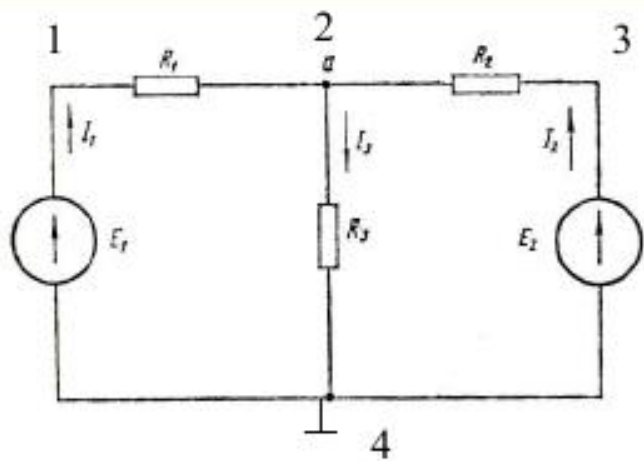


Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

1. Основни понятия в електронните схеми

- **прости** електрични вериги- токът във всеки участък е един и същ.
- **сложни** електрически вериги- токовете са различни в участъците.
- **възел** – място на връзка между произволен брой елементи;
- **клон** – част от електронната схема между два възела;
- **контур** – всяка затворена част от схемата, която започва от даден възел и завършва в същия възел (преминавайки през елементи и възли от схемата без те да се повтарят).



Схемата има 4 възела: 1, 2, 3, 4 и
3 контура:

$$E_1 \rightarrow R_1 \rightarrow R_3$$

$$E_2 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3$$

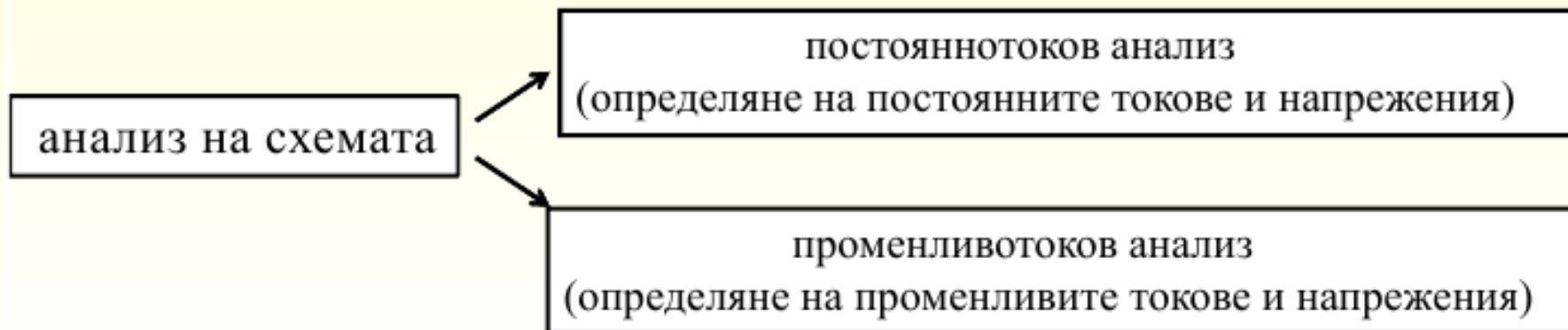
$$E_1 \rightarrow R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow E_2$$

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

Маса - всички точки, свързани с кутията на устройството и чрез нея с нулевия проводник на мрежата имат нулев потенциал и представляват маса (зануляване) (\perp).

- **изкуствена маса** - когато масата не е свързана с нулев проводник или при батерийно хранване.

Постояннотоков режим на веригата – установен режим, при който напреженията и токовете имат фиксирани стойности.

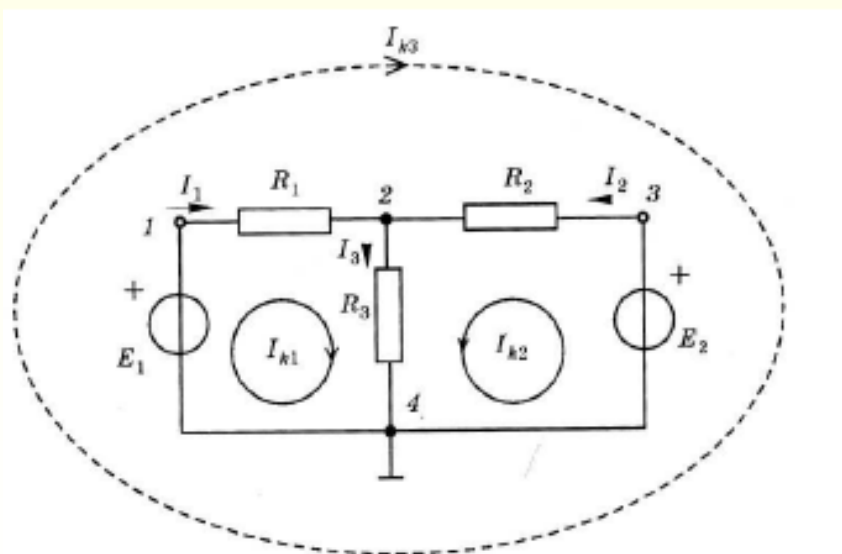


- **основен възел** – възел, спрямо който се определят всички напрежения (обикновено това е масата).

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

2. Основни правила при анализ на схемите

1. Приема се, че в даден възел **влизащите** токове се вземат със **знак (+)**, а **излизащите** със **знак (-)**.
2. **Условно** се приема, че съществува **контурен ток**, който съвпада с избраната посока на контура. Токът в даден контур е **положителен** ако съвпада по **посока с контурния ток** и отрицателен ако посоката му е противоположна.
3. Напрежението на източника е **положително**, ако при обикаляне по контура, най-напред се среща **положителния полюс (+)** на източника.



1. За възел 2 $I_1 > 0, I_2 > 0, I_3 < 0$

2. За контур E_1 - R_1 - R_3 - контурен ток I_{k1}

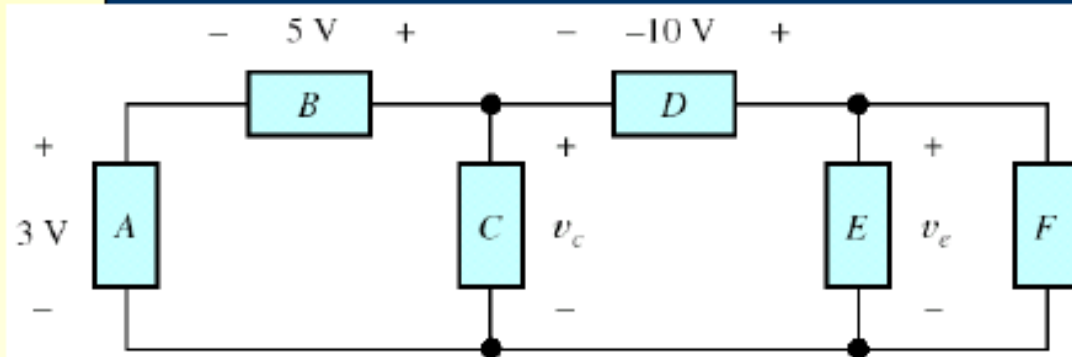
I_1 и I_3 -са положителни

За контур R_3 - R_2 - E_2 - контурен ток I_{k2}

3. При обиколка по контур 1 от възел 4:

$$E_1 < 0 \quad U_{R1} = I_1 \cdot R_1, U_{R3} = I_3 \cdot R_3 > 0$$

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

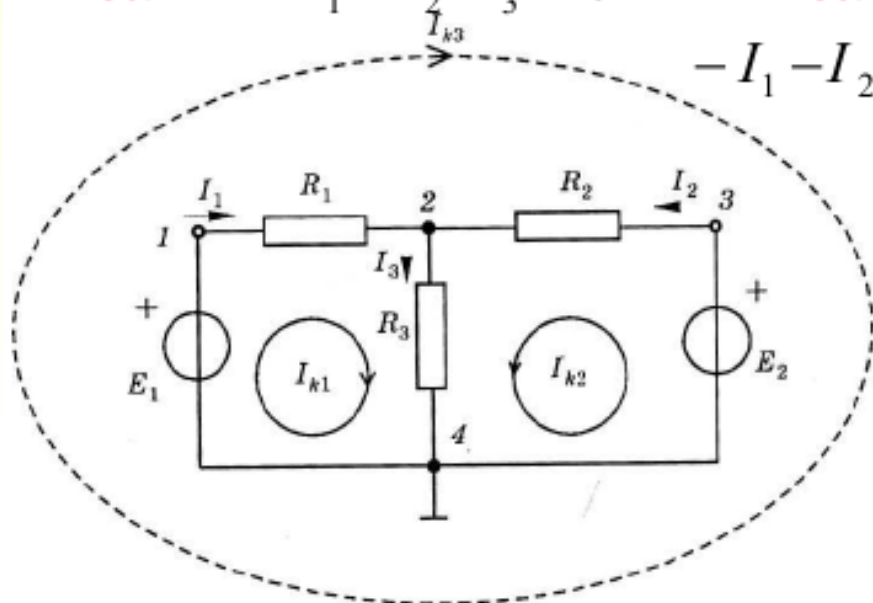


I – закон на Кирхоф

възел 2 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

възел 4 $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$

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



II– закон на Кирхоф

За контур 1

$$-E_1 + I_1 R_1 + R_3 I_3 = 0$$

$$E_1 = I_1 R_1 + R_3 I_3$$

За контур 2

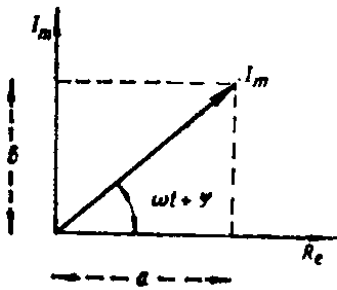
$$-E_2 + I_2 R_2 + R_3 I_3 = 0$$

$$E_2 = I_2 R_2 + R_3 I_3$$

Законите на Кирхоф са в сила и за вериги при променлив ток и напрежение!

Символически метод за пресмятане на електрични вериги при променлив ток и напрежение

Периодичните токове, напрежения и импедансите могат да бъдат представяни символично с комплексни числа → опростяват се математичните операции (събиране, делене, диференциране, интегриране).



$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \phi) \rightarrow$$

$$b = I_m \sin(\omega t + \phi), a = I_m \cos(\omega t + \phi)$$

$$I = a + j \cdot b = I_m \cos(\omega t + \phi) + j \cdot I_m \sin(\omega t + \phi) =$$

$$I_m \cdot e^{j(\omega t + \phi)} = I_m \cdot e^{j\phi} \cdot e^{j\omega t} = \dot{I}_m \cdot e^{j\omega t}$$

$$\Rightarrow \dot{I}_m = I_m \cdot e^{j\phi}$$

Комплексна амплитуда
(Phasor = phase vector)

$$e^{jx} = \cos(x) + j \sin(x)$$

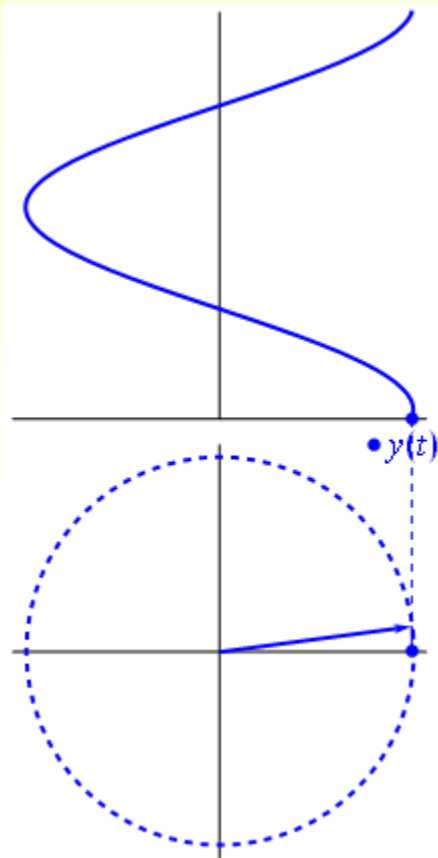
Формула на Ойлер

$$e^{j2k\pi} = 1, \quad e^{j(2k+1)\pi} = -1, \quad e^{j\pi/2} = ?$$

$$e^{j\pi/4} = (1 + j) / \sqrt{2}$$

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \phi) \rightarrow \dot{U}_m \cdot e^{j\omega t};$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t) \rightarrow \dot{I}_m e^{j\omega t}$$



Импеданс на бобина и кондензатор

$$\dot{Z} = \frac{U_m \sin(\omega t + \phi)}{I_m \sin(\omega t)} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U_m \cdot e^{j\phi} \cdot e^{j\omega t}}{I_m \cdot e^{j\omega t}} =$$

$$\frac{U_m}{I_m} e^{j\phi} = Z \cdot e^{j\phi} = R + j \cdot X_{L,X} = Z_{L,X} \cos \phi + j Z_{L,X} \sin \phi$$

$$\dot{Z}_L = \frac{U_m}{I_m e^{-j\pi/2}} = \frac{U_m e^{+j\pi/2}}{I_m} = X_L \cdot e^{j\pi/2} = (\omega \cdot L) e^{j\pi/2} =$$

Импеданс на бобина

$$= (\omega \cdot L)(\cos(\pi / 2) + j \sin(\pi / 2)) = j(\omega \cdot L) = jX_L$$

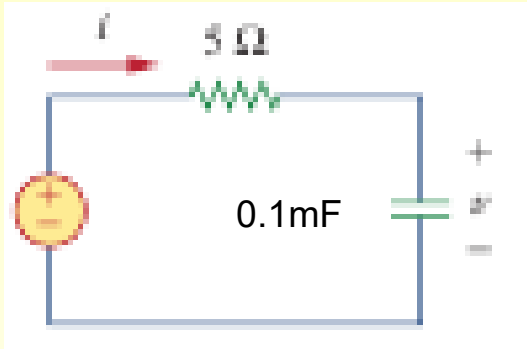
$$\Rightarrow R_L = Z_L \cos(\pi / 2) = 0, X_L = Z_L \sin(\pi / 2) = \omega \cdot L$$

$$\dot{Z}_C = \frac{U_m}{I_m e^{+j\pi/2}} = \frac{U_m e^{-j\pi/2}}{I_m} = X_C \cdot e^{-j\pi/2} = (1 / \omega \cdot C) e^{-j\pi/2} =$$

Импеданс на кондензатор

$$= (1 / \omega \cdot C)(\cos(-\pi / 2) + j \sin(-\pi / 2)) = -j\left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right) = -jX_C$$

Задачи



$$u(t) = U_m \cdot e^{j \cdot 0} \cdot e^{j \omega t}$$

$$\dot{I}_m = I_m \cdot e^{j \psi_i} = I_m \angle \psi_i$$

$$\dot{I} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} e^{j \psi_i}$$

Комплексна ефективна стойност на тока.

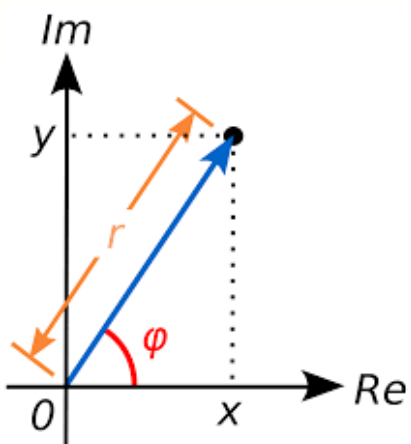
Задача. Определете импеданса Z , фазора на тока $\dot{I}_m \angle \psi_i$ и $i(t)$? $u(t) = 10 \cdot \sin(4000 \cdot t)$ (V)

Решение:

$$Z = R + \frac{1}{j \omega C} = R - j \frac{1}{\omega C}; \quad z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}; \quad \varphi = \arctg\left(\frac{-1/\omega C}{R}\right)$$

$$z = \sqrt{25 + \left(\frac{1}{4000 \cdot 0.0001}\right)^2} = \sqrt{25 + 6.25} = 5.61(\Omega);$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{-1/0.4}{5}\right) = \arctg(-0.5) = -26,57^\circ; \quad Z = 5.61 \cdot e^{-j26,57} (\Omega)$$



$$\dot{i} = \frac{\dot{U} / \sqrt{2} e^{j \cdot 4000 \cdot t}}{Z} = \frac{10 / \sqrt{2} \cdot e^{j \cdot 4000 \cdot t}}{(5.61 \cdot e^{-j26,57})} = (1.78) / \sqrt{2} e^{+j26,57} e^{j \cdot 4000 \cdot t} (\text{A})$$

$$I_m \angle \psi_i = 1.78 \cdot e^{+j26,57}; \quad \dot{I} = I_m / \sqrt{2} \cdot e^{j \psi} = 1.259 e^{+j26,57}$$

$$i(t) = \text{Im}[1.78 \cdot e^{+j26,57} e^{j4000 \cdot t}] = 1.78 \sin(4000 \cdot t + 26.57^\circ) (\text{A})$$

Закони за анализ на електрическите вериги при променлив ток

$$i(t) = i_m \cdot e^{j(\omega t + \psi_i)} = i_m \cdot e^{j\psi_i} \cdot e^{j\omega t} = \dot{I}_m \cdot e^{j\omega t} = \sqrt{2} \dot{I} \cdot e^{j\omega t}$$

$$\dot{I}_m = i_m e^{j\psi_i} = i_m \angle \psi_i - \text{phasor}; \quad \dot{I} = I \cdot e^{j\psi_i} = \dot{I}_m / \sqrt{2}$$

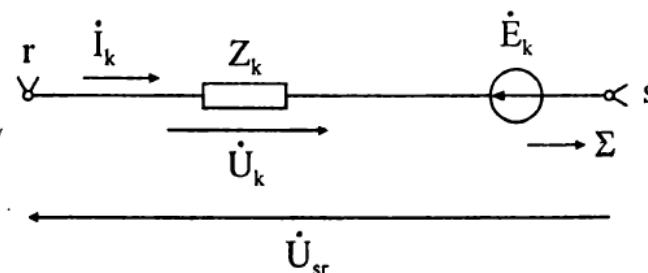
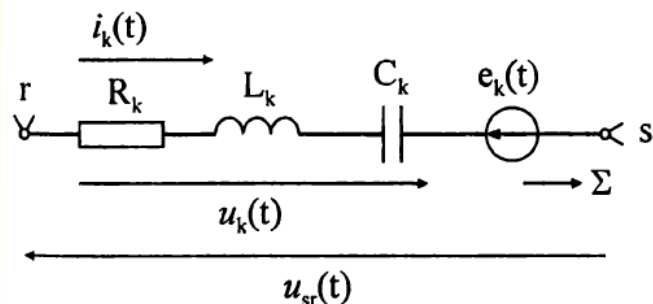
$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \rightarrow \dot{U}_m \cdot e^{j\omega t} = \sqrt{2} \dot{U} \cdot e^{j\omega t}$$

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u} = \dot{U}_m / \sqrt{2} - \text{комплексна ефект. стойност}$$

Комплексна ефективна стойност на тока \dot{I}

Обобщен закон на Ом-

Клон k , между възлите r и s , $i(t)$, е.д.н. $e(t)$, R , L , C



$$u_{sr\Sigma}(t) + e_{k\Sigma}(t) = u_{k\Sigma}(t)$$

$$-u_{sr}(t) - e_k(t) = u_k(t)$$

$$u_k(t) = R i_k(t) + L_k \frac{d i_k(t)}{d t} + \frac{1}{C_k} \int i_k(t) d t$$

комплексно съпротивление на клон k

$$Z_k = R_k + j\omega L_k - j \frac{1}{\omega C_k}$$

Интегро-диференциално у-ние за пада на напрежение в клон k

$$\dot{U}_{sr\Sigma} + \dot{E}_{k\Sigma} = \dot{U}_{k\Sigma} = Z_k \dot{I}_{k\Sigma}$$

Обобщен закон на Ом в комплексна форма- сумата на напрежението м/у възлите на клон k и е.д.н. e е равна на сумата на напрежителните падове в него.

Законите за анализ на електрическите вериги при променлив ток

Диференциални уравнения описват състоянието на веригата → при синусоидални сигнали, тези уравнения се преобразуват в АЛГЕБРИЧНИ У-НИЯ с помощта на символичния метод на представянето на сигналите в комплексна форма!

Първи закон на Кирхов-

$$\sum_{k=1}^K i_{k\Sigma}(t) = 0 \rightarrow \sum_{k=1}^K \text{Im}[i_{k\Sigma}(t)] = 0 \rightarrow \text{Im} \sum_{k=1}^K i_{k\Sigma}(t) = 0$$

$$\sum_{k=1}^K \sqrt{2} I_{k\Sigma} e^{j\omega t} = 0 \Rightarrow \sum_{k=1}^K I_{k\Sigma} = 0$$

Първи закон на Кирхов за комплексните ефективни стойности (амплитуди) на тока

Втори закон на Кирхов- аналогично извеждане

$$\sum_{k=1}^K \dot{U}_{k\Sigma} = \sum_{k=1}^K \dot{E}_{k\Sigma}$$

$$\sum_{k=1}^K Z_k \dot{I}_{k\Sigma} = \sum_{k=1}^K \dot{E}_{k\Sigma}$$

Втори закон на Кирхов в комплексен вид- сумата от ефективните комплексни стойности на напрежителните падове е равна на сумата от ефективните стойности на е.д.н

Зад.4 $u(t) = 10 \sin(4000.t)$ (V), Последователно свързани $R=3 \Omega$, $L=1$ mH, Колко е ефективната стойност на I =? (A)

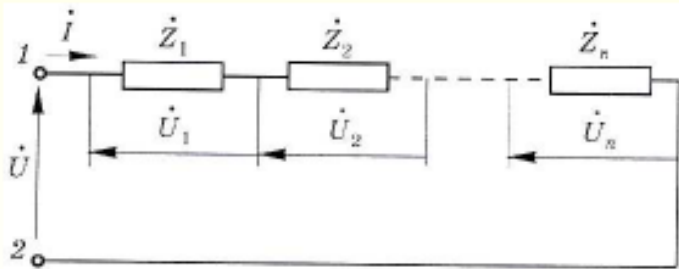
Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

4. Опростяване на сложни вериги

Задача: Дадени са захранващите източници и съпротивленията, да се определят токовете течащи по всеки клон на веригата.

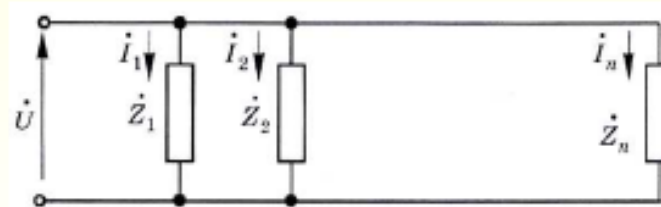
- Ако има повече от един източник в даден клон – замества се с 1 еквивалентен източник $E = E_1 + E_2 + \dots$

- Ако има повече от едно съпротивление (импеданс) – замества се с 1 еквивалентно съпротивление (импеданс).



$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = I \cdot R$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \rightarrow \dot{Z} = \sum_{i=1}^n \dot{Z}_i$$

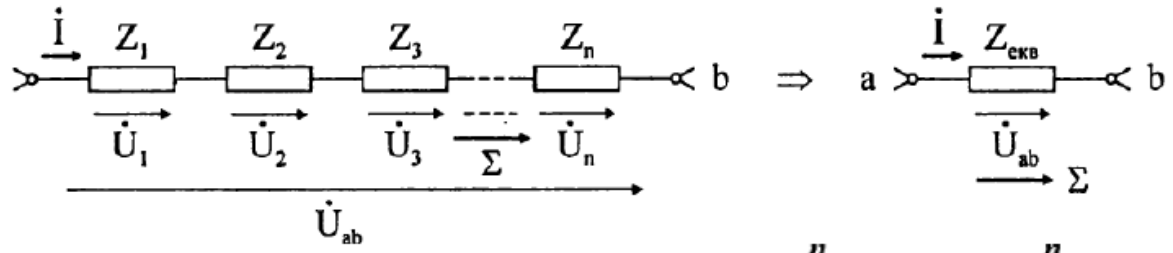


$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = U / R$$

$$R = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (1/R_i)} \rightarrow \dot{Z} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (1/\dot{Z}_i)}$$

6

Последователно съединение-клон между възлите a и b, I , последователно Z_1, Z_2, \dots



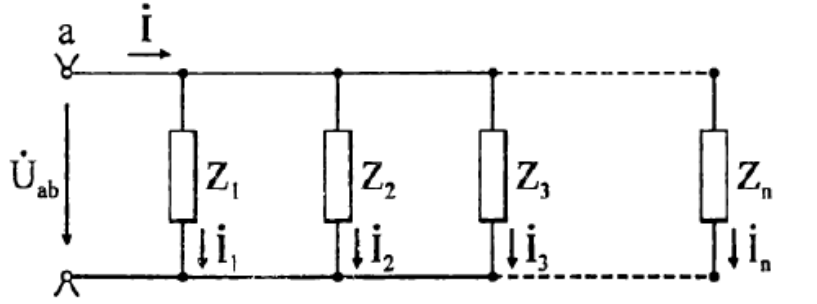
еквивалентно съпротивление на клонa к

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dots + \dot{U}_k + \dots + \dot{U}_n = \sum_{k=1}^n i Z_k = i \sum_{k=1}^n Z_k \quad \dot{U}_{ab} = i Z_{\text{екв}} \quad Z_{\text{екв}} = \sum_{k=1}^n Z_k$$

Зад.5 Последователно са свързани $C_1=5 \text{ mF}$, $R_1=10\Omega$, $L_1=2 \text{ mH}$, $R_2=2\Omega$, $C_2=2\text{mF}$, $L_2=4 \text{ mH}$ а $f=100 \text{ Hz}$. Определете еквивалентното съпротивление.

Паралелно съединение

Постановка на задачата. Между възлите a и b на електрическа верига са включени в паралел n на брой комплексни съпротивления $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$



$$\frac{1}{Z_{\text{екв}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{Z_k} \quad Y_{\text{екв}} = \sum_k Y_k$$

$$i = \sum_{k=1}^n \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_k} = \dot{U}_{ab} \sum_{k=1}^n \frac{1}{Z_k} \quad i = U_{ab} \frac{1}{Z_{\text{екв}}}$$

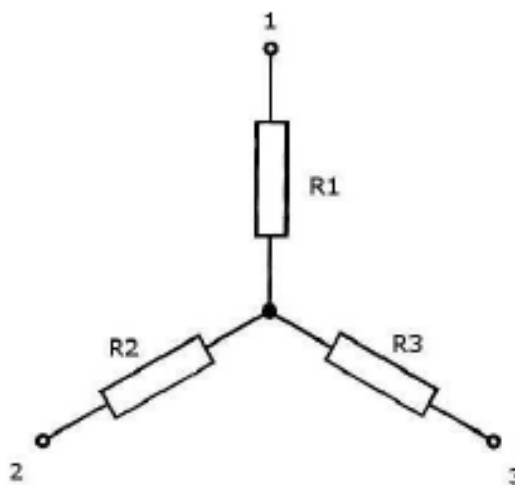
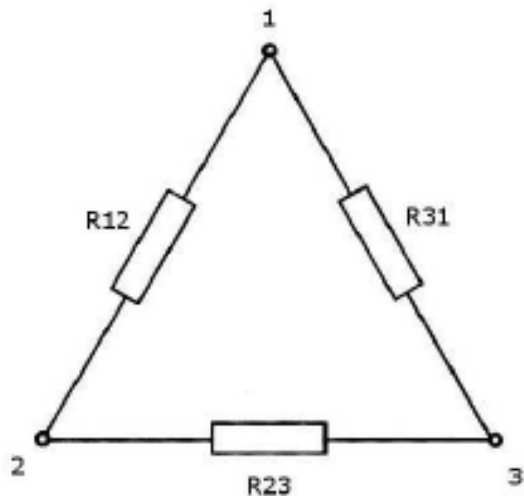
$$i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n = \sum_{k=1}^n i_k$$

Зад.6 Паралелно са свързани $C_1=5 \text{ mF}$, $R_1=10\Omega$, $L_1=2 \text{ mH}$, $R_2=2\Omega$, $C_2=2\text{mF}$, $L_2=4 \text{ mH}$ а $f=100 \text{ Hz}$. Определете еквивалентното съпротивление.

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

Свързване тип Δ триъгълник се заменя с тип звезда, като I и U остават същите във възловите точки.

Създаваме с-ма уравнения:



$$\rightarrow R_1 + R_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{23} + R_{31}}}$$

$$R_1 + R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{31}} + \frac{1}{R_{12} + R_{23}}}$$

$$R_2 + R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_{12} + R_{31}}}$$

Решението на с-мата уравнения:

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

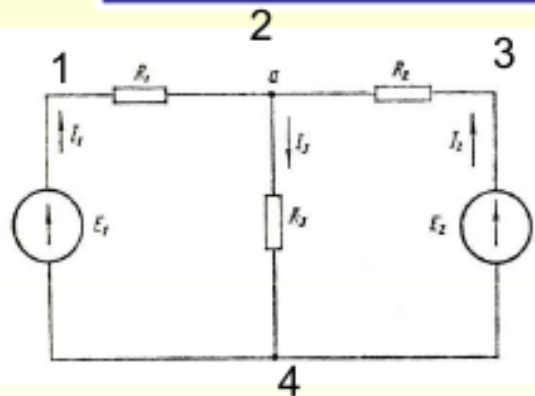
$$R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_3 = \frac{R_{23} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

5. Методи за пресмятане на линейни електрически вериги

Задача - Да се намерят токовете в клоновете на веригата.



$E_1 = 10 \text{ V}$, $E_2 = 26 \text{ V}$ – идеални източници

$R_1 = 200 \ \Omega$, $R_2 = 500 \ \Omega$, $R_3 = 100 \ \Omega$

5 - брой клонове

4 - брой възли

$$I_1, I_2, I_3 = ?$$

5.1 Метод на Кирхов

За определяне на токовете I_j се съставя система от j - брой уравнения,
като се спазват следните правила:

По I-я закон на Кирхов се написват независими уравнения за токовете във възлите:

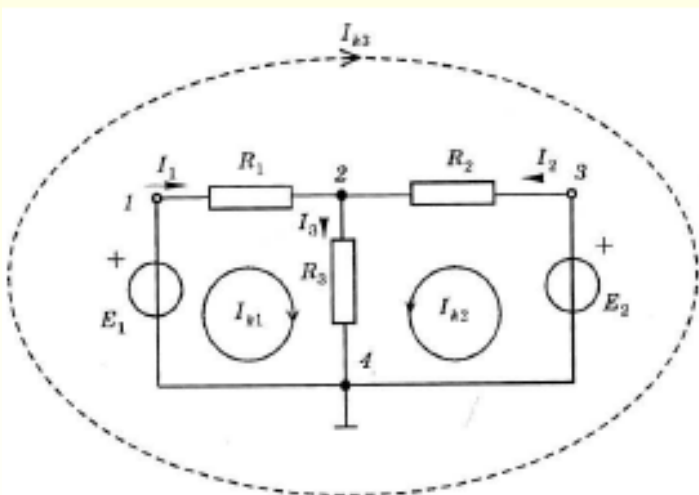
$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \text{ - възловата точка 2}$$

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \text{ - възловата точка 4 - повтаря горното у-ние}$$

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

Останалите уравнения се записват, като се използва II-я закон на Кирхов. Токовете кръгове се избират така, че всеки следващ да съдържа поне един нов клон (образуваните по този начин уравнения са независими).

2- на брой уравнения



$$\begin{aligned} -E_1 + I_1 R_1 + R_3 I_3 &= 0 \rightarrow R_1 \cdot I_1 + R_3 \cdot I_3 = E_1 \\ -E_2 + I_2 R_2 + R_3 I_3 &= 0 \rightarrow R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3 = E_2 \end{aligned}$$

*Ако при пресмятането за някой ток се получи **отрицателна стойност**, това показва, че протичащият през клона ток тече в **обратна** на предварително избраната посока!*

Метод на Кирхов

$$E_1 = 10 \text{ V}, E_2 = 26 \text{ V}, R_1 = 200\Omega, R_2 = 500\Omega, R_3 = 100\Omega$$

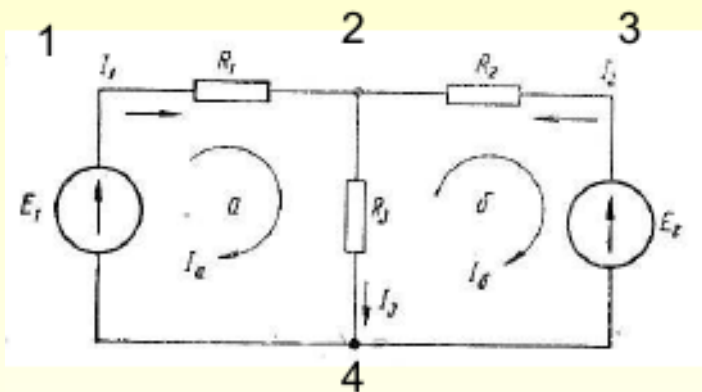
$$I_3 = I_1 + I_2$$

$$R_1 I_1 + R_3 (I_1 + I_2) = E_1$$

$$R_2 I_2 + R_3 (I_1 + I_2) = E_2$$

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

5.2 Метод на контурните токове (метод на Максвел)



Броят на уравненията, необходими за пресмятане на токовете може да се намали, като приемем, че по контурите тече **условни контурни токове I_j** , които се определят по II-закон на Кирхоф.

Избираме 2 **независими** токови контура с условни **контурни токове I_a и I_b** , търсим $I_1, I_2, I_3 = ?$

$$\sum_{k=1}^n E_{jk} = \sum_{k=1}^n U_{jk} \quad \text{- по втория закон на Кирхоф, където } k \text{ е номер на клоната.}$$

$$U_{jk} = R_{jk} I_k = R_{jk} I_j + R_{jk} I_i$$

$$\sum_{k=1}^n E_{jk} = \left(\sum_{k=1}^n R_{jk} \right) I_j + \sum_{i=1}^n R_{ji} I_i$$

$$\begin{cases} -E_1 + (R_1 + R_3)I_a - R_3 \cdot I_\delta = 0 \\ (R_2 + R_3)I_\delta - I_a \cdot R_3 + E_2 = 0 \end{cases}$$

от второто уравнение определяме тока I_a

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

от второто уравнение определяме тока I_a

$$R_3 \cdot I_a = E_2 + (R_2 + R_3)I_\delta \quad \rightarrow \quad I_a = \frac{E_2 + (R_2 + R_3)I_\delta}{R_3}$$

$$E_1 = (R_1 + R_3)I_a - R_3 \cdot I_\delta$$

$$E_1 = \frac{(R_1 + R_3) \cdot [E_2 + (R_2 + R_3)I_\delta]}{R_3} - R_3 \cdot I_\delta$$

$$R_3 \cdot E_1 = (R_1 + R_3)E_2 + (R_1 + R_3)(R_2 + R_3)I_\delta - R_3^2 I_\delta$$

$$R_3 \cdot E_1 - (R_1 + R_3)E_2 = [(R_1 + R_3)(R_2 + R_3) - R_3^2] I_\delta$$

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

$$I_{\delta} = \frac{R_3 \cdot E_1 - (R_1 + R_3)E_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_2 + R_3^2 - R_3^2} =$$

$$= \frac{100 \cdot 10 - 300 \cdot 26}{100000 + 20000 + 50000}$$

$$I_{\delta} = -\frac{7800 - 1000}{170000} = \frac{-6800}{170000} = \frac{-4}{100} = -40 \text{ mA} = -I_2$$

Токът I_2 е противоположен на I_6

$$I_{\delta} = -40 \text{ mA}$$

$$I_a = \frac{E_2 + (R_2 + R_3)I_{\delta}}{R_3} = \frac{26 - (600)0.04}{100} = \frac{2}{100} = 20 \text{ mA} = I_1$$

$$I_3 = I_a - I_{\delta} = 20 - (-40) = 60 \text{ mA}$$

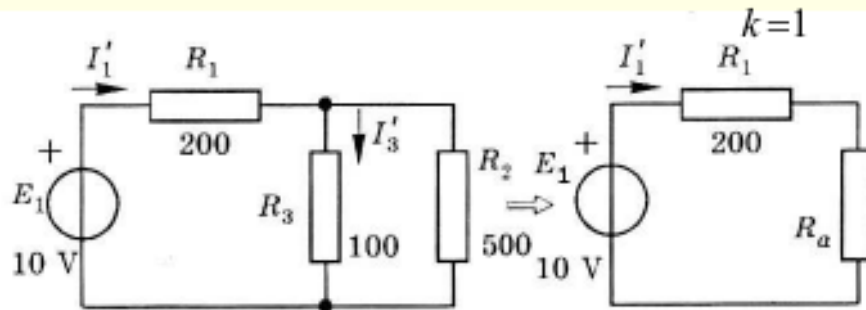
Токът I_1 е паралелен на I_a

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

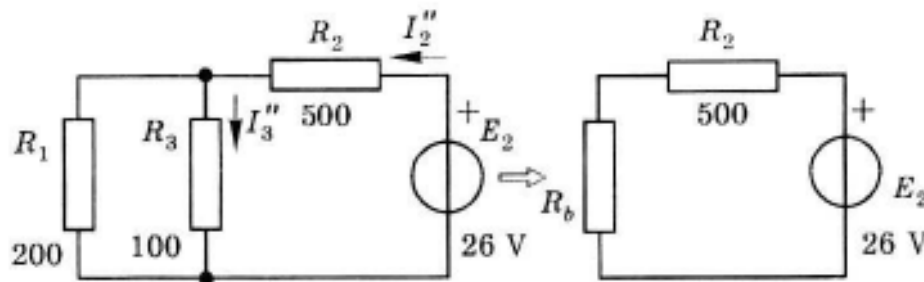
5.3 Прилагане на принципа на суперпозицията за линейни вериги

Напрежението(или токът) в един клон, създадено от няколко независими източника, е равно на векторната сума на напреженията (токовете), получени във същия клон, когато всеки от източниците действа самостоятелно.

$$I_j = I_{j1} + I_{j2} + \dots + I_{jn} = \sum_{k=1}^n I_{jk}$$



Определяме еквивалентните схеми, като действа само източник 1, който създава токове I_{11}, I_{12}, I_{13} и само източник 2, който създава токове I_{21}, I_{22}, I_{23} .



$$I_1 = I_{11} + I_{21}$$

$$I_2 = I_{12} + I_{22}$$

$$I_3 = I_{13} + I_{23}$$

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

- Трябва да определим б-те тока. Нека действа само източник 1:

$$R_a \Rightarrow \frac{1}{R_a} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_a = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{500 \cdot 100}{600} = 83.33 \Omega$$

$$I_{11} = \frac{E_1}{R_1 + R_a} = \frac{10}{200 + 88.33} = 35,3 \text{ mA}$$

$$R_3 \cdot I_{13} = I_{12} \cdot R_2 \quad I_{13} = \frac{R_2}{R_3} \cdot I_{12} = \frac{500}{100} \cdot I_{12}$$

$$I_{11} = I_{12} + I_{13} \Rightarrow \frac{R_2}{R_3} \cdot I_{12} + I_{12} = I_{11} \rightarrow 5 \cdot I_{12} + I_{12} = I_{11}$$

$$I_{12} = I_{11} / 6 = 5.9 \text{ mA} \quad I_{13} = 5 \cdot I_{12} = 5 \cdot 5,9 = 29.4 \text{ mA}$$

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

(2) Действа само източник 2

$$R_b \Rightarrow \frac{1}{R_b} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1} \quad R_b = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_3 + R_1} = \frac{200}{3} = 66,66\Omega$$

$$I_{22} = \frac{E_2}{R_2 + R_b} = \frac{26}{500 + 66,66} = 45,88 \text{ mA}$$

Електрически вериги при постоянен и променлив ток. Основни закони.

$$I_{21} + I_{23} = I_{22} \quad R_1 \cdot I_{21} = R_3 \cdot I_{23} \quad I_{23} = \frac{R_1}{R_3} \cdot I_{21}$$

$$I_{21} \left(1 + \frac{R_1}{R_3}\right) = I_{22} \Rightarrow I_{21} = \frac{45,88}{1 + 2} = 15,29 \text{ mA}$$

$$I_{23} = 2 \cdot I_{21} = 30,6 \text{ mA}$$

$$I_1 = I_{11} + I_{21} = 35,3 - 15,29 = 20 \text{ mA}$$

$$I_2 = I_{22} - I_{12} = 45,88 - 5,9 = 40 \text{ mA}$$

$$I_3 = I_{13} + I_{23} = 29,4 + 30,6 = 60 \text{ mA}$$

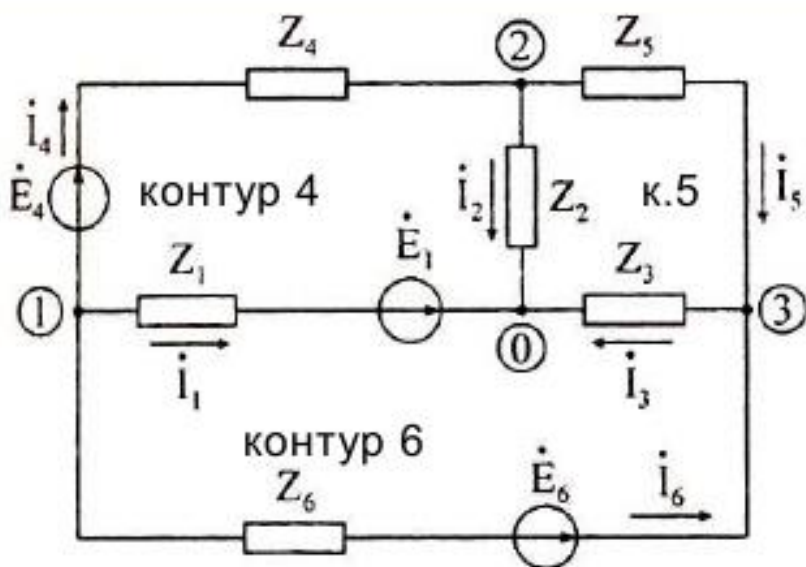
Домашно на 14.04.2026

Зад.4 Последователно свързани $R=3 \Omega$, $L=1 \text{ mH}$ към източник на напрежение $u(t) = 10 \sin(4000.t) \text{ (V)}$, Колко е ефективната стойност на тока $I = ? \text{ (A)}$

Задача: Определете токовете в следната схема

$E_1=15 \text{ V}$, $E_4=20 \text{ V}$, $E_6= 25 \text{ V}$, $Z_1=100$, $Z_2=200$, $Z_4=100$, $Z_3=400$,

$Z_5=150$, $Z_6=300 \Omega$. Напишете 6-те уравнения и посочете метода на изчисление.



$$-I_1 - I_4 - I_6 = 0 \quad \text{възел 1}$$

$$-I_2 + I_4 - I_5 = 0 \quad \text{възел 2}$$

$$I_5 - I_3 + I_6 = 0 \quad \text{възел 3}$$