ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

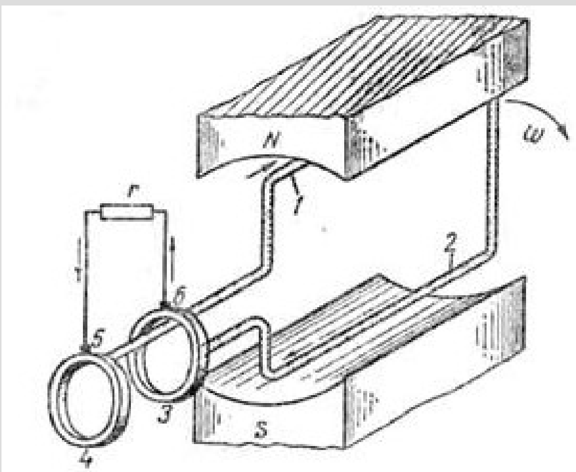
ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ І ФОРМИ УЯВЛЕННЯ СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

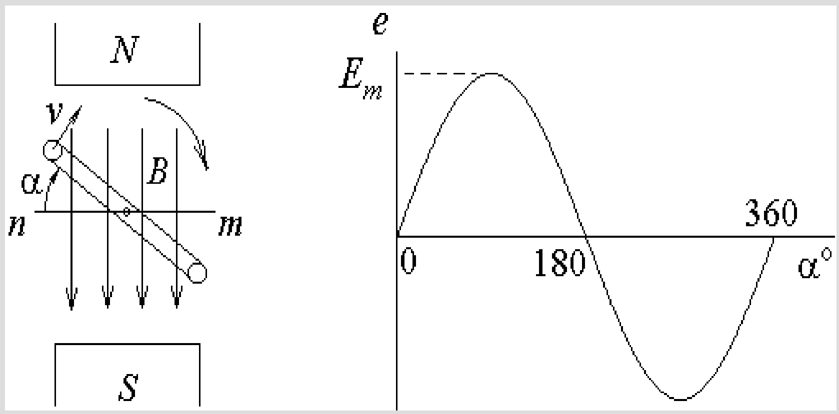
Під *змінним струмом* розуміють струм, значенням і напрямок якого періодично змінюються.

1. Змінний струм створити простіше, ніж постійний за допомогою електричних генераторів, ротор яких обертається стороннім приводом;
2. Змінний струм можна легко перетворити у струм іншої напруги за допомогою трансформаторів;
3. Змінний струм можна передавати на велику відстань з малими втратами.

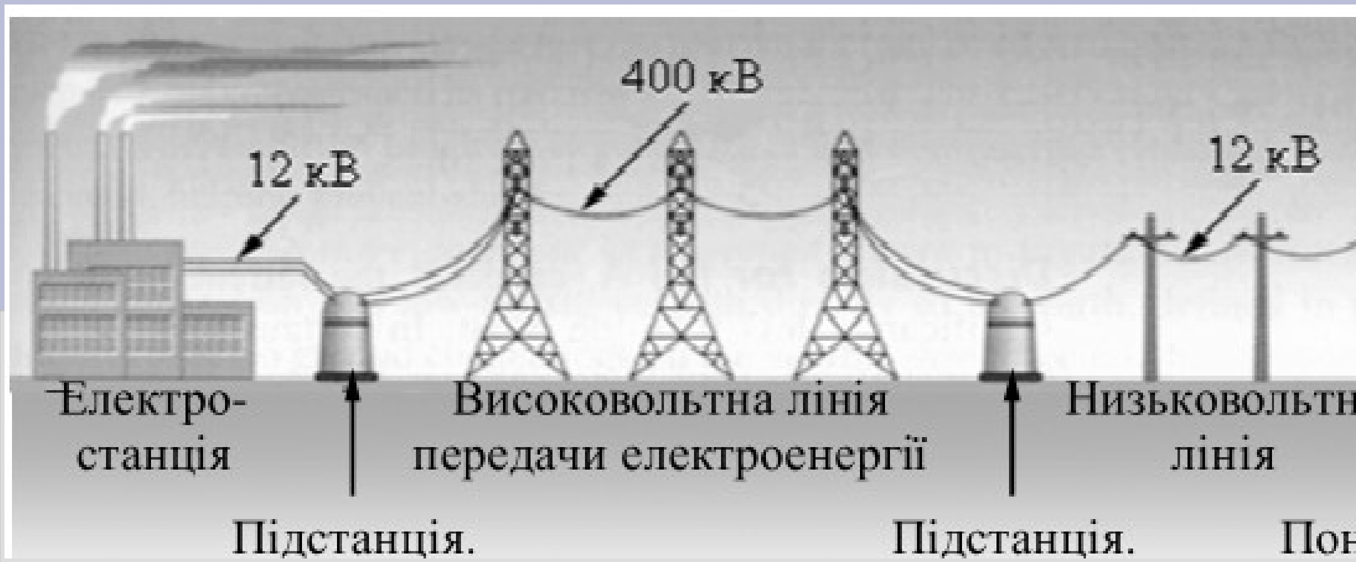
Найбільш поширеною формою змінного струму є синусоїдальна, оскільки:
1) найпростіше отримати таку форму струму;
2) відносна простота розрахунку кіл синусоїдального струму;
3) ККД електричних машин і пристроїв вище при синусоїдальному струмі.

$$e = Blv_n \qquad v_n = v \cdot \sin\alpha \qquad e = Blv\sin\alpha = E_m \sin\alpha \qquad E_m = Blv$$

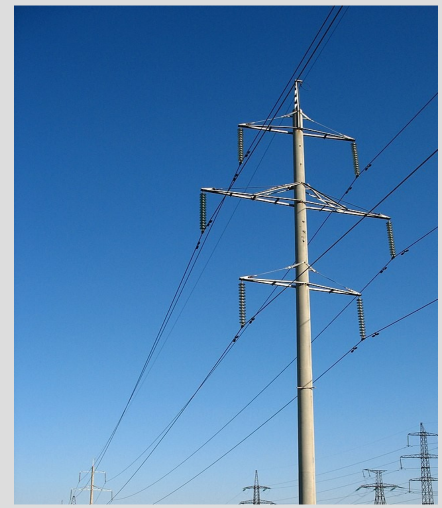




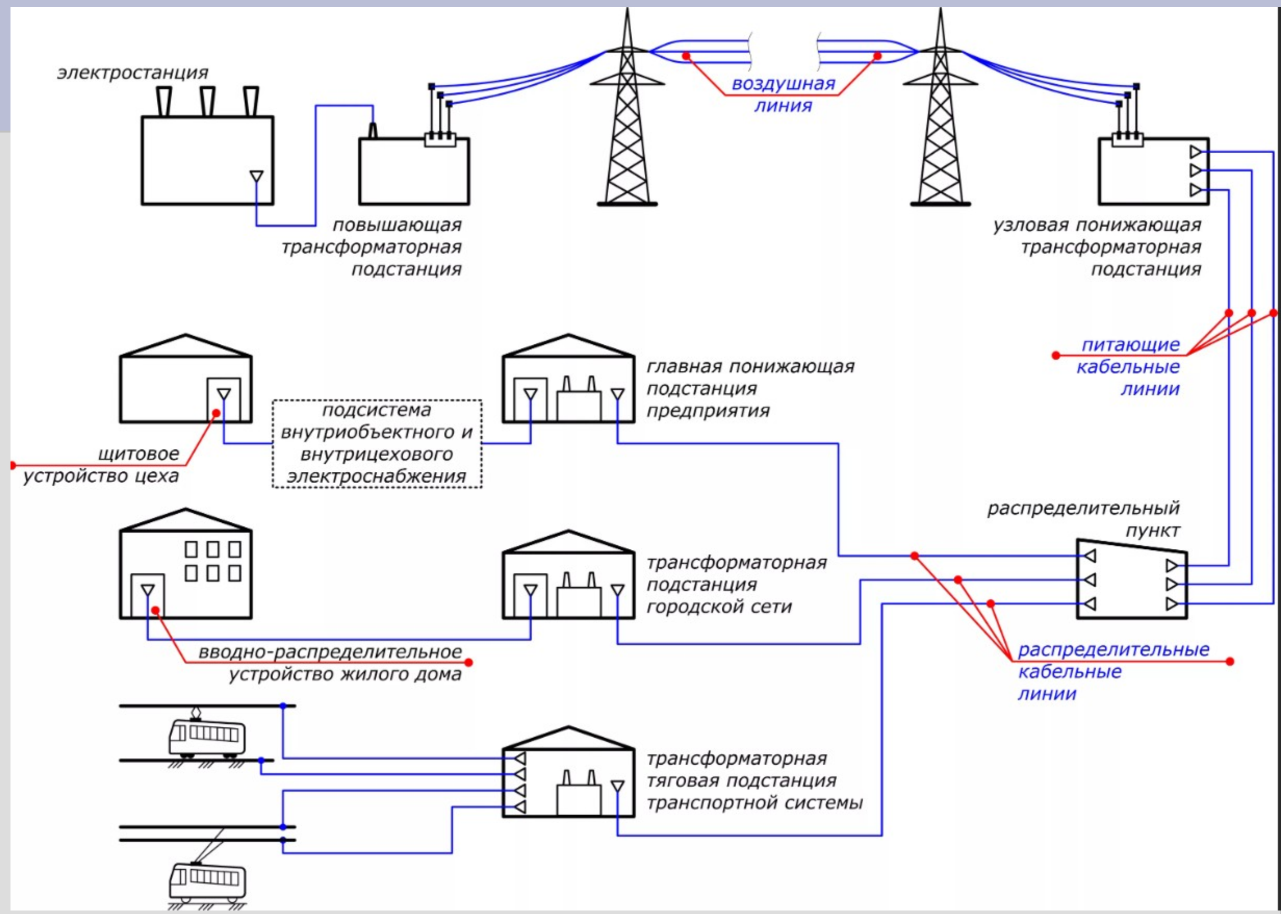
Модель генератора змінного струму (*а*)
та графік синусоїдальної ЕРС


400 кВ
12 кВ
12 кВ
Електро-
станція
Високовольтна лінія
передачи електроенергії
Низьковольтна
лінія
Підстанція.
Підстанція.
Пон


1
2
3
ЛЭП
переменного тока
А
1
2
5
6
ЛЭП
постоянного тока



Електрична підстанція — електроустановка, призначена для прийому, перетворення та розподілу електричної енергії, що складається з трансформаторів або інших перетворювачів електричної енергії, пристроїв керування, розподільчих та допоміжних пристроїв.



Комплектна трансформаторна підстанція (у сільській місцевості)

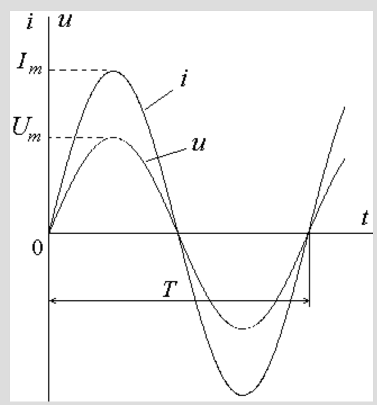
Форми подання синусоїдального струму:

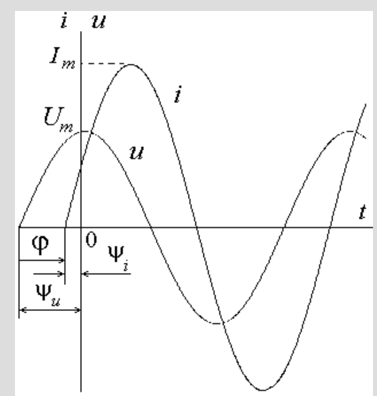
1) математична – у вигляді формул;
2) графічна – у вигляді графіків у часі;
3) векторна – у вигляді векторів;
4) символічна – у вигляді комплексних чисел.

$$u = U_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi_u\right); \quad i = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi_i\right)$$

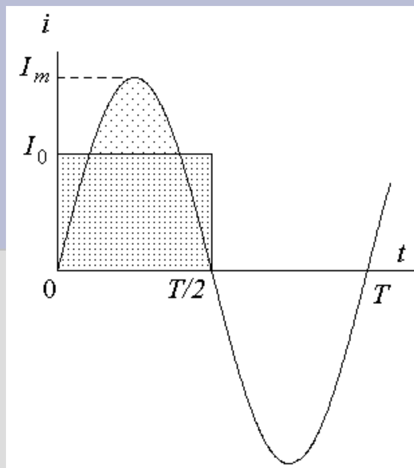
$$f = \frac{1}{T} \qquad \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \omega \qquad (\omega t + \psi_u) \qquad \psi_u, \psi_i$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i$$





Середнє значення змінного струму



$$I_0 \frac{T}{2} = \int_0^{T/2} i dt \qquad I_0 = \frac{\int_0^{T/2} i dt}{T/2} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i dt \qquad i = I_m \sin \omega t \qquad I_0 = -\frac{2}{T} \frac{I_m}{\omega} \cos \omega t$$

$$\omega T = 2\pi \qquad [\cos \pi] = -1 \qquad [\cos 0] = 1$$

$$I_0 = -\frac{2}{2\pi} I_m \left[\cos \frac{2\pi}{T} \frac{T}{2} - \cos 0 \right] = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0,637 I_m$$

$$I_0 = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0,637 I_m \qquad U_0 = \frac{2}{\pi} U_m \approx 0,637 U_m \qquad E_0 = \frac{2}{\pi} E_m \approx 0,637 E_m$$

Діюче значення змінного струму

Діюче значення змінного струму дорівнює такому значенню постійного струму *I*, яке в опорі *R* за час *t*=*T* виділяє таку ж кількість тепла *W*, як і даний змінний струм.

$$W_{\text{пост}} = I^2 R T \qquad W_{\text{змін}} = \int_0^T i^2 R dt \qquad W_{\text{пост}} = W_{\text{змін}} \qquad I^2 R T = \int_0^T i^2 R dt \qquad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

$$i = I_m \sin \omega t \qquad I = \sqrt{\frac{I_m^2}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt} \qquad \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

$$I = \sqrt{\frac{I_m^2}{2T} \int_0^T dt - \frac{I_m^2}{2T} \int_0^T \cos 2\omega t dt} \qquad I = \sqrt{\frac{I_m^2}{2T} T} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m \qquad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$$

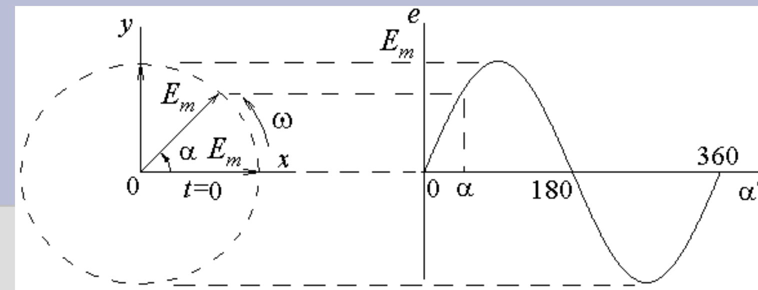
$$\int_0^T dt = T \qquad \int_0^T \cos 2\omega t dt = 0 \qquad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0,707 E_m$$

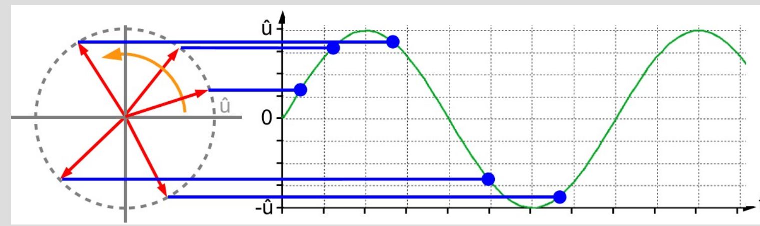
Для діючого значення напруги *U*=220 В, максимальне значення дорівнює $U_m \approx 311$ В.

Зображення синусоїдальних функцій векторами і комплексними числами

$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ У момент t=0 струм $i = I_m \sin \omega_i$

$\omega = \dfrac{2\pi}{T} = 2\pi f$ $e = E_m \sin \omega t$

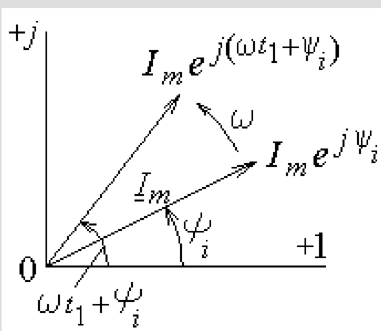


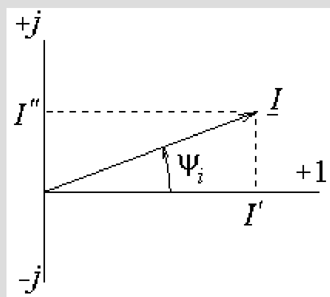


В момент часу t_1 вектор повернеться на кут ωt_1 і проекція струму на вертикальну вісь буде складати $I_m \sin(\omega t_1 + \psi_i)$.

$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ при t=0

відповідає комплексне число $\underline{I}_m = I_m e^{j\psi_i}$





ЕРС представляється вектором, що обертається проти годинникової стрілки з швидкістю ω

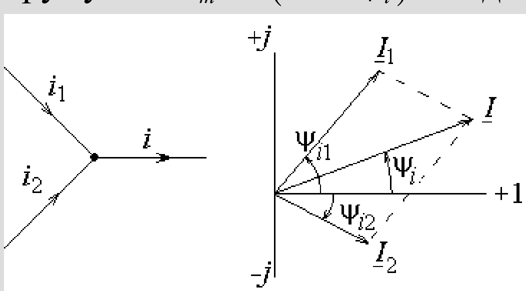
$\underline{I} = I_m e^{j\psi_i}$ - показова форма;

$\underline{I} = I_m(\cos\psi_i + j\sin\psi_i)$ - тригонометрична форма

$\underline{I} = I' + jI''$ - алгебраїчна форма

$\underline{I} = I_m e^{j\psi_i} = I_m(\cos\psi_i + j\sin\psi_i) = I' + jI''$

струму $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ відповідає вектор:



$\underline{I} = I_m e^{j\psi_i}$ $\underline{I} = \dfrac{I_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_i} = I e^{j\psi_i}$

$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \psi_1)$

$i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \psi_2)$

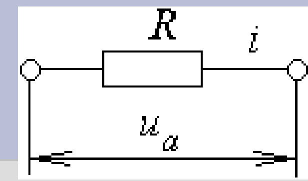
$i = i_1 + i_2$

Сукупність векторів на комплексній площині називають *векторною діаграмою*

ЕЛЕМЕНТИ КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ

Активний опір

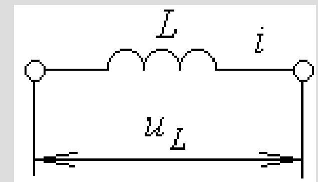
Активний опір *R* характеризує властивість елемента незворотне перетворювати електричну енергію у теплову. Активний опір є параметром резистивного елемента *R* в колі змінного струму



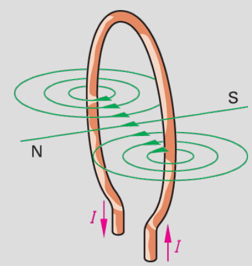
$$u_a = i \cdot R$$

Індуктивність

Індуктивність *L* характеризує властивість елемента електричного кола, наприклад, котушки індуктивності, під дією струму в ньому створювати власне магнітне поле:



$$L = \frac{\Psi}{i} \qquad W = \frac{L \cdot i^2}{2}$$

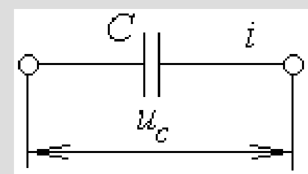


$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt} \qquad e_L = -L\frac{di}{dt} \qquad u_L = -e_L = L\frac{di}{dt}$$

Ємність

Ємність *C* характеризує властивість елемента електричного кола, наприклад, конденсатора, накопичувати електричні заряди і створювати електричне поле

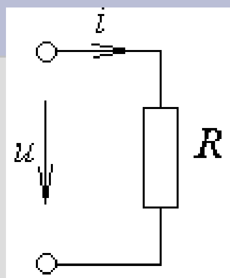
$$C = \frac{q}{u_C}$$



$$i = \frac{dq}{dt} \qquad q = C \cdot u_C \qquad i = \frac{d\left(C \cdot u_C\right)}{dt} = C\frac{du_C}{dt} \qquad u_C = \frac{1}{C}\int i\,dt$$

Співвідношення синусоїдальних струмів і напруги на ідеальних *R, L, C* – елементах

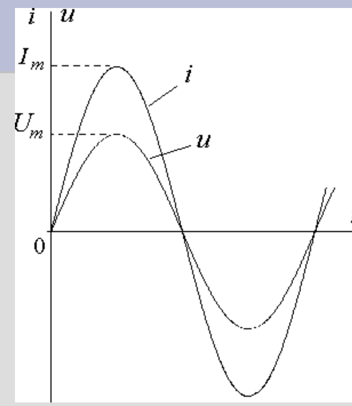
Коло змінного струму з ідеальним резистором

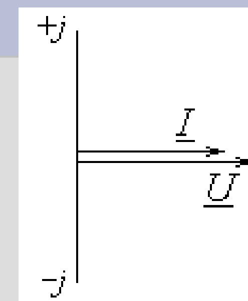


$$u = U_m \sin \omega t \qquad i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

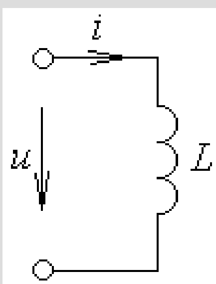
$$I_m = \frac{U_m}{R} \qquad I = \frac{U}{R} \qquad \varphi = 0$$

$$\psi_i = \psi_u, \qquad I e^{j\Psi_i} = \frac{U e^{j\Psi_u}}{R} \qquad \underline{I} = \frac{\underline{U}}{R}$$





Коло змінного струму з ідеальною котушкою індуктивності



$$u_L = -e_L = L\frac{di}{dt} \qquad i = \frac{1}{L}\int u dt = \frac{1}{L}\int U_m \sin \omega t dt = -\frac{U_m}{\omega L}\cos \omega t = \frac{U_m}{\omega L}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

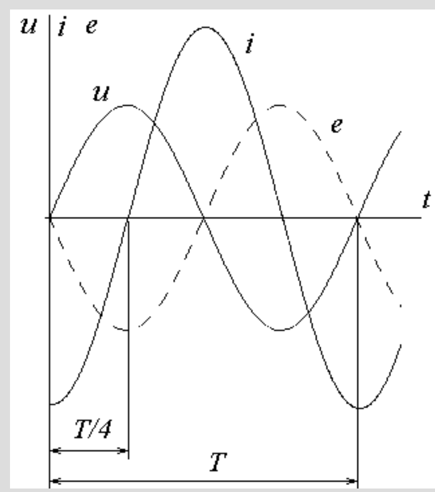
$$I_m = \frac{U_m}{\omega L} = \frac{U_m}{x_L} \qquad x_L = \omega L = 2\pi f L$$

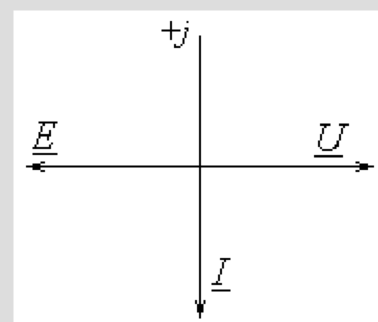
$$I = \frac{U}{\omega L} = \frac{U}{x_L}$$

$$e_L = -L\frac{di}{dt} = -u = -U_m \sin \omega t = E_m \sin \omega t$$

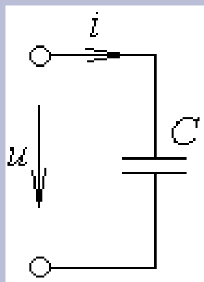
$$\underline{U}_L = U_L e^{j(\psi_i + 90^\circ)} = x_L I \cdot e^{j(\psi_i + 90^\circ)} = x_L I e^{j\Psi_i} e^{j90^\circ} = j x_L \underline{I}$$

$$e^{j90^\circ} = \cos 90^\circ + j \sin 90^\circ = j \qquad \underline{I} = \frac{\underline{U}}{j\omega L} = \frac{\underline{U}}{j x_L}$$



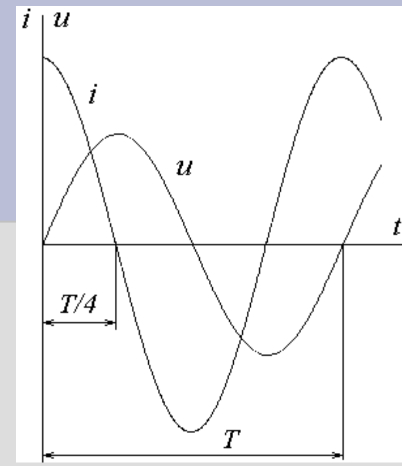


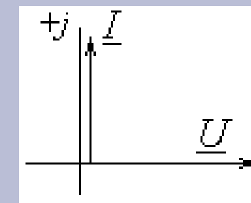
Коло змінного струму з ідеальним конденсатором



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

$$i = C\frac{du_C}{dt} = \omega C U_m \cos\omega t = \frac{U_m}{\dfrac{1}{\omega C}}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

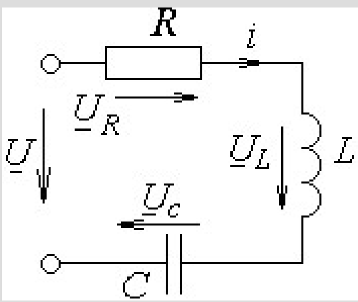




$$I_m = \frac{U_m}{\dfrac{1}{\omega C}} = \frac{U_m}{x_C} \qquad x_C = \frac{1}{\omega C} \qquad I = \frac{U}{\dfrac{1}{\omega C}} = \frac{U}{x_C}$$

$$\underline{U} = Ue^{j\left(\psi_i - \frac{\pi}{2}\right)} = x_C I^{j\left(\psi_i - \frac{\pi}{2}\right)} = Ie^{j\psi_i} x_C e^{-j\frac{\pi}{2}} = -jx_c\underline{I} \qquad \underline{I} = \frac{\underline{U}}{-j\omega C} = \frac{\underline{U}}{-jx_C}$$

Співвідношення синусоїдальних напруги і струмів у колі з послідовним з’єднанням ідеальних *R, L, C* – елементів

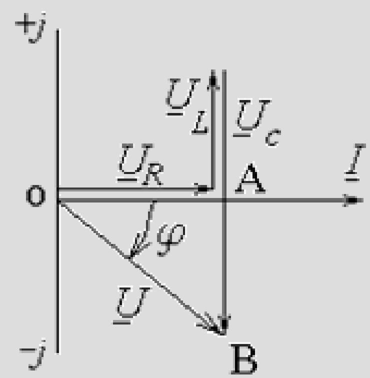


$$u = u_R + u_L + u_C = i \cdot R + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt$$

$$u = U_m \sin\left(\omega t + \psi_u\right)$$

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C = \underline{I}R + jx_L\underline{I} - jx_C\underline{I}$$

$$U^2 = U_R^2 + \left(U_L - U_C\right)^2 = \left(IR\right)^2 + \left(Ix_L - Ix_C\right)^2 = I^2\left[R^2 + \left(x_L - x_C{}^2\right)\right]$$

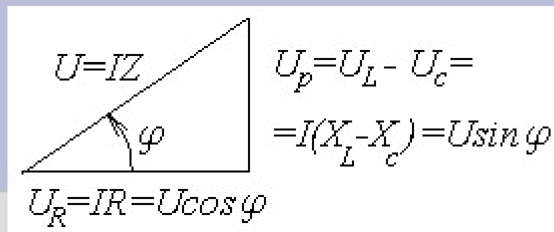


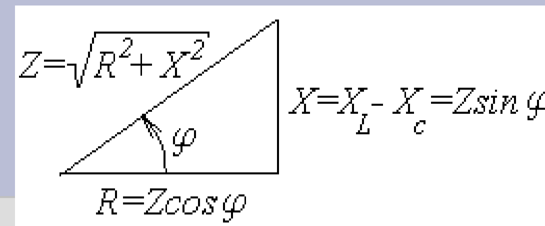
Закон Ома для кола змінного струму:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(x_L - x_C\right)^2}} = \frac{U}{z}$$

$$z = \sqrt{R^2 + \left(x_L - x_C\right)^2} \qquad z = \sqrt{\left(\sum R_k\right)^2 + \left(\sum x_{L_k} - \sum x_{Ck}\right)^2} \qquad X = X_L - X_C$$

Трикутник напруг та опорів електричного кола з послідовним з'єднанням ідеальних *R, L, C* - елементів





$$\varphi = arctg\frac{U_L - U_C}{U_a} = arctg\frac{X_L - X_C}{R} \qquad \cos\varphi = \frac{R}{Z}; \quad \sin\varphi = \frac{X_L - X_C}{Z}$$

Закони Кірхгофа для кіл синусоїдального струму

1-й закон Кірхгофа: *Алгебраїчна сума миттєвих значень струмів у вузлі дорівнює нулю.*

$$\sum_{k=1}^{n} i_k = 0$$

Алгебраїчна сума комплексних значень струмів у вузлі дорівнює нулю. Або геометрична сума векторів, що зображають струми у вузлі, дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^{n} \underline{I}_k = 0$$

2-й закон Кірхгофа: *Якщо кожна ділянка контуру електричного кола має R, L, C елементи, тоді миттєві значення ЕРС, діючі у замкненому контурі, дорівнюють алгебраїчній сумі миттєвих значень падінь напруги на ділянках цього контуру*:

$$\sum_{k=1}^{n} e_k = \sum_{k=1}^{m}\left(i_k R_k + L_k\frac{di_k}{dt} + \frac{1}{C_k}\int i_k dt \right)$$

Сума комплексних значень ЕРС, діючих у замкненому контурі, дорівнює сумі комплексних значень падінь напруги на ділянках цього контуру:

$$\sum_{k=1}^{n} \underline{E}_k = \sum_{k=1}^{m} \underline{I}_k \underline{Z}_k$$

Активні, реактивні і повні провідності кола

$G = 1/R$

Комплексна провідність кола в показовій формі $\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{Ze^{j\varphi}} = \frac{1}{Z}e^{-j\varphi} = Ye^{-j\varphi}$

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{R + jX} = \frac{1}{R + jX} \cdot \frac{R - jX}{R - jX} = \frac{R - jX}{R^2 + X^2} = \frac{R}{R^2 + X^2} - j\frac{X}{R^2 + X^2} = \frac{R}{Z^2} - j\frac{X}{Z^2} = G - jB$$

$G = \frac{R}{R^2 + X^2} = \frac{R}{Z^2}$ – активна провідність кола

$B = \frac{X}{R^2 + X^2} = \frac{X}{Z^2}$ – реактивна провідність кола

При $X = X_L - X_C > 0$ реактивна провідність $B > 0$, а при $X = X_L - X_C < 0$ реактивна провідність $B < 0$

$X = X_L - X_C$ $\quad B = \frac{X_L - X_C}{Z^2} = \frac{X_L}{Z^2} - \frac{X_C}{Z^2} = B_L - B_C$ $\quad B_L$, B_C – відповідно індуктивна та ємнісна провідності.

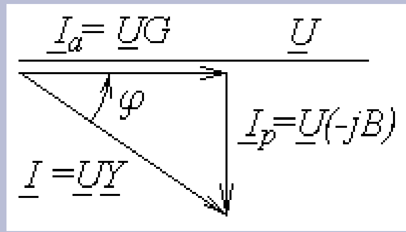
$$\underline{Y} = G - jB = G - j(B_L - B_C)$$

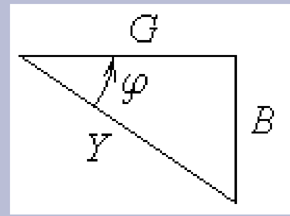
Закон Ома: $\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \underline{U}\,\underline{Y}$ $\quad \underline{I} = \underline{U}\,\underline{Y} = \underline{U}(G - jB) = \underline{U}G - j\underline{U}B = \underline{I}_a + \underline{I}_p$

$\underline{I}_a = \underline{U}G$ – активна складова струму I

$\underline{I}_p = j\underline{U}B$ – реактивна складова струму I

Векторна діаграма електричного кола





$$G = Y\cos\varphi;\quad B = Y\sin\varphi;\quad Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

ЕНЕРГІЯ І ПОТУЖНІСТЬ У КОЛАХ СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

$i = I_m \sin\omega t$ $\quad \psi_i = 0$ $\quad \varphi = \psi_u - \psi_i$ $\quad \psi_u = \varphi$.

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

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

$$U_m I_m = \sqrt{2}U\sqrt{2}I = 2UI$$

$$\sin(\omega t + \varphi)\cdot\sin\omega t = \frac{1}{2}\left[\cos(\omega t + \varphi - \omega t) - \cos(\omega t + \varphi + \omega t)\right] = \frac{1}{2}\left[\cos\varphi - \cos(2\omega t + \varphi)\right]$$

$$p = UI\cos\varphi - UI\cos(2\omega t + \varphi)$$

- миттєва потужність кола змінного струму складається з двох складових: постійної величини та гармонійної складової, яка змінюється з подвоєною кутовою частотою

Енергія, що надходить у коло, визначається середнім значенням потужності за період:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T UI\cos\varphi\,dt - \frac{1}{T}\int_0^T UI\cos(2\omega t + \varphi)\,dt$$

$$\frac{1}{T}\int_0^T UI\cos(2\omega t + \varphi)\,dt = 0 \qquad P = UI\cos\varphi$$

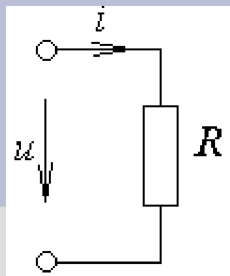
Із трикутника напруг $U\cos\varphi = IR$, тому середнє значення потужності за період є активною потужністю

$$P = UI\cos\varphi = I^2 R$$

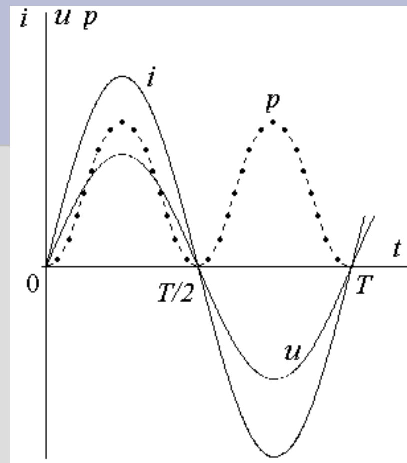
Коло з ідеальним резистивним елементом

$$p = UI\cos\varphi - UI\cos\left(2\omega t + \varphi\right)$$

$$P = UI\cos\varphi$$



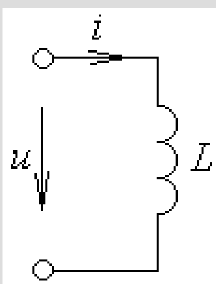
φ = 0 $\quad p = ui = UI\left(1 - \cos 2\omega t\right) = UI - UI\cos 2\omega t$



$$W = \int_0^{T/2} p\,dt = \int_0^{T/2} ui\,dt = \int_0^{T/2} ir \cdot i\,dt = I^2 R \frac{T}{2}$$

електрична енергія джерела на активному елементі перетворюється в теплову

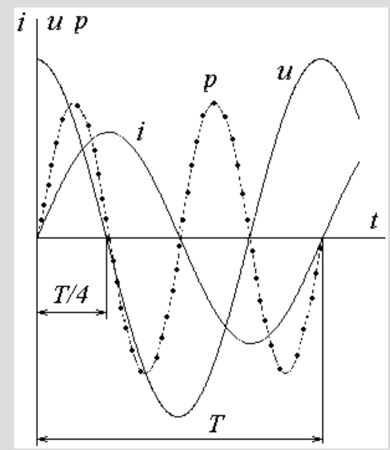
Коло з ідеальним індуктивним елементом



φ= π/2 $\quad P = \frac{1}{T}\int_0^T p\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T UI\cos\varphi\,dt - \frac{1}{T}\int_0^T UI\cos\left(2\omega t + \varphi\right)dt$

$$p = -UI\cos\left(2\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = UI\sin 2\omega t$$

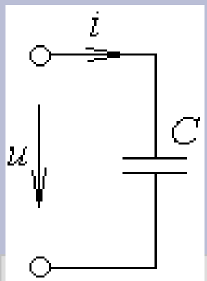
$$W = \int_0^{T/4} p\,dt = \int_0^{T/4} ui\,dt = \int_0^{T/4} L\frac{di}{dt} i\,dt = L\int_0^{I_m} i\,di = \frac{LI_m^2}{2}$$



часу t=0 відповідає струм i=0; часу $t=T/4$ відповідає струм $i=I_m$

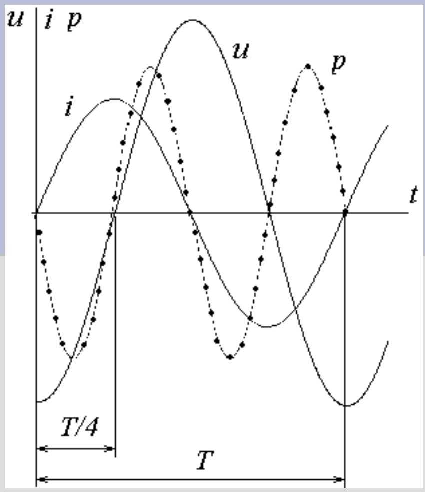
енергія, що надходить у коло з ідеальним індуктивним елементом, перетворюється в енергію магнітного поля

Коло з ідеальним ємнісним елементом



φ= -π/2 $p = -UI\cos\left(2\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = -UI\sin 2\omega t$

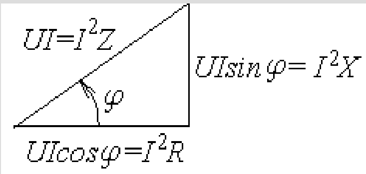
$$W = \int_0^{T/4} p dt = \int_0^{T/4} u i dt = \int_0^{T/4} u \cdot C \frac{du}{dt} dt = C \int_{-U_m}^{0} u du = \frac{CU_m^2}{2}$$

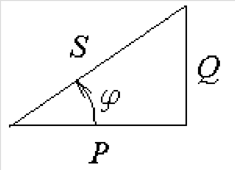


часу t=0 відповідає напруга $u=-U_m$; часу $t=T/4$ відповідає напруга u=0

енергія, що надходить у коло з ідеальним ємнісним елементом, перетворюється в енергію електричного поля

Повна, активна і реактивна потужності





Активна потужність, яка перетворюється у тепло або механічну роботу, Вт:

$$P = I^2 R = UI\cos\varphi$$

Реактивна потужність, яка витрачається на створення магнітних і електричних полів в реактивних *L*, *C* елементах, а потім повертається до джерела, вар:

$$Q = I^2 X = I^2 X_L - I^2 X_C = UI\sin\varphi$$

Повна потужність, ВА: $S = UI = I^2 Z = \sqrt{P^2 + Q^2}$

$P = S\cos\varphi$ $Q = S\sin\varphi$

Коефіцієнт потужності $\cos\varphi = \dfrac{P}{S}$

Потужність у символічній формі

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

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

У комплексній формі $\underline{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_u} = Ue^{j\psi_u}$ $\quad \underline{I} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_i} = Ie^{j\psi_i}$

комплексно спряжене значення струму $\underline{I}^* = Ie^{-j\psi_i}$ $\quad \varphi = \psi_u - \psi_i$

$$\underline{U}\,\underline{I}^* = Ue^{j\psi_u} \cdot Ie^{-j\psi_i} = UIe^{j(\psi_u - \psi_i)} = UIe^{j\varphi} = UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi = P + jQ = \underline{S}$$

$$\underline{S} = \underline{U}\,\underline{I}^* = P + jQ$$

Рівняння балансу потужностей

Баланс потужностей для електричних кіл змінного струму складається окремо для активних і окремо для реактивних потужностей.

В електричному колі сума активних (реактивних) потужностей, що віддає джерело, дорівнює сумі активних (реактивних) потужностей, що споживають приймачі.

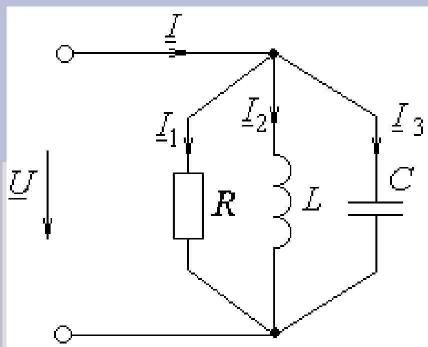
Для активних потужностей (реальна частина комплексу повної потужності)

$$\sum_{k=1}^{n} \mathrm{Re}\left(\underline{E}_k \underline{I}_k^*\right) = \sum_{k=1}^{m} \mathrm{Re}\left(\underline{U}_k \underline{I}_k^*\right)$$

для реактивних потужностей (мнима частина комплексу повної потужності)

$$\sum_{k=1}^{n} \mathrm{Im}\left(\underline{E}_k \underline{I}_k^*\right) = \sum_{k=1}^{m} \mathrm{Im}\left(\underline{U}_k \underline{I}_k^*\right)$$

Електричне коло з паралельним з’єднанням ідеальних *R, L, C* елементів



$$\underline{I}_1=\frac{\underline{U}}{R};\quad \underline{I}_2=\frac{\underline{U}}{jX_L};\quad \underline{I}_3=-\frac{\underline{U}}{jX_C}$$

$$\underline{Y}=G-j\left(B_L-B_C\right)$$

$$\underline{I}=\underline{I}_1+\underline{I}_2+\underline{I}_3$$

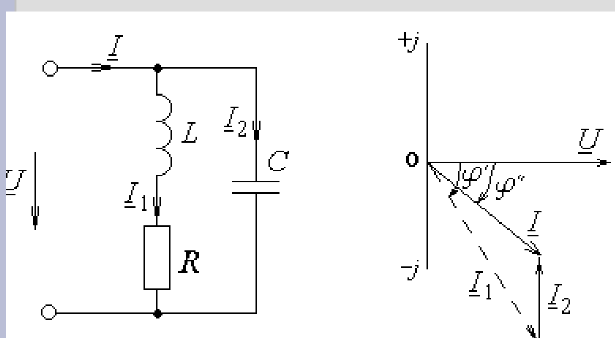
$$\underline{I}_1=G\underline{U};\quad \underline{I}_2=-jB_L\underline{U};\quad \underline{I}_3=jB_C\underline{U}$$

$\underline{I}_a=\underline{I}_1=G\underline{U}$ – активна складова струму

$\underline{I}_p=\underline{I}_2+\underline{I}_3=-j\left(B_L-B_C\right)\underline{U}=-jB\underline{U}$ – реактивна складова струму

$\underline{I}=\underline{I}_a+\underline{I}_p \qquad I=\sqrt{I_a^2+I_p^2}$

Підвищення коефіцієнту потужності



Значне зниження *cos*φ в колах змінного струму призводе до негативних наслідків, насамперед, до неповного використання в електричних мережах установленої потужності генераторів електростанцій та силових трансформаторів.

Для підвищення *cos*φ до кола з активно-індуктивними елементами, що є типовим для багатьох споживачів, паралельно підключають компенсаційний конденсатор *C*, це забезпечує

- зменшення зсуву фаз між струмом джерела і його напругою φ’>φ”;
- підвищення коефіцієнта потужності кола $\cos\varphi$
- зменшенн струму джерела $I < I^1$

Це дозволяє зменшити втрати в провідниках, що з’єднують джерело зі споживачем, та зменшити поперечний перетин цих провідників, заощаджуючи матеріальні ресурси.

Практично економічним та вигідним є підвищення коефіцієнта потужності електроустаткування до 0,95

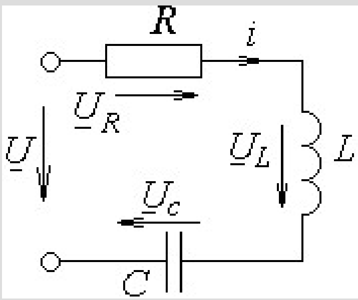
Резонансні явища в електричних колах змінного струму

Під резонансом розуміють такий режим, в якому опір кола з *R, L, C* елементами відносно джерела є чисто активним. При цьому φ = 0, струм і напруга співпадають по фазі, реактивна потужність, тобто коло споживає тільки активну потужність

$$Q = UI\sin\varphi = 0$$

Резонанс напруг

Резонанс напруг можливий у колі з послідовним з'єднанням *R, L, C*



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

Якщо X_L=X_C , то *Z*=*R* і опір кола буде чисто активним

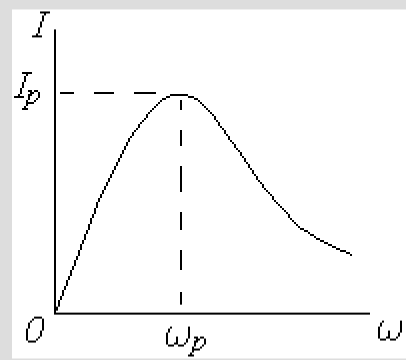
Умова резонансу напруг $\boxed{X_L = X_C,}$ $\qquad \omega L = \dfrac{1}{\omega C}$

резонансна частота $\omega_p = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} \qquad f_p = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

При резонансі напруг опір кола стає мінімальним, а струм набуває максимального значення

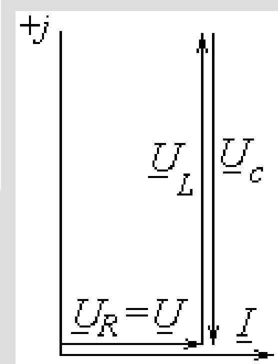
$$I_p = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R}$$

$$I_p X_L = I_p X_C \qquad U_L = U_C \qquad \underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C \qquad U = U_R$$



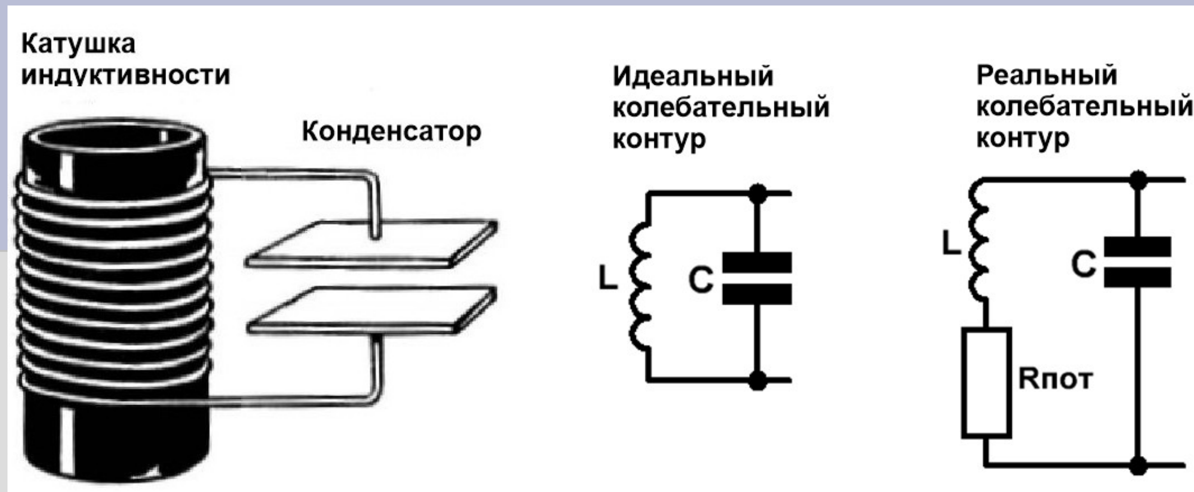
Резонанс напруг можна отримати, змінюючи один з параметрів ω, *L, C*.

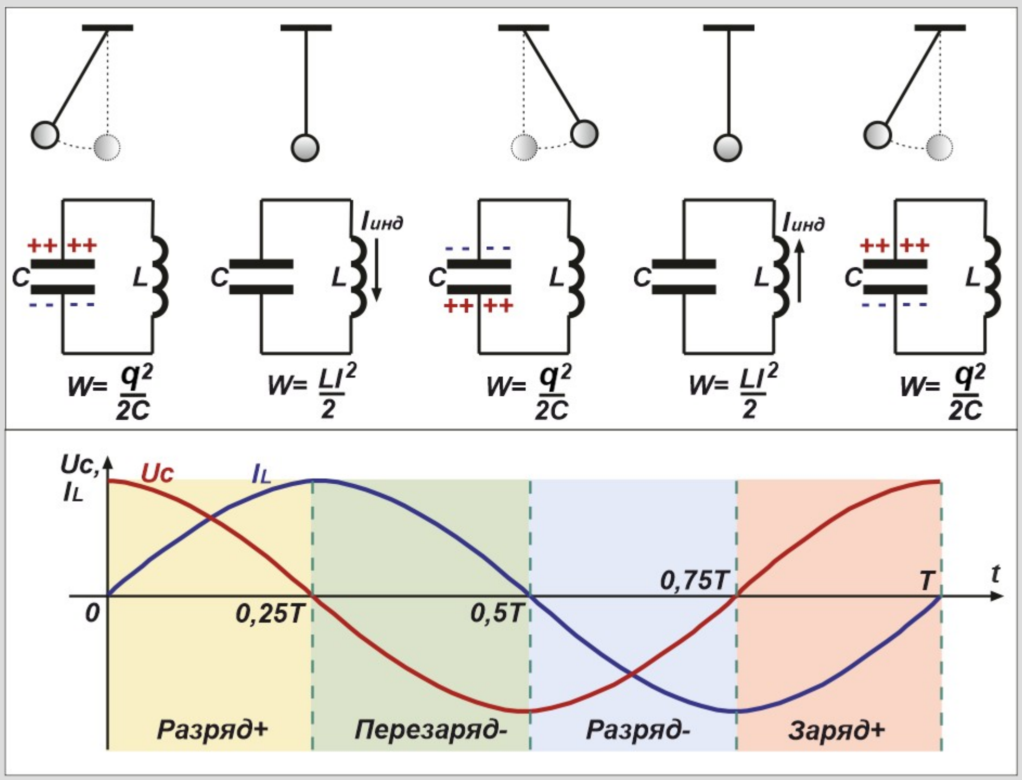
$$U_L = U_C = I_p X_L = I_p X_C = \frac{U}{R} X_L = \frac{U}{R} X_C$$



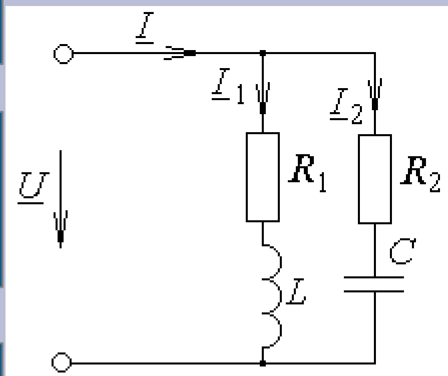
добротність резонансного контуру $Q = \dfrac{U_L}{U} = \dfrac{U_C}{U} = \dfrac{U}{R \cdot U}\omega L = \dfrac{X_L}{R} = \dfrac{X_C}{R}$

При підстановці $\omega_p = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} \qquad Q = \sqrt{\dfrac{L}{C}} \Big/ R$


Катушка индуктивности
Конденсатор
Идеальный колебательный контур
L
C
Реальный колебательный контур
L
C
Rпот


C
L
Iинд
W= q²/2C
W= LI²/2
Uc, IL
Uc
IL
t
0
0,25T
0,5T
0,75T
T
Разряд+
Перезаряд-
Разряд-
Заряд+

Резонанс струмів



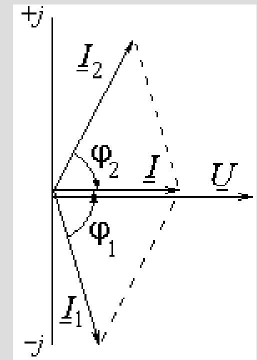
Резонанс струмів можливий на ділянці електричного кола змінного струму, яка має паралельно з'єднані індуктивний та ємнісний елементи.

При наявності в вітках активних опорів R_1 та R_2

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = \underline{Y}_1\underline{U} + \underline{Y}_2\underline{U} = \underline{U}\left(G_1 - jB_1\right) + \underline{U}\left(G_2 + jB_2\right) = \underline{U}\left[\left(G_1 + G_2\right) - j\left(B_1 - B_2\right)\right]$$

Для того, щоб вхідна напруга співпадала за фазою зі струмом, тобто щоб відбувся резонанс струмів, необхідно, щоб реактивна провідність кола дорівнювала нулю

$$B = B_1 - B_2 = 0$$



умовою резонансу струмів є рівність між індуктивною та ємнісною провідностями паралельних віток

$$\frac{X_L}{R_1^2 + X_L^2} = \frac{X_C}{R_2^2 + X_C^2}$$

φ=0

$$\frac{\omega L}{R_1^2 + \omega^2 L^2} = \frac{\dfrac{1}{\omega C}}{R_2^2 + \dfrac{1}{\omega^2 C^2}}$$

Якщо активні опори віток істотно менше за реактивні опори, то таке коло називають коливальним контуром.

Резонанс струмів широко використовується, наприклад, в електроустаткуванні для компенсації ємністю індуктивного зсуву фаз (паралельна компенсація), в техніці високих напруг, електрофільтрах, електровимірювальних приладах та у багатьох радіотехнічних пристроях, в яких коливальні контури є одним з головних елементів кола.

Thanks for your attention