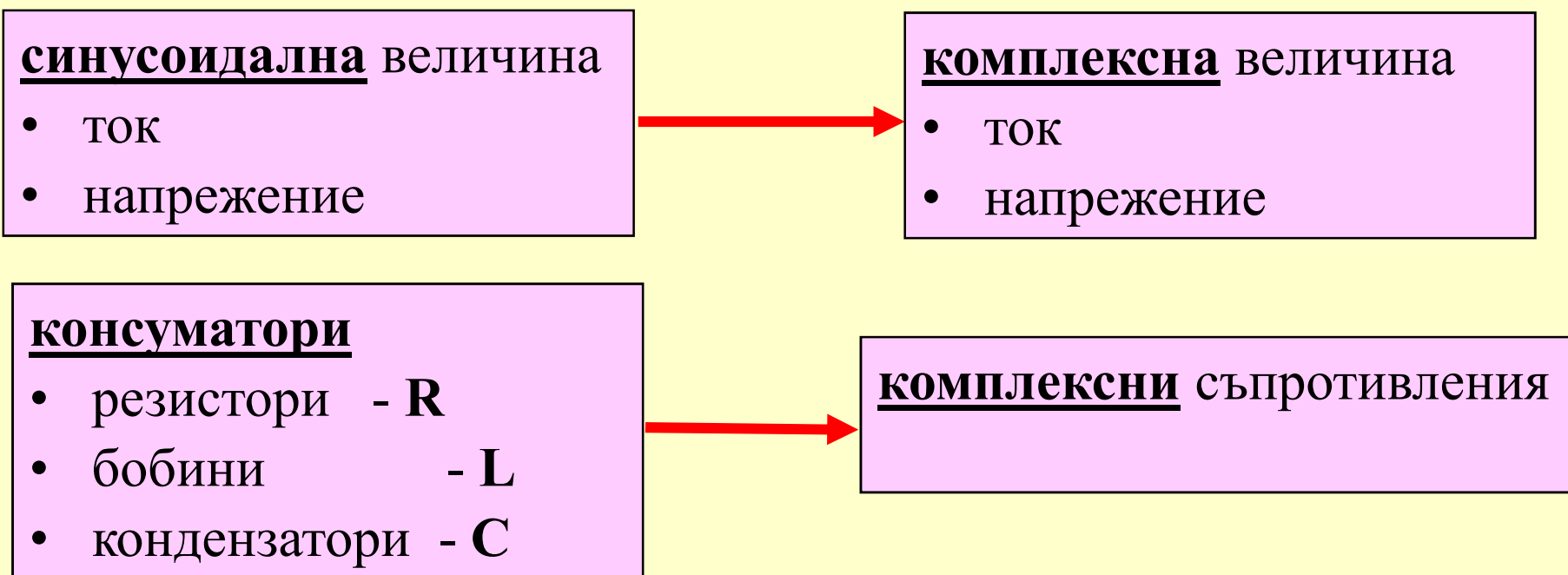
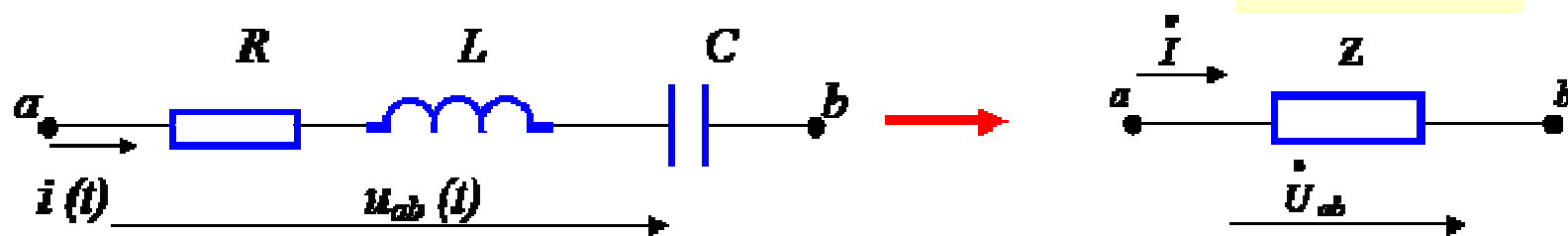


## Комплексна форма на основните закони за електрически вериги.

При анализа на синусоидални режими в линейни електрически вериги най-често се използва метод с комплексни образи (символичен метод).



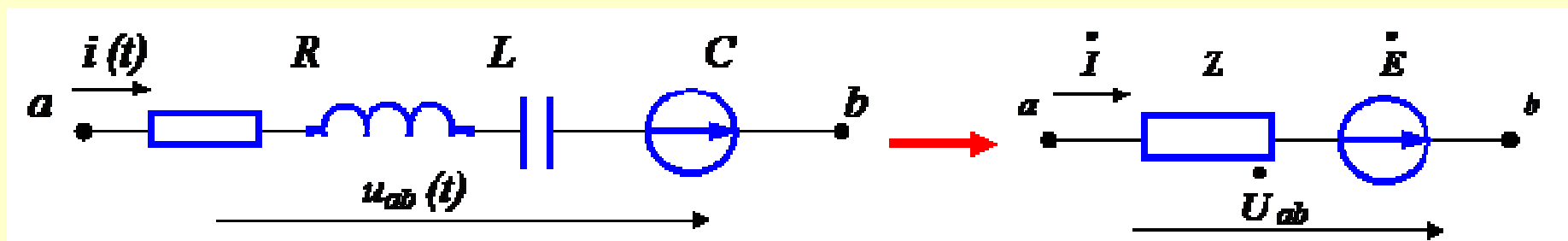
## Закон на Ом



$$\begin{aligned}
 i(t) &= i_m \sin(\omega t + \psi_i); \\
 u(t) &= u_m \sin(\omega t + \psi_u); \\
 u_m &= z \cdot i_m; \quad \psi_u = \psi_i + \varphi; \\
 z &= \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}; \\
 \varphi &= \operatorname{arctg} \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{R}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{I} &= I \cdot e^{j\psi_i}; \\
 \dot{U} &= U \cdot e^{j\psi_u}; \\
 \dot{I} &= \frac{\dot{U}}{Z}; \quad Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \\
 Z &= \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U \cdot e^{j\psi_u}}{I \cdot e^{j\psi_i}} = \frac{U}{I} \cdot e^{j(\psi_u - \psi_i)} = z \cdot e^{j\varphi};
 \end{aligned}$$

## Обобщен закон на Ом

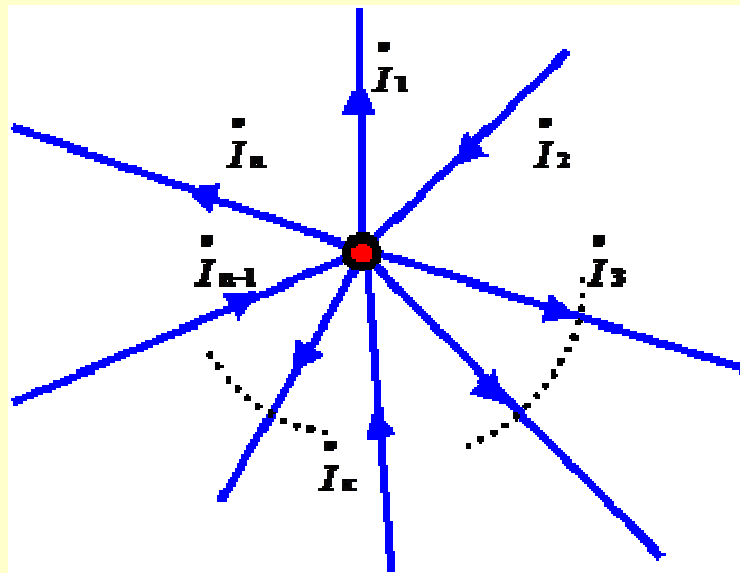


$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

## Закони на Кирхоф

I Закон на Кирхоф

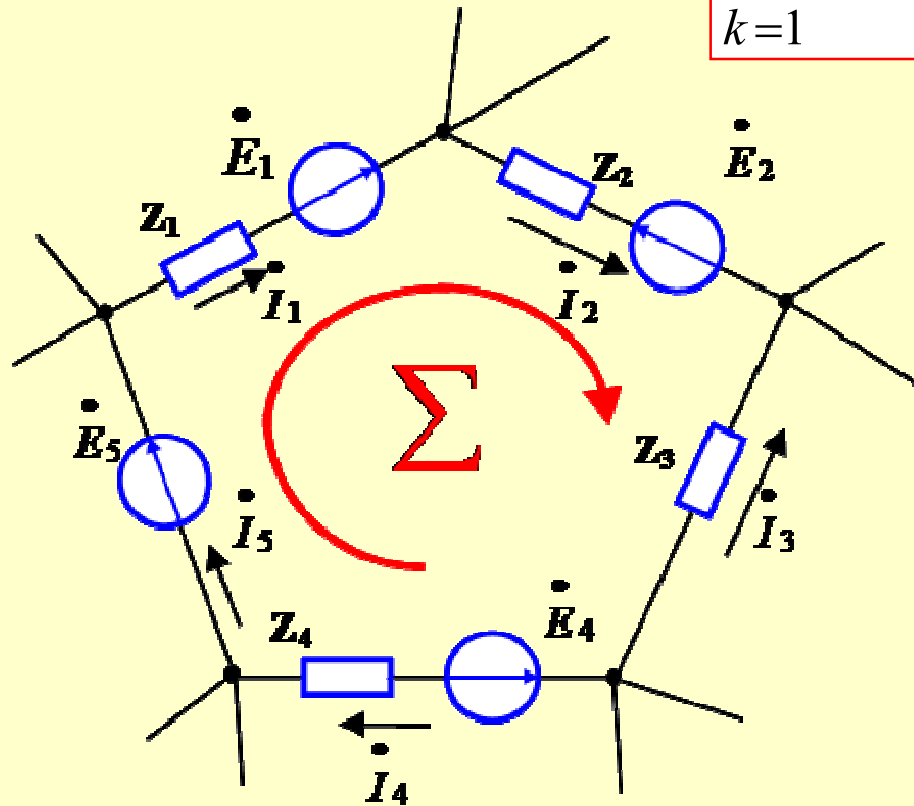
$$\sum_{k=1}^n \dot{I}_k = 0$$



$$-\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 + \dots + \dot{I}_k + \dots + \dot{I}_{n-1} - \dot{I}_n = 0$$

## II Закон на Кирхоф

$$\sum_{k=1}^m \dot{I}_k Z_k = \sum_{k=1}^m \dot{E}_k$$



$$\dot{I}_1 Z_1 + \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_3 Z_3 + \dot{I}_4 Z_4 = \dot{E}_1 - \dot{E}_2 - \dot{E}_4 + \dot{E}_5$$

**Пример 1.** Анализ на синусоидални режими с използване на законите на Кирхоф (Метод с клонови токове).

Да се определят токовете  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  и  $i_3(t)$  за веригата от фиг.3 ако е известно:

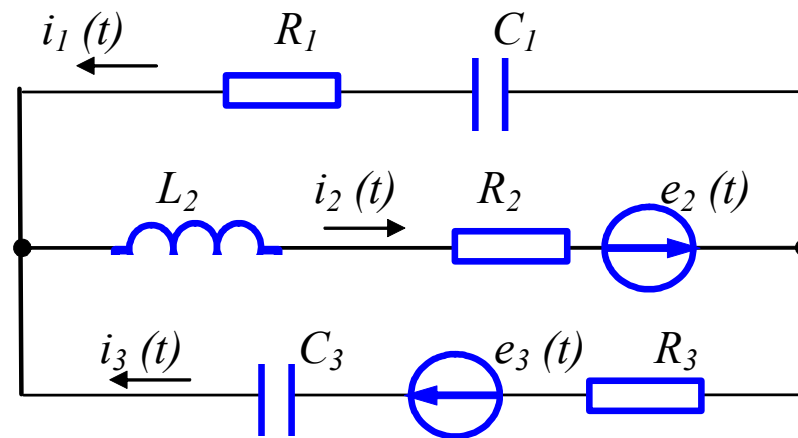
$$e_2(t) = 71 \sin(1000t + 45) V$$

$$e_3(t) = 113 \sin(1000t + 90) V$$

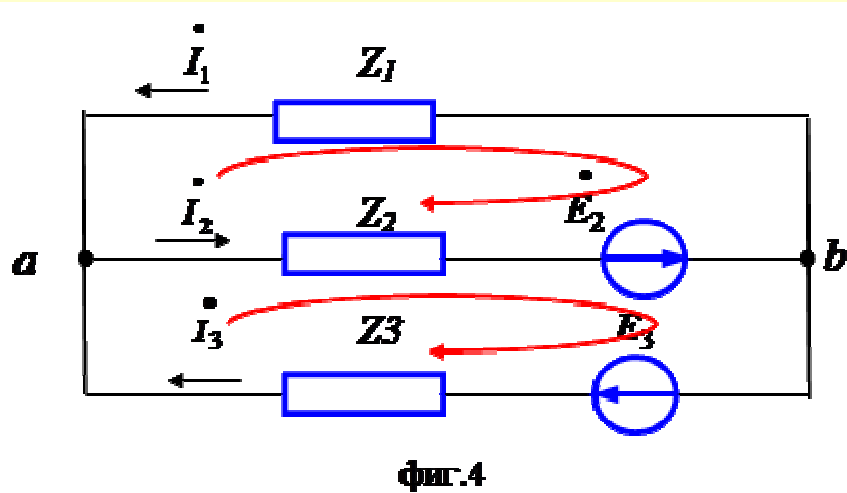
$$R_1 = R_2 = 5 \Omega, R_3 = 10 \Omega,$$

$$L_2 = 10 \text{ mH},$$

$$C_1 = 200 \mu F, C_3 = 125 \mu F, .$$



## Решение



$$\omega = 1000 = 10^3 \text{ rad/s}$$

$$Z_1 = R_1 - j \frac{1}{\omega C_1} = 5 - j \frac{1}{10^3 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} = (5 - j5) \Omega$$

$$Z_2 = R_2 + j\omega L_2 = 5 + j \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = (5 + j10) \Omega$$

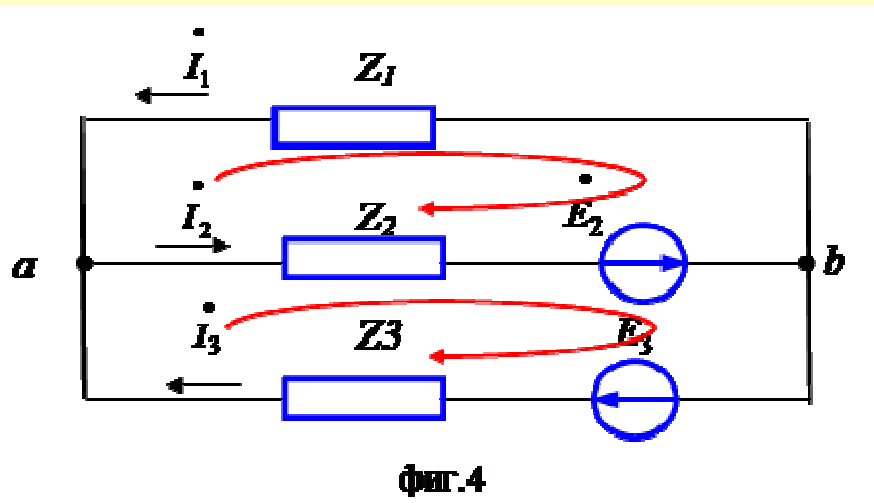
$$Z_3 = R_3 - j \frac{1}{\omega C} = 10 - j \frac{1}{10^3 \cdot 125 \cdot 10^{-6}} = (5 - j8) \Omega$$

$$\dot{E}_2 = E_2 e^{j\psi_{e2}} = \frac{e_{2m}}{\sqrt{2}} e^{j\psi_{e2}} = \frac{71}{\sqrt{2}} e^{j45} =$$

$$50 \cdot (\cos 45 + j \sin 45) = 50 \cdot \left( \frac{\sqrt{2}}{2} + j \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = (35,5 + j35,5) \text{ V}$$

$$\dot{E}_3 = E_3 e^{j\psi_{e3}} = \frac{e_{3m}}{\sqrt{2}} e^{j\psi_{e3}} = \frac{80}{\sqrt{2}} e^{j90} =$$

$$80 \cdot (\cos 90 + j \sin 90) = 80 \cdot (0 + j) = j80 \text{ V}$$



2. Определяме брой клонове и брой възли във веригата:

- брой възли  $n=2$ ,
- брой клонове  $m=3$

3. Записваме система уравнения по метода с клонови токове:

- $n-1=1$  уравнения по I закон на Кирхоф
- $k=m-n+1=2$  уравнения по II закон на Кирхоф

за възел "a":

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

за двата контура :

$$-I_1 Z_1 - I_2 Z_2 = -E_2$$

$$I_2 Z_2 + I_3 Z_3 = E_2 + E_3$$



4. Заместваме със стойности и решаваме системата:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 - \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -\dot{I}_1(5 - j5) - \dot{I}_2(5 + j10) = -(35,5 + j35,5) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_2(5 + j10) + \dot{I}_3(10 - j8) = (35,5 + j35,5) + j80 \end{cases}$$

5. Получаваме комплексите на трите тока:

$$\dot{I}_1 = (6,71 - j1,375) = 6,853e^{-j11,58} A$$

$$\dot{I}_2 = (6,41 + j2,34) = 6,82e^{j20,04} A$$

$$\dot{I}_3 = (-0,3 + j3,71) = 3,73e^{j94,65} A$$

- $I_1 = (6,71 - j1,375) = 6,853e^{-j11,58} A$

- $I_2 = (6,41 + j2,34) = 6,82e^{j20,04} A$

- $I_3 = (-0,3 + j3,71) = 3,73e^{j94,65} A$

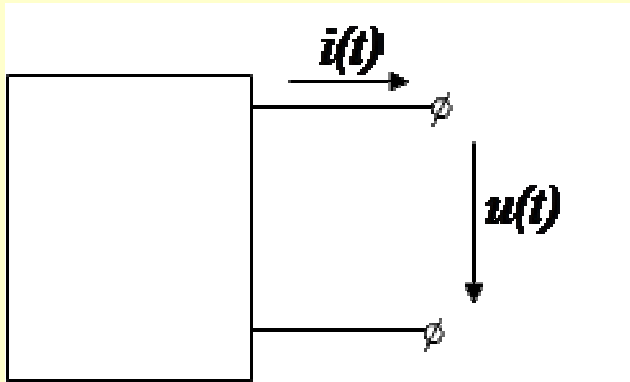
6. Тогава моментните стойности на токовете са:

$$i_1(t) = I_1 \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_1) = 6,85\sqrt{2} \sin(1000t - 11,58^0) A$$

$$i_2(t) = I_2 \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_2) = 6,82\sqrt{2} \sin(1000t + 20,04^0) A$$

$$i_3(t) = I_3 \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_3) = 3,73\sqrt{2} \sin(1000t + 94,65^0) A$$

## Мощности при синусоидални режими



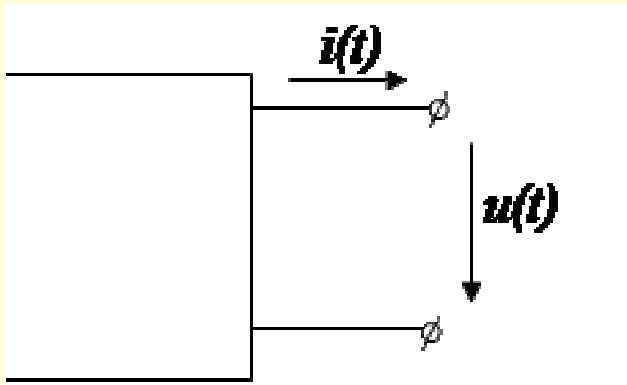
$$u(t) = u_m \sin(\omega t + \psi_u),$$

$$i(t) = i_m \sin(\omega t + \psi_i) = i(t) = i_m \sin(\omega t + \psi_u - \varphi)$$

$$\psi_u = 0 \longrightarrow \begin{aligned} u(t) &= u_m \sin \omega t \\ i(t) &= i_m \sin(\omega t - \varphi) \end{aligned}$$

### 1. Моментна мощност - $p(t)$

## Активна мощност- P



$$u(t) = u_m \sin \omega t$$

$$i(t) = i_m \sin(\omega t - \varphi)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t).dt = \frac{1}{T} \int_0^T U.I[\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)].dt =$$

$$U.I \cos \varphi - \frac{1}{T} U.I \int_0^T \cos(2\omega t - \varphi).dt$$

0 - интеграл на хармонична функция

$$\Rightarrow P = U.I \cos \varphi$$

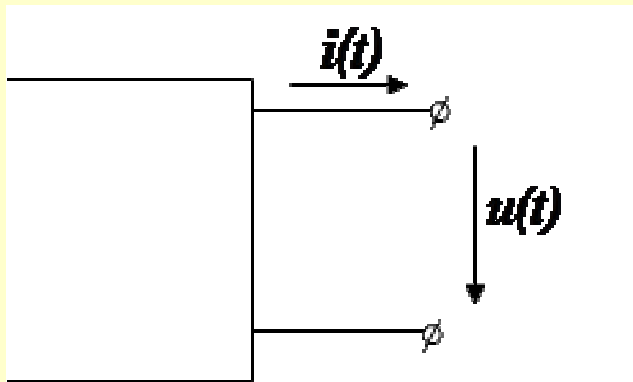
$$[P]=W$$

Активната мощност физически представлява енергията, която се отделя за единица време във вид на топлина за участъка от верига с активно съпротивление  $R$

$$P = U.I \cos \varphi = I^2 z. \cos \varphi = I^2 R$$

$$R = z. \cos \varphi$$

## Реактивна мощност- $Q$



$$u(t) = u_m \sin \omega t$$

$$i(t) = i_m \sin(\omega t - \varphi)$$

$$Q = U \cdot I \sin \varphi$$

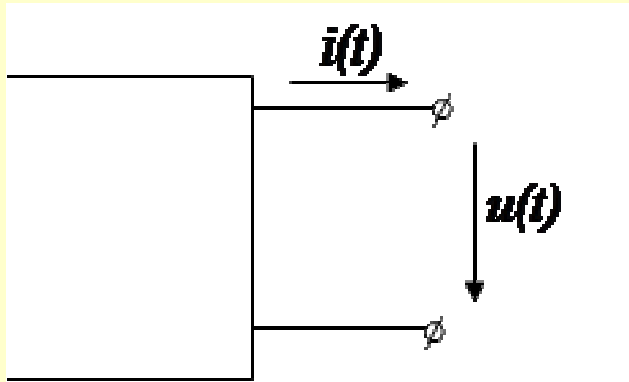
Реактивната мощност  $Q$  е енергия, която се обменя между източника и консуматора (за време равно на периода  $T$  се предава 2 пъти от генератора към консуматора и обратно)

$$Q = U \cdot I \sin \varphi = I^2 z \cdot \sin \varphi = I^2 X$$

$$[Q] = \text{VAr}$$

От триъгълника на съпротивленията е известно, че  $X = z \cdot \sin \varphi$ ;  $X = X_L - X_C$

## Пълна мощност- $S$



$$u(t) = u_m \sin \omega t$$

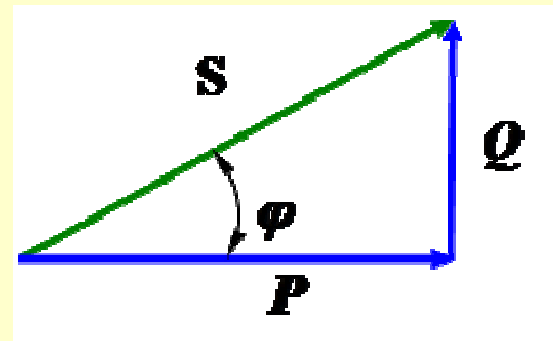
$$i(t) = i_m \sin(\omega t - \varphi)$$

$$S = U \cdot I$$

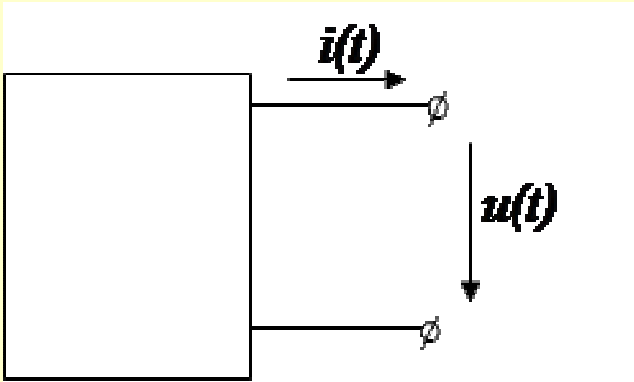
$$[S] = \text{VA}$$

Пълната мощност  $S$  характеризира тази мощност, която източника би отдавал на потребителя при  $\cos \varphi = 1$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

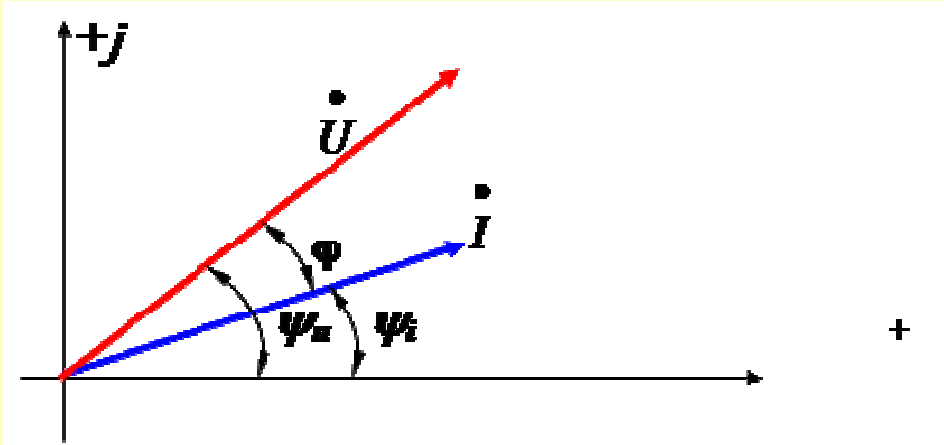


# Комплексна мощност- $\dot{S}$



$$u(t) = u_m \sin \omega t$$

$$i(t) = i_m \sin(\omega t - \varphi)$$



$$\dot{U} = U e^{j\psi_u}$$

$$\dot{I} = I e^{j\psi_i}$$

$$I^* = I e^{-j\psi_i}$$

$$\dot{S} = \dot{U} \cdot I^* = U e^{j\psi_u} \cdot I e^{-j\psi_i} = UI e^{j(\psi_u - \psi_i)} = UI e^{j\varphi} =$$

$$= UI \cos \varphi + UI \sin \varphi = P + jQ$$



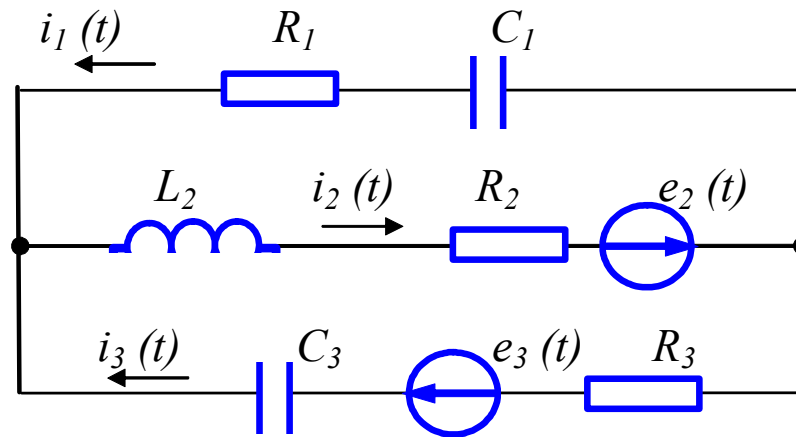
$$P = \text{Re}[\dot{S}]$$

$$Q = \text{Im}[\dot{S}]$$

**Пример 2.** Да се направи баланс на мощностите за веригата

$$e_2(t) = 71 \sin(1000t + 45) V$$
$$e_2(t) = 113 \sin(1000t + 90) V$$

$$R_1 = R_2 = 5 \Omega, R_3 = 10 \Omega,$$
$$L_2 = 10 \text{ mH},$$
$$C_1 = 200 \mu F, C_3 = 125 \mu F, .$$

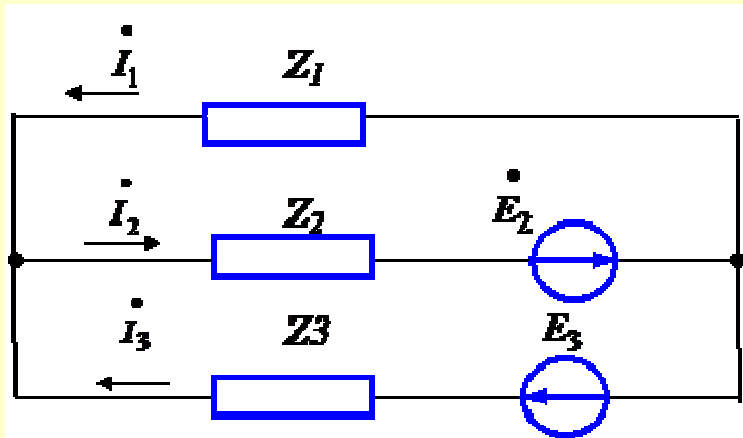


**Решение**

Да се направи баланс на мощностите означава да се направи проверка дали **мощността на източниците е равна на мощността на консуматорите.**

$$\sum \dot{S}_{\text{изт}} = \sum \dot{S}_{\text{конс}}$$





$$\dot{I}_1 = (6,71 - j1,375) = 6,853e^{-j11,58} \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = (6,41 + j2,34) = 6,82e^{j20,04} \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = (-0,3 + j3,71) = 3,73e^{j94,65} \text{ A}$$

$$\dot{E}_2 = (35,5 + j35,5)V \quad \dot{E}_3 = j80V$$

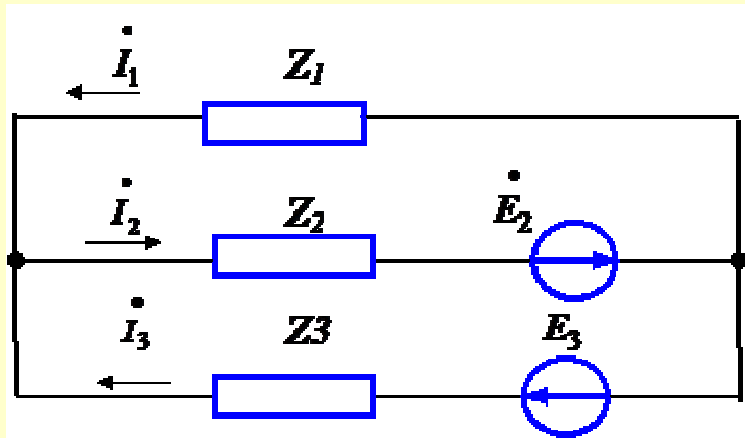
Определяме мощността на източниците

$$\sum \dot{S}_{изт} = \dot{S}_{E_2} + \dot{S}_{E_3}$$

$$\dot{S}_{E_2} = -\dot{E}_2 \cdot \dot{I}_2^* = (35,5 + j35,5)(6,41 - j2,34)$$

$$\dot{S}_{E_3} = \dot{E}_3 \cdot \dot{I}_3^* = j80 \cdot (-0,3 - j3,72)$$

$$\sum \dot{S}_{изт} = (606,4 + j120)VA$$



$$\bullet I_1 = (6,71 - j1,375) = 6,853e^{-j11,58} A$$

$$\bullet I_2 = (6,41 + j2,34) = 6,82e^{j20,04} A$$

$$\bullet I_3 = (-0,3 + j3,71) = 3,73e^{j94,65} A$$

$$Z_1 = (5 - j5)\Omega$$

$$Z_2 = (5 + j10)\Omega$$

$$Z_3 = (5 - j8)\Omega$$

### Определяме мощността на консуматорите

$$\sum \dot{S}_{\text{конс}} = Z_1 I_1^2 + Z_2 I_2^2 + Z_3 I_3^2 =$$

$$(5 - j5)(6,71^2 + 1,375^2) + (5 + j10)(6,41^2 + 2,34^2) + (5 - j8)(0,3^2 + 3,72^2) =$$

$$(606,4 + j120)VA$$

Следователно се получава баланс на мощностите, а именно:

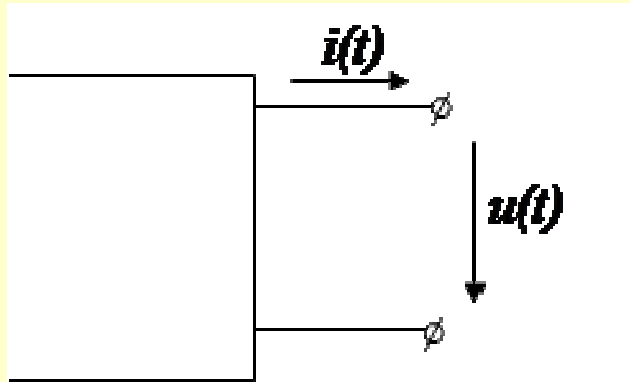
$$\sum \dot{S}_{\text{изт}} = \sum \dot{S}_{\text{конс}} = (606,4 + j120)VA$$



$$P = \text{Re}[\dot{S}] = 606,4W$$

$$Q = \text{Im}[\dot{S}] = 120Var$$

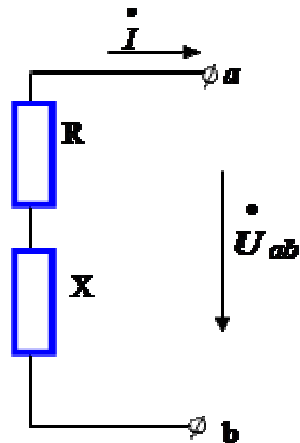
**Еквивалентни схеми на пасивен двуполюсник от последователен и паралелен тип при синусодален режим. Взаимно преминаване.**



$$u(t) = u_m \sin \omega t$$

$$i(t) = i_m \sin(\omega t - \varphi)$$

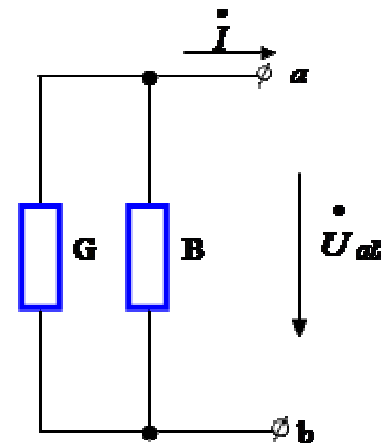
Заместваща схема от последователен тип



$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z}$$

където:  $Z = R + jX$

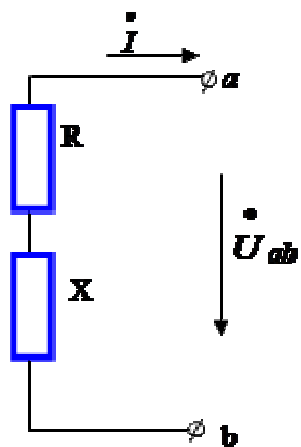
Заместваща схема от паралелен тип



$$\dot{I} = Y \cdot \dot{U}_{ab}$$

където:  $Y = G - jB$

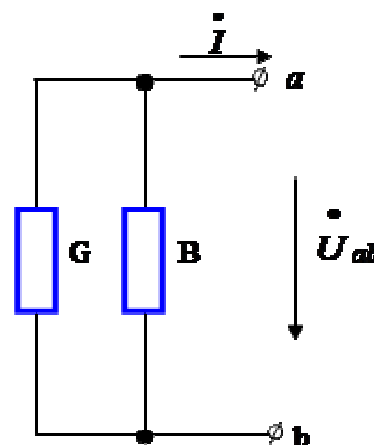
**Заместваща схема от последователен тип**



$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z},$$

където:  $Z = R + jX$

**Заместваща схема от паралелен тип**



$$\dot{I} = Y \cdot \dot{U}_{ab},$$

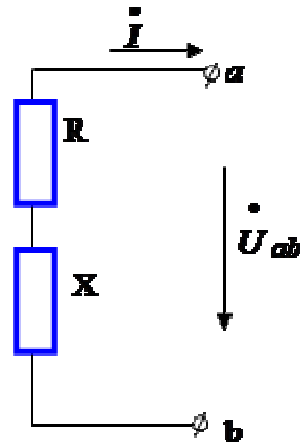
където:  $Y = G - jB$

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2},$$
$$B = \frac{X}{R^2 + X^2}$$



$$R = \frac{G}{G^2 + B^2},$$
$$X = \frac{B}{G^2 + B^2}$$

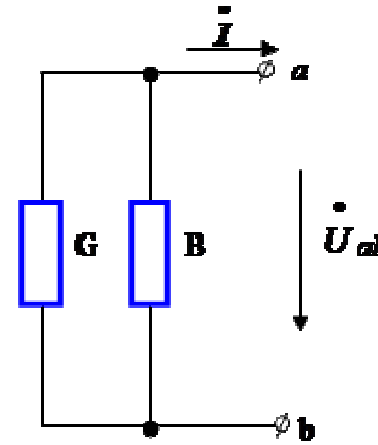
Заместваща схема от последователен тип



$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z},$$

където:  $Z = R + jX$

Заместваща схема от паралелен тип



$$\dot{I} = Y \cdot \dot{U}_{ab},$$

където:  $Y = G - jB$

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

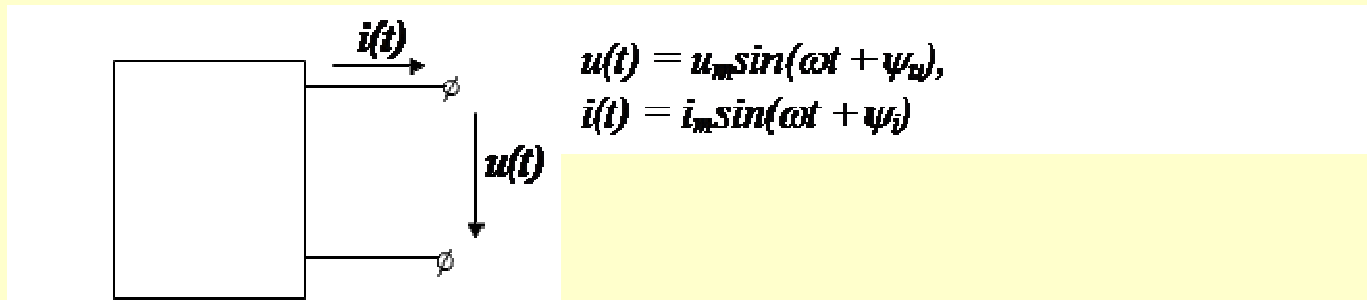
$$\Rightarrow G = \frac{R}{R^2 + X^2}, \quad B = \frac{X}{R^2 + X^2}$$

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{G - jB} = \frac{1}{(G - jB)(G + jB)} \frac{(G + jB)}{(G + jB)} = \frac{G}{G^2 + B^2} + j \frac{B}{G^2 + B^2} = R + jX$$

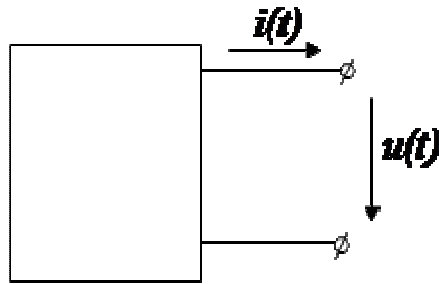
$$\Rightarrow R = \frac{G}{G^2 + B^2}, \quad X = \frac{B}{G^2 + B^2}$$

## Резонанс.

Резонансът е такова състояние на една пасивна ел.верига, включваща поне 1 бобина и поне 1 кондензатор, при което входният ток и входното напрежение съвпадат по фаза.



## Резонанс.



$$u(t) = u_m \sin(\omega t + \psi_u),$$
$$i(t) = i_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0$$

Реактивная мощность на двуполюсника е равна на нула- т.е. между генератора и консуматора няма енергийни колебания.

Колебания се осъществяват само между консервативните елементи, като общата сума от електрическата и магнитна енергии, има неизменна големина във времето.

### Резонанс може да се постигне

- изменение на параметрите на веригата или
- изменение на честотата на входния сигнал.

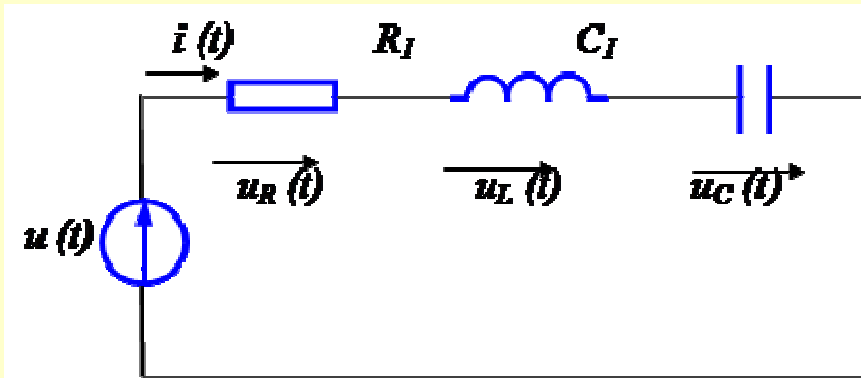
Амплитудата на входния сигнал не оказва влияние върху резонансните явления.

При определени условия резонансните колебания могат да имат много по-голяма амплитуда от амплитудата на входния сигнал.

Различават се два вида резонансни режими:

- напрежителен (последователен) резонанс
- токов (паралелен) резонанс

## Напрежителен резонанс в R, L, C двуполюсник от последователен тип



$$Z = R_{\text{екв}} + jX_{\text{екв}} \rightarrow 0$$

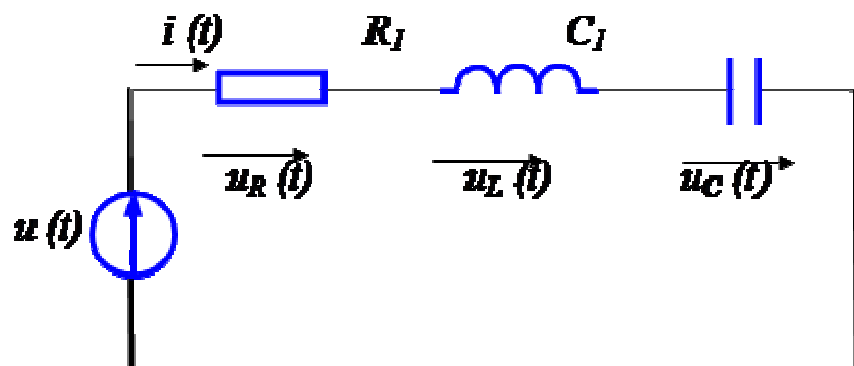
$$\begin{aligned} u(t) &= u_R(t) + u_L(t) + u_C(t) \\ \Rightarrow \dot{U} &= \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \\ &= I R + I j\omega L + I \left(-\frac{1}{j\omega C}\right) = \\ &= I \left(R + j\omega L - \frac{1}{j\omega C}\right) = \\ &= I Z = I (R_{\text{екв}} + jX_{\text{екв}}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_L &= jX_L \cdot \dot{I} \\ \dot{U}_R &= R \cdot \dot{I} \\ \dot{U}_C &= -jX_C \cdot \dot{I} \end{aligned}$$

$\varphi = 0 \Rightarrow X_{\text{екв}} = 0$  - условие за напрежителен резонанс

$$\dot{U} = \dot{U}_R + (\dot{U}_L + \dot{U}_C) = \dot{U}_R \rightarrow 0$$





## Резонансна честота

$$X_{\text{екв}} = X_L - X_C = 0$$

$$\Rightarrow X_L = X_C$$

$$\Rightarrow \omega_p L = \frac{1}{\omega_p C}$$

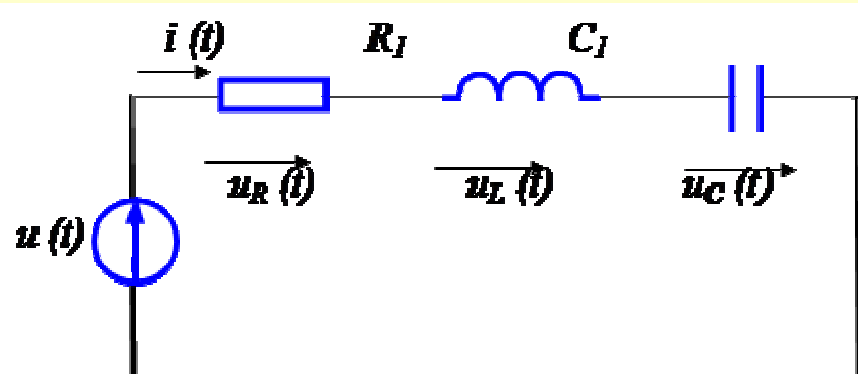
$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Токът при напрежителен резонанс е максимален:  $I_p = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{\dot{U}}{R}$

## Характеристично съпротивление

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$X_L = X_C = \omega_p L = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot L = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho$$



## Качествен фактор

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

$Q$  - показва колко пъти напрежението върху реактивните елементи  $L$  и  $C$  е по-голямо от входното напрежение

$$Q = \frac{U_L}{U_{ex}} = \frac{U_C}{U_{ex}} = \frac{\omega_p L \cdot I}{R \cdot I} = \frac{\omega_p L}{R} = \frac{1/\omega_p C}{R} = \frac{\rho}{R}$$

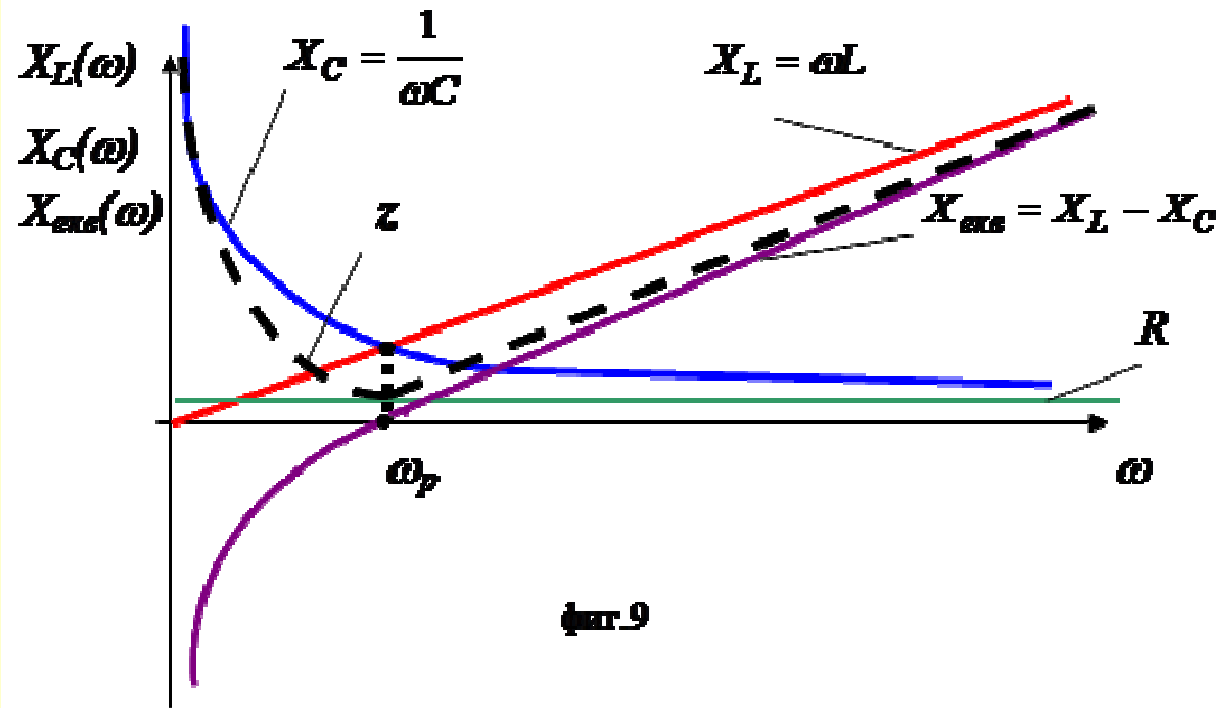
## Честотни характеристики

Зависимостта на даден параметър от честотата е честотна характеристика

За да получим честотните характеристики ще разгледаме как се променят параметрите на веригата при изменение на честотата  $\omega$  от нула **към безкрайност** ( $\omega = 0 \div \infty$ ).

При този анализ приемаме, че амплитудата на входното напрежение не зависи от честотата ( $U_m = \text{const}$ ), както и че  $R = \text{const}$ ,  $L = \text{const}$ ,  $C = \text{const}$ .

## Честотни характеристики



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

$$X_{екв} = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

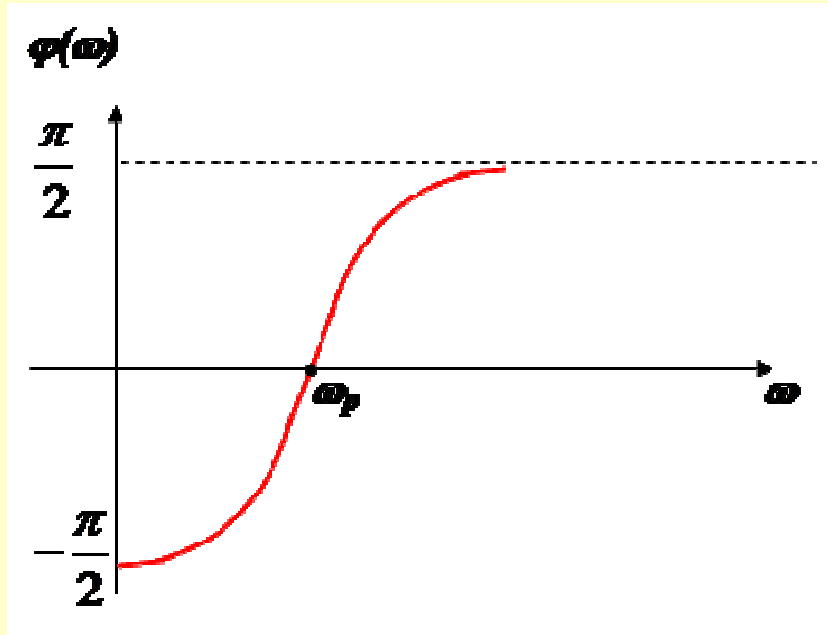
$$z = \sqrt{R^2 + X_{екв}^2}$$

$$\omega = \omega_p \Rightarrow X_{екв} = 0, \quad z = R$$

$\omega < \omega_p \Rightarrow$  вх. съпрот. има капацитивен характер

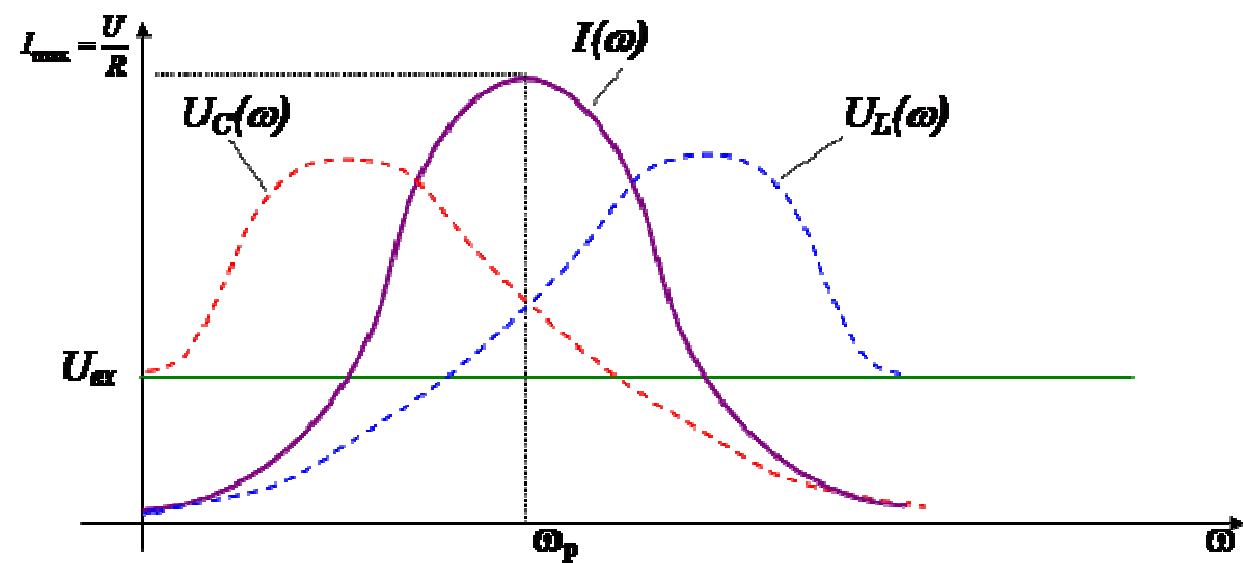
$\omega > \omega_p \Rightarrow$  вх. съпрот. има индуктивен характер

## фазочестотната характеристика



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

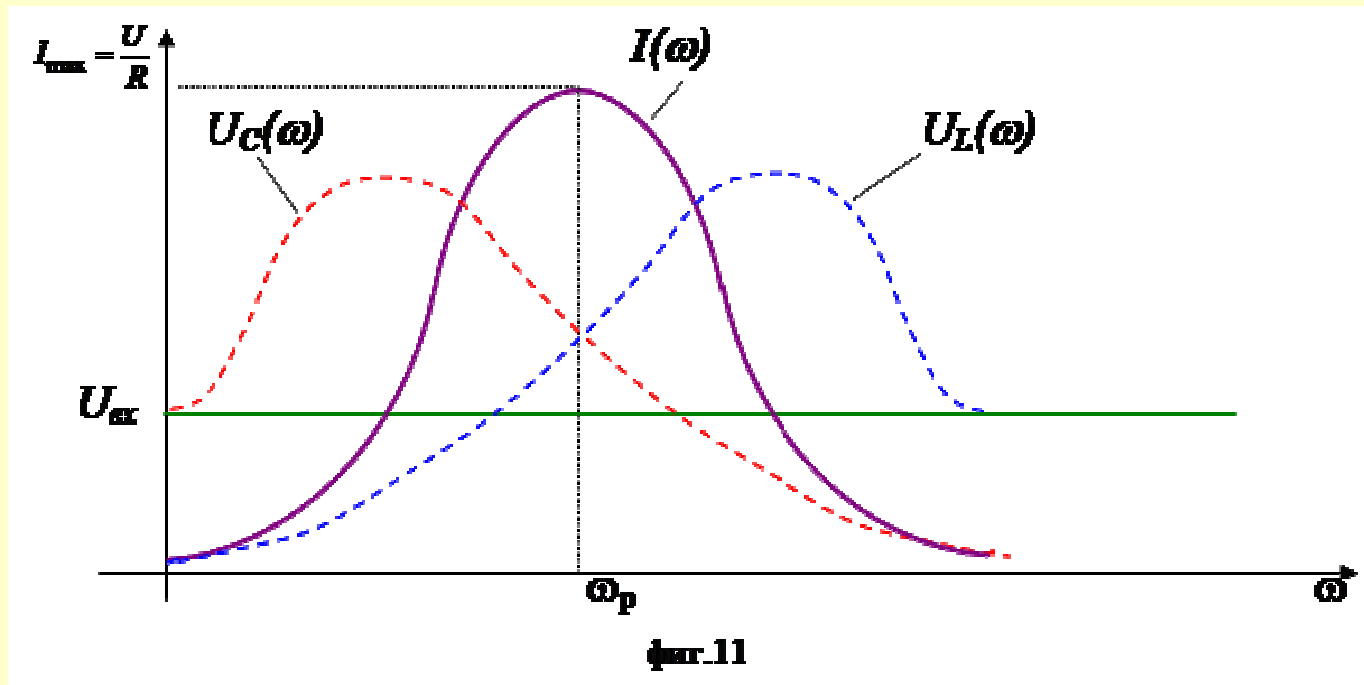
**Ефективни стойности на напреженията  $U_L$ ,  $U_C$  и тока  $I$ , в зависимост от честотата**



фиг.11

$$I(\omega) = \frac{U}{z(\omega)} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}};$$

$$U_L = I(\omega) \cdot \omega L = \frac{U \cdot \omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}; \quad U_C = I(\omega) \cdot \frac{1}{\omega C} = \frac{U}{\omega C \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$



1.  $\omega = 0 \Rightarrow X_C = \frac{1}{\omega C} \rightarrow \infty \Rightarrow I = 0, U_C = U_{ex}$ . Следователно не протича ток, а входното напрежение е приложено върху кондензатора.

2.  $\omega = 0 \div \omega_p \Rightarrow X_C \downarrow, X_L \uparrow$  токът нараства

3.  $\omega = \omega_p \Rightarrow X_C = X_L \Rightarrow X_{екв} = 0 \quad I_p = I_{max} = \frac{U}{R}$  токът е максимален

4.  $\omega = \omega_p \div \infty \Rightarrow X_L = \omega L \rightarrow \infty \Rightarrow I = 0, U_L = U_{ex}$  Следователно не протича ток, а входното напрежение е приложено върху бобината.

## Съпоставяне на резонансните качества на отделни контури

За да се съпоставят резонансните качества на отделните контури, честотната характеристика  $I(\omega)$  се представя в относителни единици

$$F_I\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right) = \frac{I}{I_p}$$

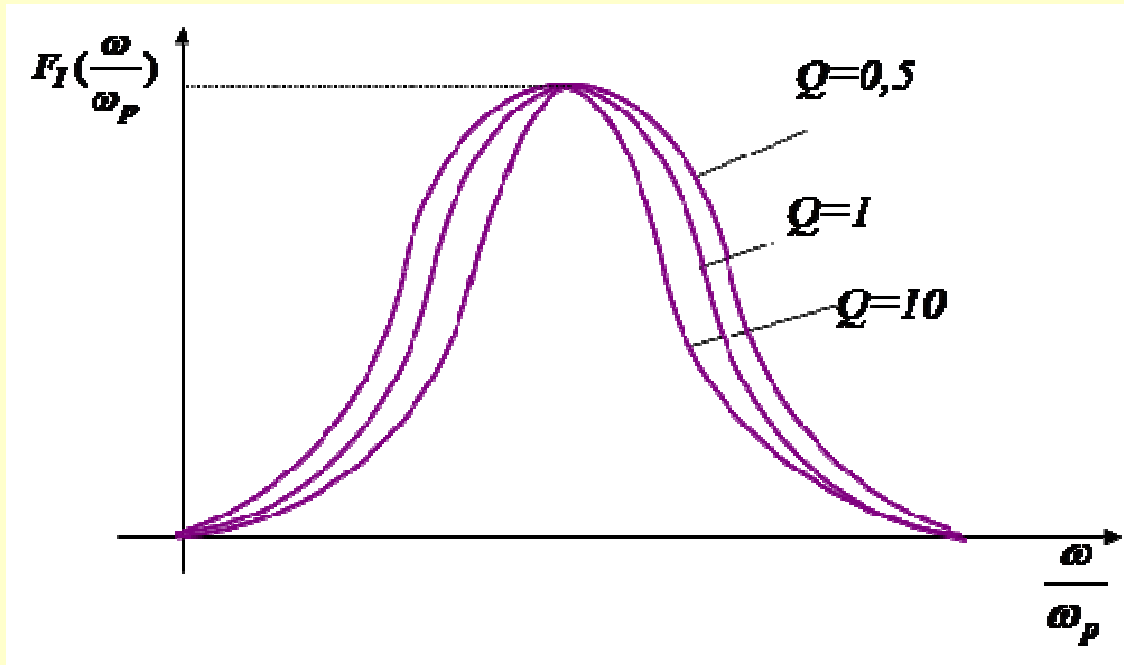
$$\rho = \omega_p L = \frac{1}{\omega_p C}$$

$$Z = R + j\left(\frac{\omega}{\omega_p} \cdot \rho - \frac{\omega_p}{\omega} \rho\right) = R + j\rho\left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega}\right)$$
$$\Rightarrow z = \sqrt{R^2 + \rho^2\left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega}\right)^2} = R \sqrt{1 + Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}$$

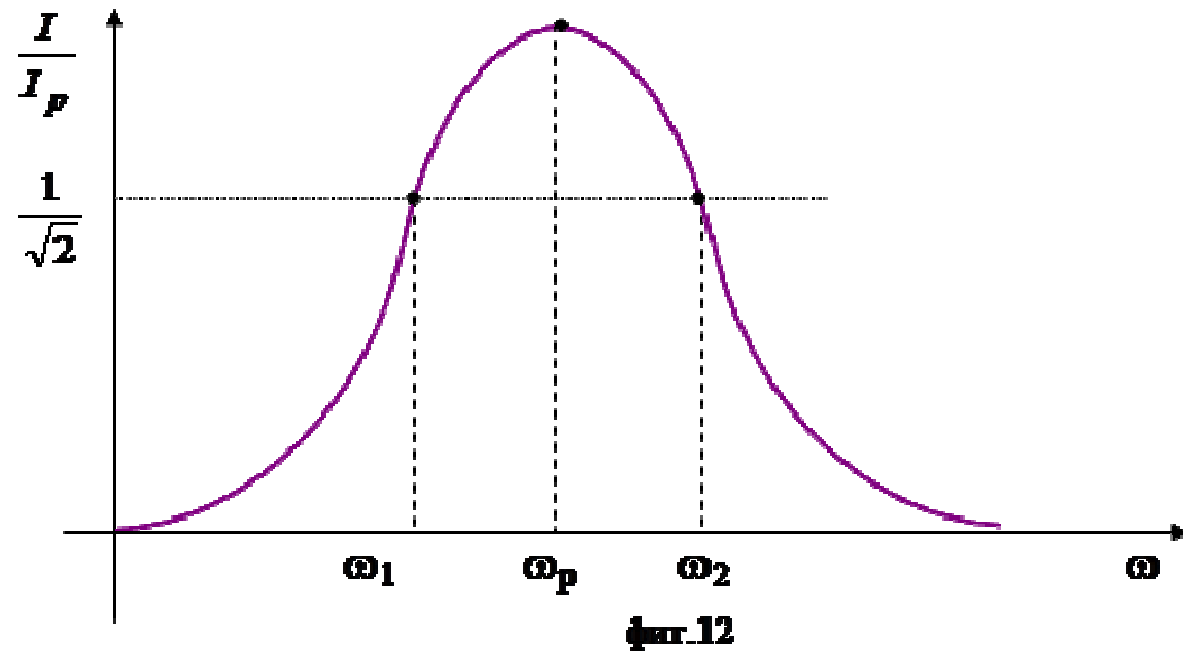
$$F_I\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right) = \frac{I}{I_p} = \frac{U}{z} \cdot \frac{R}{U} = \frac{R}{z} = \frac{R}{R \sqrt{1 + Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}}$$



## Съпоставяне на резонансните качества на отделни контури



Резонансната крива на тока зависи изключително много от  $Q$  фактора на веригата. Колкото по-малко е съпротивлението  $R$  в контура, т.е. колкото  $Q$  фактора е по-голям толкова кривата на тока е по-остра (пикообразна).



$$\frac{I(\omega_1)}{I_p} = \frac{I(\omega_2)}{I_p} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$$

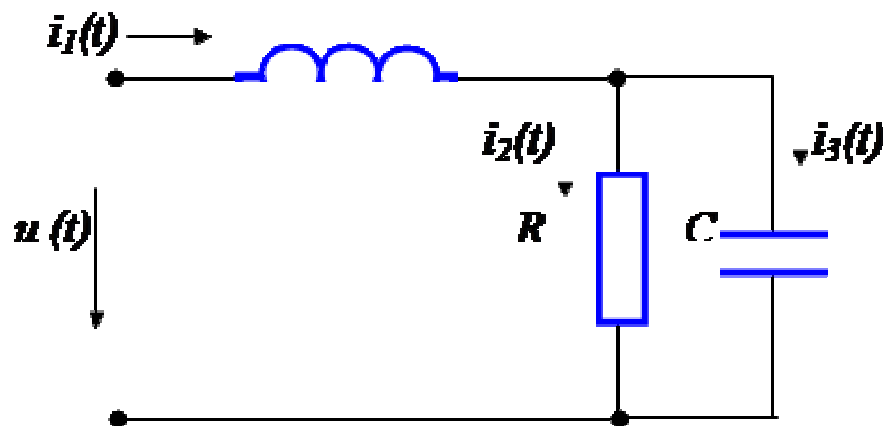
$$\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \Leftrightarrow \frac{I}{I_p} \geq \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$P(\omega_p) = I_p^2 R$$

$$P(\omega_1) = I(\omega_1)^2 R = \left(\frac{I_p}{\sqrt{2}}\right)^2 R = \frac{I_p^2}{2} R = \frac{P(\omega_p)}{2}$$

## Пример за определяне на резонансен параметър

Да се определи стойността на капацитета  $C$  (фиг.13 ) за която във веригата има напрежителен резонанс

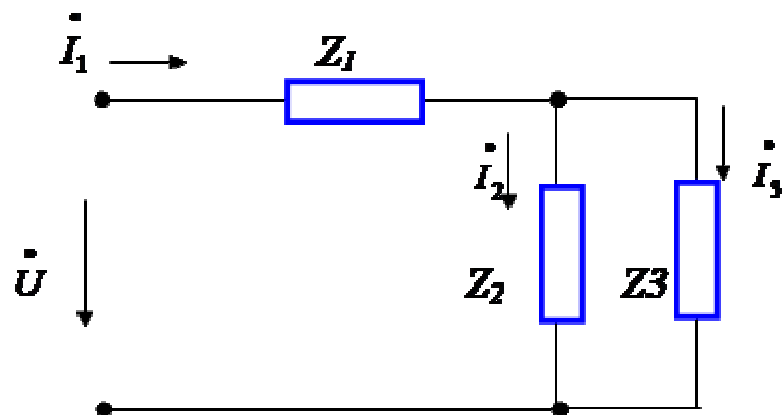


фиг.13

$$f=160\text{Hz},$$
$$R = 10\Omega, L=5 \text{ mH},$$

### Решение

$$X_{\text{екв}} = 0$$



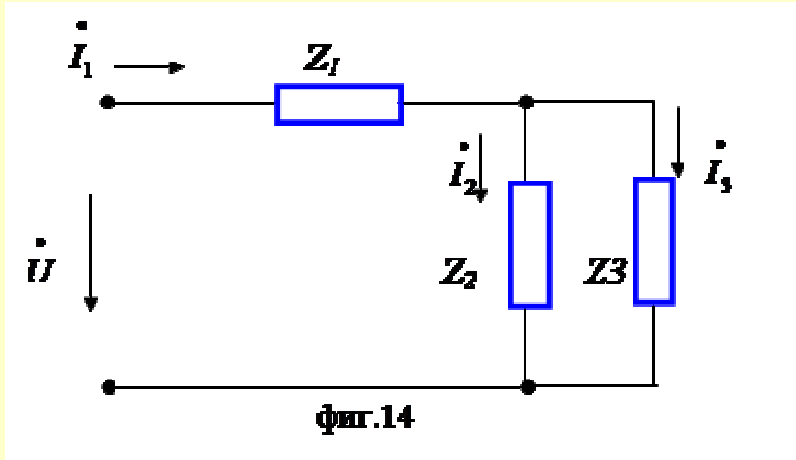
фиг.14

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 160 \approx 1000 = 10^3 \text{ rad/s}$$

$$Z_1 = j\omega L = j \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = j5\Omega$$

$$Z_2 = R = 10\Omega$$

$$Z_3 = -j \frac{1}{\omega C} = -jX_C$$



$$R_{екв} = \frac{10 \cdot X_C^2}{100 + X_C^2}; \quad X_{екв} = \left(5 - \frac{100 \cdot X_C}{100 + X_C^2}\right)$$

$$\begin{aligned}
 Z_{екв} &= Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} \\
 \Rightarrow Z_{екв} &= j5 + \frac{10 \cdot (-jX_C)}{10 - jX_C} = j5 + \frac{10 \cdot (-jX_C)(10 + jX_C)}{(10 - jX_C)(10 + jX_C)} = \\
 &= j5 + \frac{10 \cdot (-jX_C)(10 + jX_C)}{100 + X_C^2} = j5 - j \frac{100 \cdot X_C}{100 + X_C^2} + \frac{10 \cdot X_C^2}{100 + X_C^2} = \\
 &= \frac{10 \cdot X_C^2}{100 + X_C^2} + j \left(5 - \frac{100 \cdot X_C}{100 + X_C^2}\right) = R_{екв} + jX_{екв}
 \end{aligned}$$

$$X_{екв} = \left(5 - \frac{100 \cdot X_C}{100 + X_C^2}\right) = 0$$

$$\Rightarrow 5(100 + X_C^2) - 100X_C = 0$$

$$\Rightarrow 5X_C^2 - 100X_C + 500 = 0$$

$$\Rightarrow X_C^2 - 20X_C + 100 = 0$$

$$\Rightarrow X_C = \frac{20 \pm \sqrt{400 - 400}}{2} = 10\Omega$$

$$\Rightarrow C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{10^3 \cdot 10} = 10^{-4} F = 100 \cdot 10^{-6} F = 100 \mu F$$