphi = \psi_1 - \psi_2, [\varphi] - рад(град) \qquad (1.3.5)$$

На практиці немає потреби знати величину струму у якийсь момент часу. Але дуже важливо знати. Яку дію спричиняє струм у колі. Тому для практичної оцінки величини струму введено поняття про його *діюче значення.*

Діючим значенням змінного струму називається значення такого еквівалентного постійного струму, при якому за час одного періоду змінного струму в тому самому опорі виділяється така ж кількість тепла, що і при змінному струмі.

Діючі значення величин позначаються великими літерами без індексів:

I; U; E.

Діючі значення величин показують звичайні вимірювальні прилади.

У низці спеціальних електротехнічних розрахунків зручніше використовувати інший еквівалент змінного струму - середнє значення.

Середнім значенням змінного струму називається значення такого еквівалентного постійного струму, при якому за час половини періоду через поперечний переріз провідника проходить такий же електричний заряд, як і при змінному струмі.

2. Графічне зображення синусоїдальних величин.

Графічне зображення синусоїдальних величин за допомогою хвильового графіка - синусоїди дуже наочне, але складне в побудові і через те практично незручне. Тому його замінюють векторним зображенням.

Якщо довжина вектора дорівнює амплітуді синусоїди, а кут нахилу його до осі абсцис (Х) дорівнює фазовому куту синусоїди у вибраний момент часу, то проекція вектора на вісь ординат (У) дорівнює проекції синусоїди, яка, в свою чергу, дорівнює значенню величини у вибраному масштабі у відповідний момент часу. Щоб ці проекції дорівнювали одна одній у будь-який момент часу, треба обертати вектор проти годинникової стрілки (позитивний напрям) з кутовою швидкістю (ω), що дорівнює кутовій частоті синусоїдної величини. Зображення декількох величин векторами утворює векторну діаграму.

Векторною діаграмою називається графік, на якому дві або декілька синусоїдних величин однакової частоти зображені за допомогою обертових векторів в початковий момент часу.

Слід відмітити, що на векторній діаграмі величини можуть зображуватися не тільки їх амплітудним значенням, а й діючим, яке пропорційне амплітудному. Це звичайно зручніше при практичних розрахунках.

За допомогою обертових векторів можна додавати і віднімати синусоїдні величини.

3. Коло змінного струму з активним, індуктивним і ємнісним опорами.

Електричне коло змінного струму характеризується трьома параметрами: активним опором *R,* ємністю *C*, індуктивністю *L.* Лампи розжарювання, побутові електронагрівальні прилади та реостати мають активний опір. Трансформатор, який працює в режимі холостого ходу, можна розглядати як індуктивність *L,* а кабельну лінію без навантаження - як ємність *C*.

Необхідно пам’ятати, що в колі з активним опором напруга і струм співпадають по фазі і вектори напруги і струму мають однаковий напрямок (рис.1.3.2).

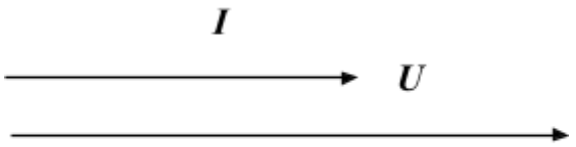

Рис.1.3.2.

В колі з індуктивністю напруга випереджає струм по фазі на кут 90°. На векторній діаграмі вектор напруги і струму зсунуті на кут 90°.

В колі з ємністю струм випереджає напругу на кут 90°. На векторній діаграмі вектори струму і напруги зсунуті на кут 90°, причому вектор струму випереджає вектор напруги (рис.1.3.4)

.

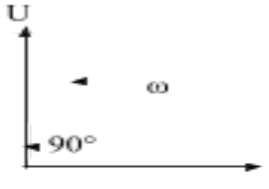

Рис.1.3.3

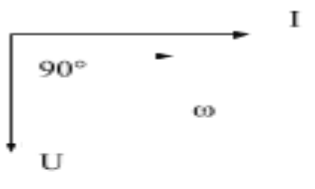

Рис.1.3.4

4. Коло змінного струму з послідовним з'єднанням активного, індуктивного й ємнісного опорів

Розглянемо послідовне коло з трьома елементами R, L, C (рис. 1.3.5.).

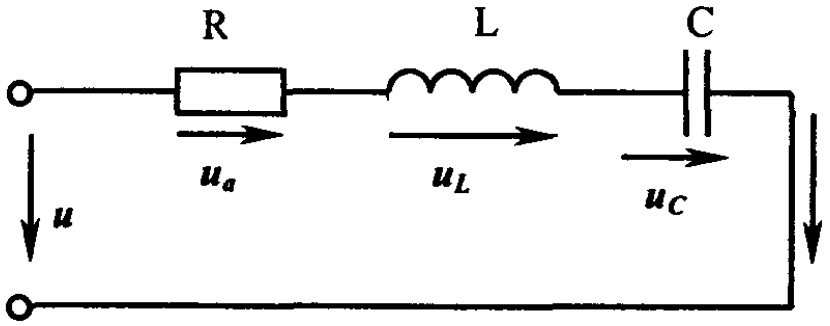

Рис. 25.1 102

Рис.1.3.5.

Якщо струм у колі синусоїдний

$$i = I_м \cdot \sin \omega t$$

то напруга теж буде синусоїдною і за другим законом Кірхгофа буде мати три складові (спади напруг на елементах кола):

$$U = U_R + U_L + U_C$$

Діючі значення напруг, як і амплітудні, визначаються за законом Ома:

$$U_R = I \cdot R; U_L = I \cdot X_L = \omega \cdot L \cdot I; U_c = I \cdot X_c = \left(\frac{1}{\omega \cdot C} \right) I \qquad (1.3.6.)$$

Формули, за якими можна визначити потужності будь-якого послідовного кола:

активна (середня) потужність (Вт):

$$P = U \cdot I \qquad (1.3.7)$$

реактивна потужність (вар) :

$$Q = Q_L - Q_C = U \cdot I \cdot \sin \varphi = U_P \cdot I = I^2 \cdot X; \qquad (1.3.8)$$

повна потужність (В·А):

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} = I^2 \cdot Z \qquad (1.3.9)$$

Коефіцієнт потужності :

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{r}{R} = \frac{U_R}{U} \qquad (1.3.10)$$

Очевидно, що реактивна потужність $Q = Q_L - Q_C$ є алгебраїчна величина. Вона буде позитивною, якщо коло має індуктивний характер, і негативною, якщо характер кола ємнісний.

5. Коло змінного струму з паралельним з'єднанням активного, індуктивного й ємнісного опорів.

Розглянемо схему паралельного з'єднання активного опору, котушки та конденсатора (рис. 1.3.6.).

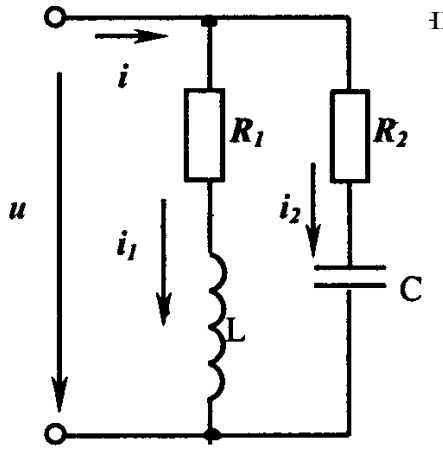

Рис. 26.1

Рис.1.3.6.

ні напруга на всіх ділянках кола однакова і струм у вітках визначається як при послідовному з'єднанні:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1}, \text{ де } Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{R_1^2 + (\omega \cdot L_1)^2} \qquad (1.3.11)$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2}, \text{ де } Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C_2}\right)^2} \qquad (1.3.12)$$

Для визначення загального струму (в нерозгалуженій частині кола) необхідно побудувати векторну діаграму. Застосовуємо для струмів метод складових - як для напруг у послідовному колі. Розкладемо умовно кожний струм на активну складову, що співпадає з напругою по фазі, та реактивну складову, що зсунута по фазі від напруги на кут ± 90°.

6. Коефіцієнт потужності та способи його підвищення.

Виробництво, як правило, споживає електричну енергію змінного струму, яка складається з активної та реактивної (індуктивного характеру) енергії. Активна енергія перетворюється в інші види енергії і витрачається на корисну роботу споживача та теплові втрати. Реактивна енергія індуктивного характеру, як відомо, пов'язана з енергією магнітного поля. Проходить безперервний з подвійною частотою обмін реактивною потужністю між джерелом і споживачем.

Коефіцієнт потужності характеризує, яку частину повної потужності кола становить активна потужність.

Будь-яке електричне обладнання характеризується:

1) номінальним струмом $I_н$, який при тривалому проходженні обумовлює гранично допустимий нагрів;

2) номінальною напругою $U_н$, на яку розраховане обладнання;

3) номінальною повною потужністю

$$S_н = U_н \cdot I_н \qquad (1.3.13)$$

Повне використання потужності генератора відбувається при номінальних напрузі та струмі і роботі з cos φ = 1, оскільки в цьому раз активна потужність найбільша і дорівнює номінальній повній потужності.

Генератор, що працює при номінальних напрузі і струмі, але при cos $\varphi \neq 1$, виробляє активну потужність, пропорційну cosφ. Виходить, ще зменшення cosφ, значення якого визначається приймачем енергії, зумовлює неповне використання генератора.

При постійній потужності Р приймача зменшення cosφ призводить до збільшення втрат на нагрів, які зростають обернено пропорційно квадрату коефіцієнта потужності.

Для повного використання номінальної встановленої потужності генератора і зменшення теплових втрат необхідно підвищувати cosφ установок до значень, близьких до одиниці (0,95-1).

Найбільш поширені у виробництві асинхронні трифазні електродвигуни мають коефіцієнт потужності 0,83-0,92 при номінальному навантаженні та 0,2-0,3 - при холостому ході. Отже, для підвищення cosφ споживачів необхідно вживати певних технічних заходів.

Всі способи підвищення cosφ можна умовно поділити на природні та штучні. До природних способів можна віднести конструкційні та технологічні.

Конструкційні:

1) при конструюванні електроустановок необхідно вибирати найбільш сучасне обладнання (з високим cosφ*);*

2) потужність електродвигунів слід вибирати найбільше наближеною до потужності робочої машини з урахуванням режиму її роботи.

Технологічні:

1) під час експлуатації не допускати холостого ходу електродвигунів та запобігати їх недовантаженню;

2) своєчасно та ретельно проводити технічне обслуговування електрообладнання.

Штучні:

під'єднання паралельно навантаженню компенсаційних конденсаторних батарей або електромашинних реакторів.