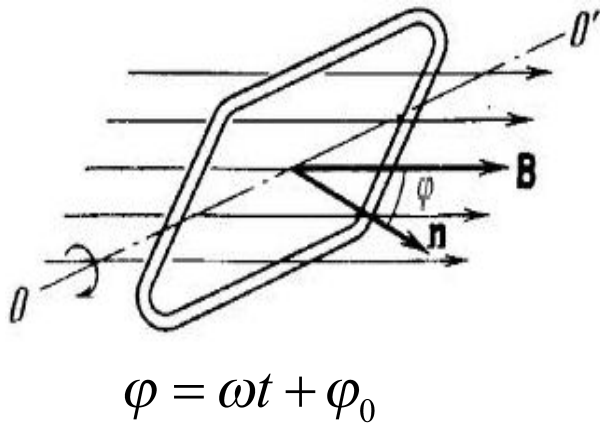


# Змінний електричний струм

1. Отримання змінного струму. Ефективне (діюче) значення змінного струму.
2. Активний опір, ємність та індуктивність у колі змінного струму.
3. Закон Ома для кола змінного струму.
4. Робота і потужність змінного струму.
5. Принцип роботи трансформатора.
6. Поняття про трифазний струм.

# Отримання змінного струму. Діюче значення змінного струму.

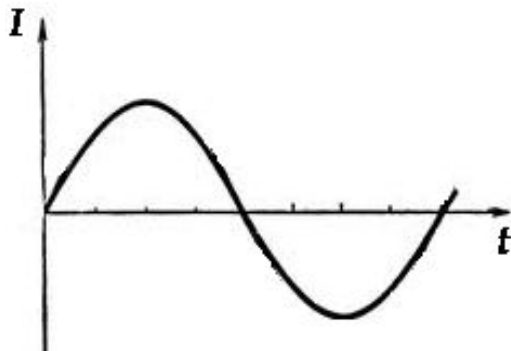


$$\Phi = BS \cos \varphi = \Phi_0 \cos \varphi - \text{Магнітний потік}$$

Е.р.с. індукції, що виникає в рамці

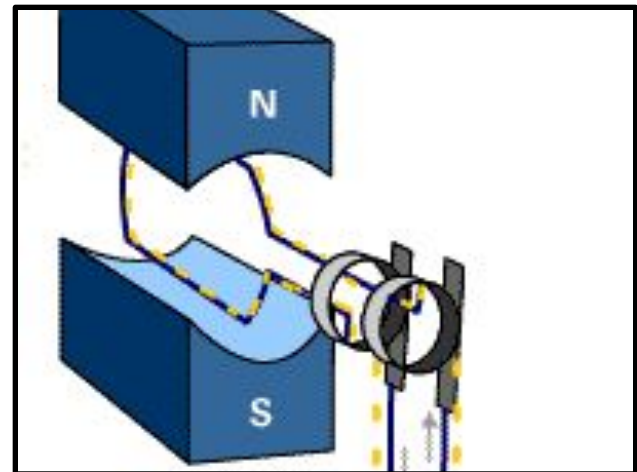
$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = \Phi_0 \omega \sin(\omega t + \varphi_0) = \varepsilon_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} \omega_0 (\omega t + \varphi_0) = I_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$$



Струм, що змінюється за законом синуса

## Генератор змінного струму



Величину постійного струму, при проходженні якого в провіднику з опором  $R$  протягом часу  $t$  виділяється така сама кількість теплоти  $Q$  як і при проходженні змінного, називають діючою або ефективною

При проходженні постійного струму, за час  $dt$  виділяється кількість теплоти

$$dQ = I_{ef}^2 R dt$$

$$Q = \int_0^T I_{ef}^2 R dt = I_{ef}^2 RT$$

Для змінного струму, що змінюється за законом  $I = I_0 \sin \omega t$

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^T I^2 R dt = I^2 RT = \int_0^T I_0^2 R \sin^2 \omega t dt = \int_0^T I_0^2 R \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt = \\ &= \frac{1}{2} \left[ I_0^2 RT - \frac{1}{\omega} \int_0^T \cos \omega t d(\omega t) \right] = \frac{1}{2} I_0^2 RT \end{aligned}$$

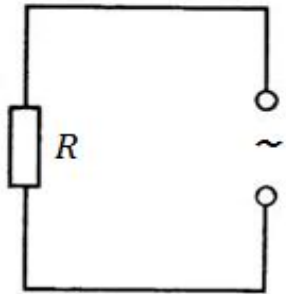
Діюче (ефективне) значення струму та напруги

$$I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0,707 I_0$$

$$U_{ef} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

# Активний опір, ємність та індуктивність у колі змінного струму.

*Опір в колі змінного струму.*

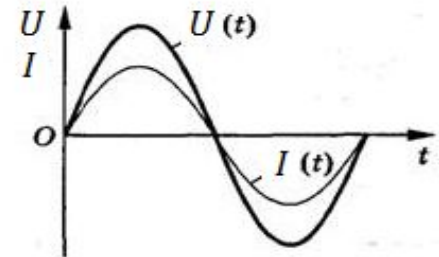


а

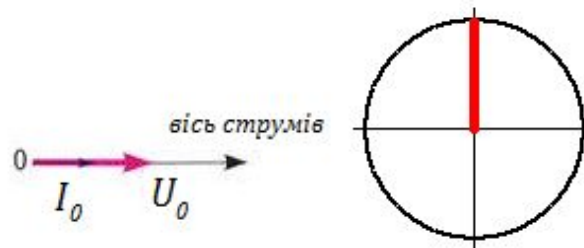
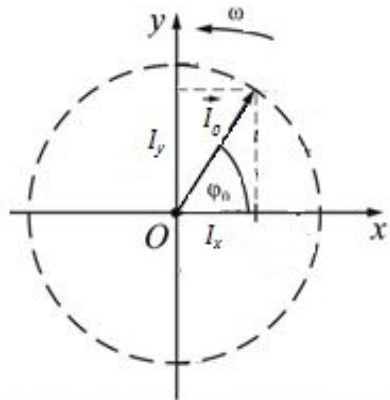
$$I = I_0 \sin \omega t$$

Напруга, згідно з законом Ома

$$U = IR = I_0 R \sin \omega t = U_0 \sin \omega t$$



б



Гармонічні коливання:

$$I_x = I_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$I_y = I_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Котушка індуктивності в колі змінного струму

Е.р.с. самоіндукції

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{dI}{dt}$$

Згідно закону Ома

$$U = IR - \mathcal{E}_s = -\mathcal{E}_s$$

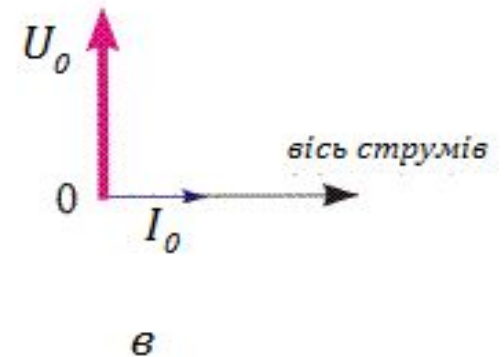
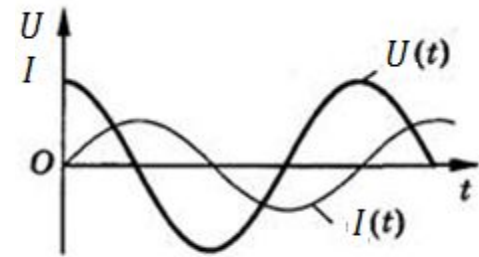
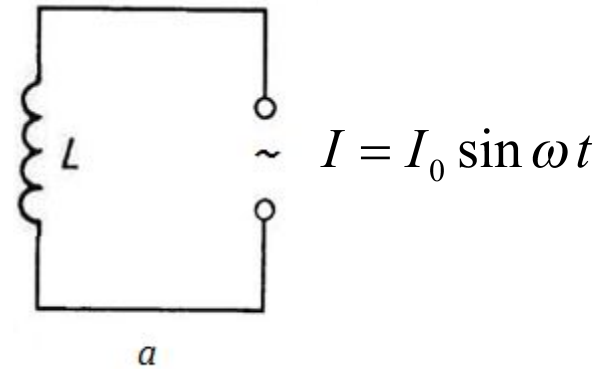
$$U = L \frac{dI}{dt} = \omega L I_0 \cos \omega t = U_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$U_0 = I_0 \omega L$$

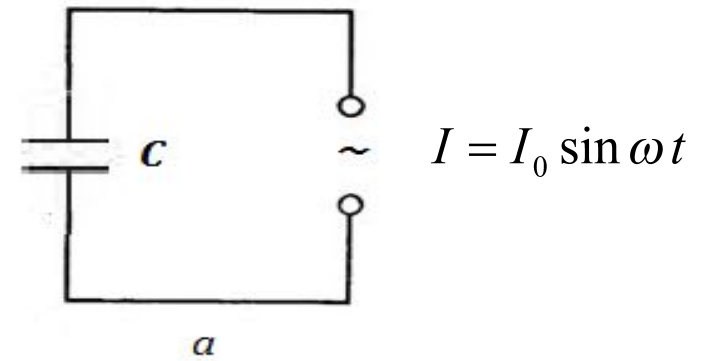
$X_L = \omega L$  - індуктивний опір котушки

Закон Ома для кола, в якому є тільки котушка індуктивності матиме вигляд:

$$I_0 = \frac{U_0}{X_L}$$



Конденсатор в колі змінного струму.

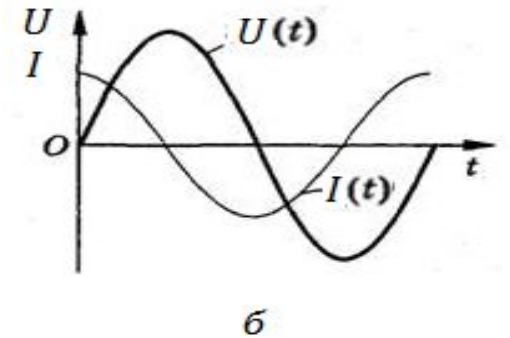


Заряд на конденсаторі

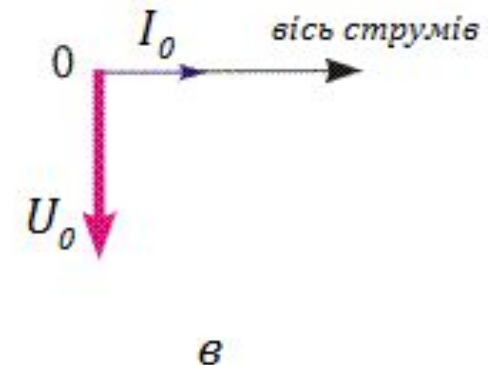
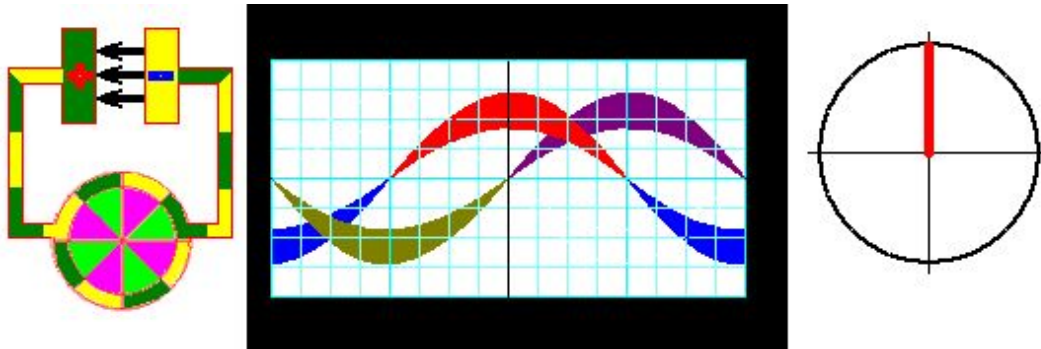
$$q = \int Idt = \int I_0 \sin \omega t dt = -\frac{I_0}{\omega} \cos \omega t$$

$$U = \frac{q}{C} = -\frac{I_0}{\omega C} \cos \omega t = \frac{I_0}{\omega C} \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

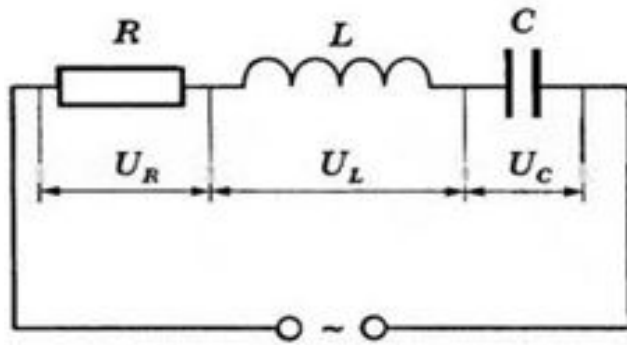
у колі з конденсатором напруга відстає за фазою від коливань струму на  $\frac{\pi}{2}$



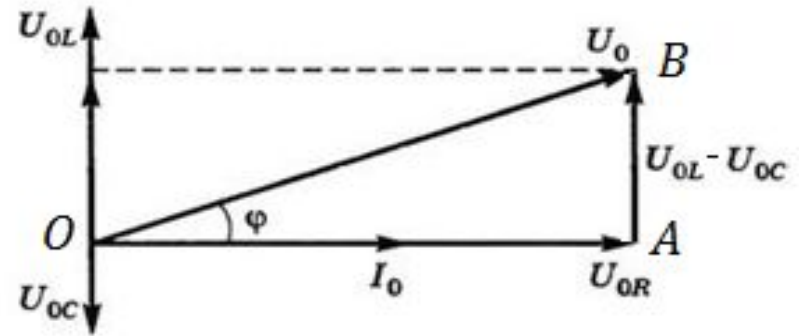
$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad \text{— емнісний опір конденсатора}$$



## Закон Ома для кола змінного струму.



а



б

Результуючий спад напруги визначається векторною сумою

$$\vec{U}_0 = \vec{U}_{0R} + \vec{U}_{0L} + \vec{U}_{0C} \quad U_0 = I_0 \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad \text{- Закон Ома для змінного струму}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad \text{- Імпеданс— повний опір кола змінного струму}$$

Зсув фаз між струмом і напругою визначається з векторної діаграми як

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

## Робота і потужність змінного струму.

$dA = UI dt$  - Елементарна робота струму

Між напругою і струмом існує зсув фаз:

$$I = I_0 \sin \omega t$$

$$U = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

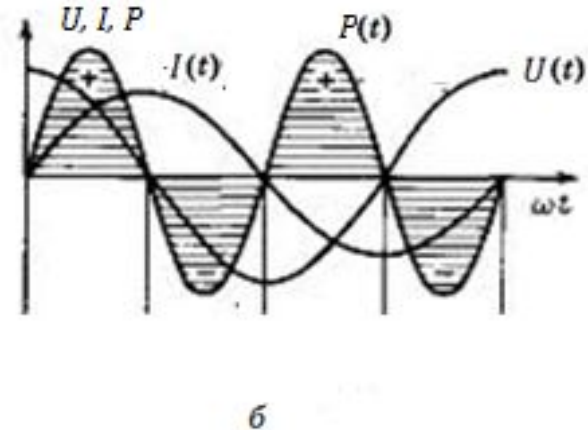
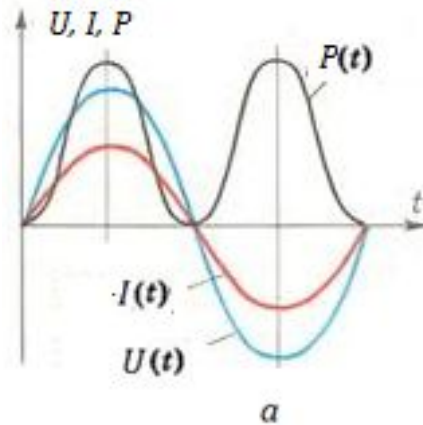
$$A = \frac{1}{2} U_0 I_0 T \cos \varphi$$

Робота струму за період

$$P = U_{\text{ef}} I_{\text{ef}} \cos \varphi$$

Середнє значення потужності

$$P(t) = UI = U_0 I_0 \sin^2 \omega t \quad \text{Миттєве значення потужності}$$





## Фізичний принцип роботи трансформатора.

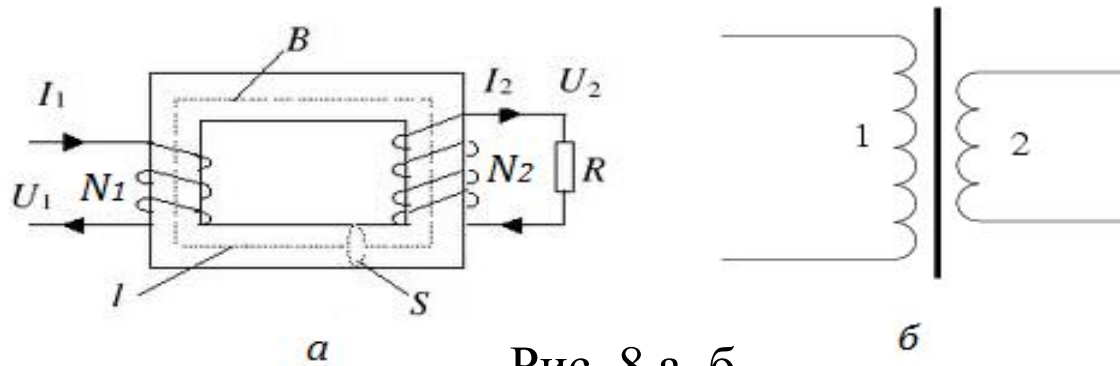


Рис. 8 а, б.

Створений струмом у первинній обмотці змінний магнітний потік спричинює е.р.с. індукції у первинній і вторинній обмотках:

$$\mathcal{E}_{1i} = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\mathcal{E}_{2i} = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

Напруга при цьому

$$U_1 = I_1 R_1 - \mathcal{E}_{1i} = I_1 R_1 + N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$U_2 = I_2 R_2 - \mathcal{E}_{2i} = I_2 R_2 + N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k \quad - \text{ коефіцієнт трансформації}$$

Потужність на первинній обмотці рівна потужності на вторинній, тому:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

## Поняття про трифазний струм

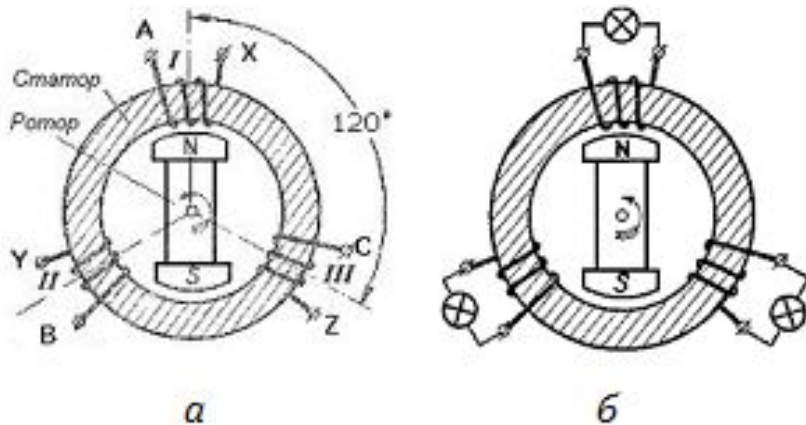


Рис. 8 а, б.

Кожна з обмоток є самостійним генератором змінного струму, електрорушійні сили що генеруються при обертанні ротора

$$\mathcal{E}_{AX} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$$

$$\mathcal{E}_{BY} = \mathcal{E}_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$\mathcal{E}_{CZ} = \mathcal{E}_0 \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

Струми змінюються за законами:

$$I_{AV} = I_0 \sin \omega t$$

$$I_{BY} = I_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$I_{CZ} = I_0 \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

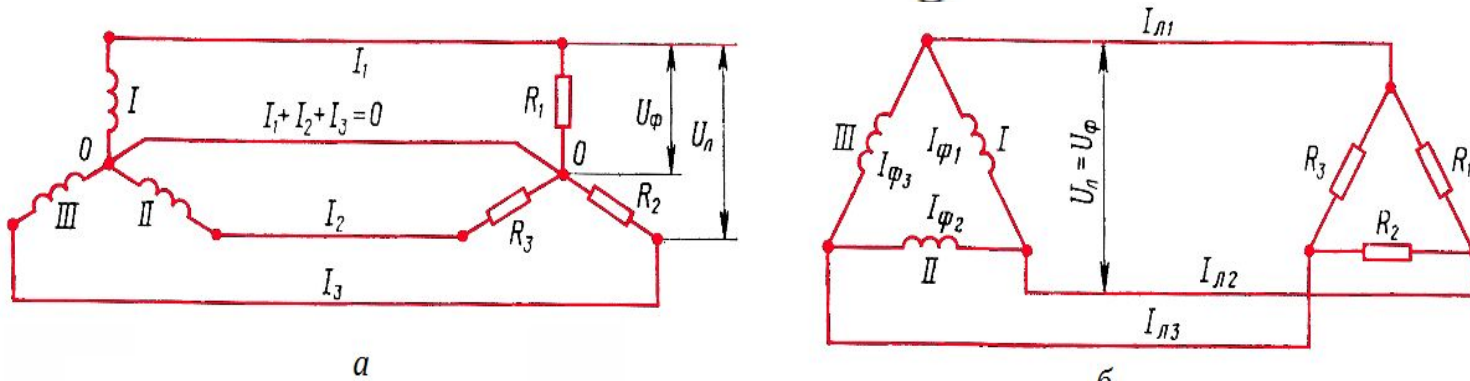


Рис. 9 а,б.

Між фазною і лінійною напругою, при з'єднанні зіркою існує співвідношення:

$$U_{л} = \sqrt{3} U_{\phi}$$

При з'єднанні трикутником:

$$U_{л} = U_{\phi}$$