



Цепи с
ИНДУКТИВНОЙ
СВЯЗЬЮ



Взаимная
ИНДУКТИВНОСТЬ

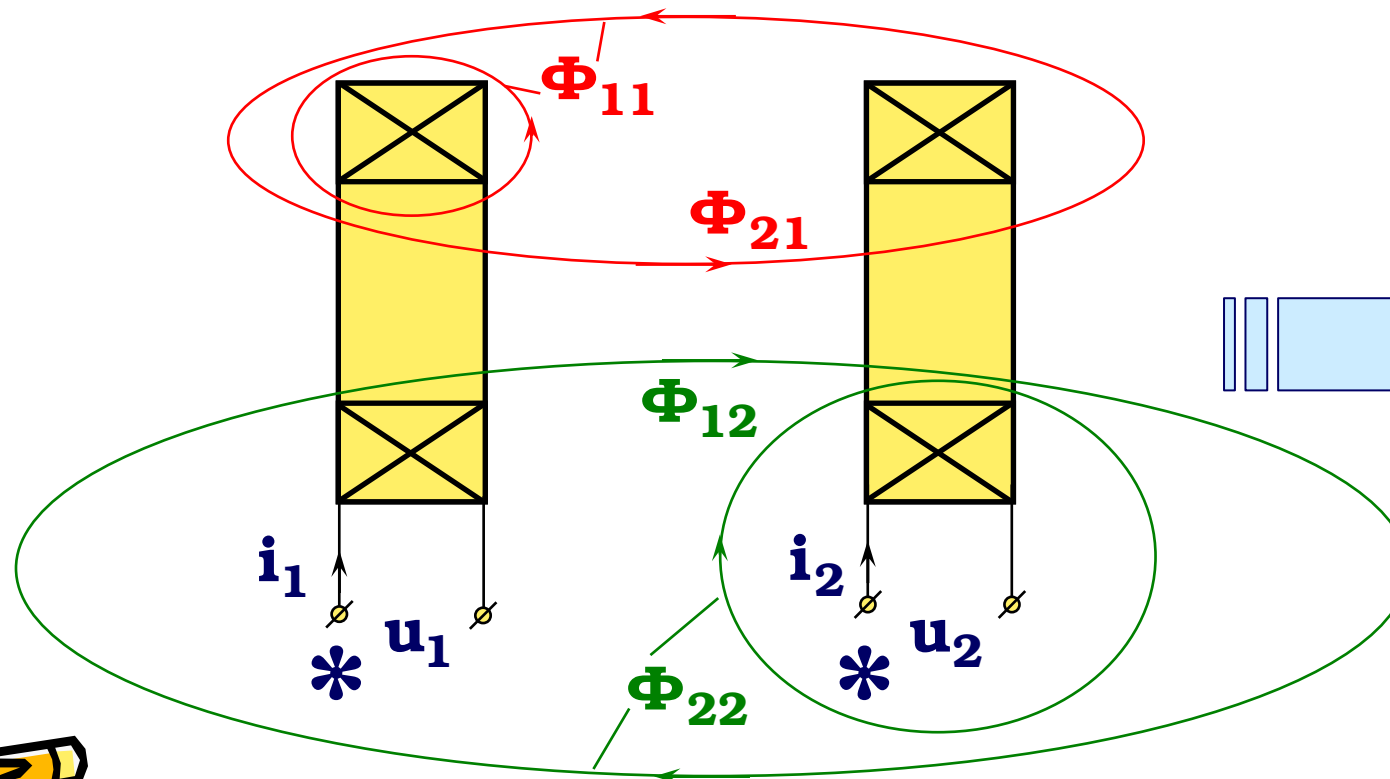
$$M = \frac{W_1 \Phi_{12}}{i_2} = \frac{W_2 \Phi_{21}}{i_1}, \text{ Гн}$$

Коэффициент связи

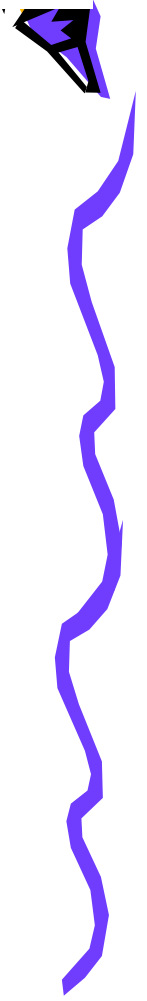
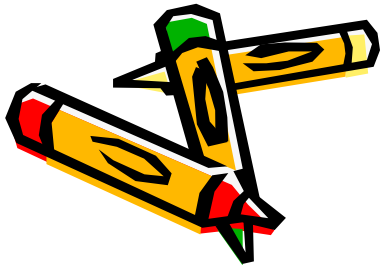
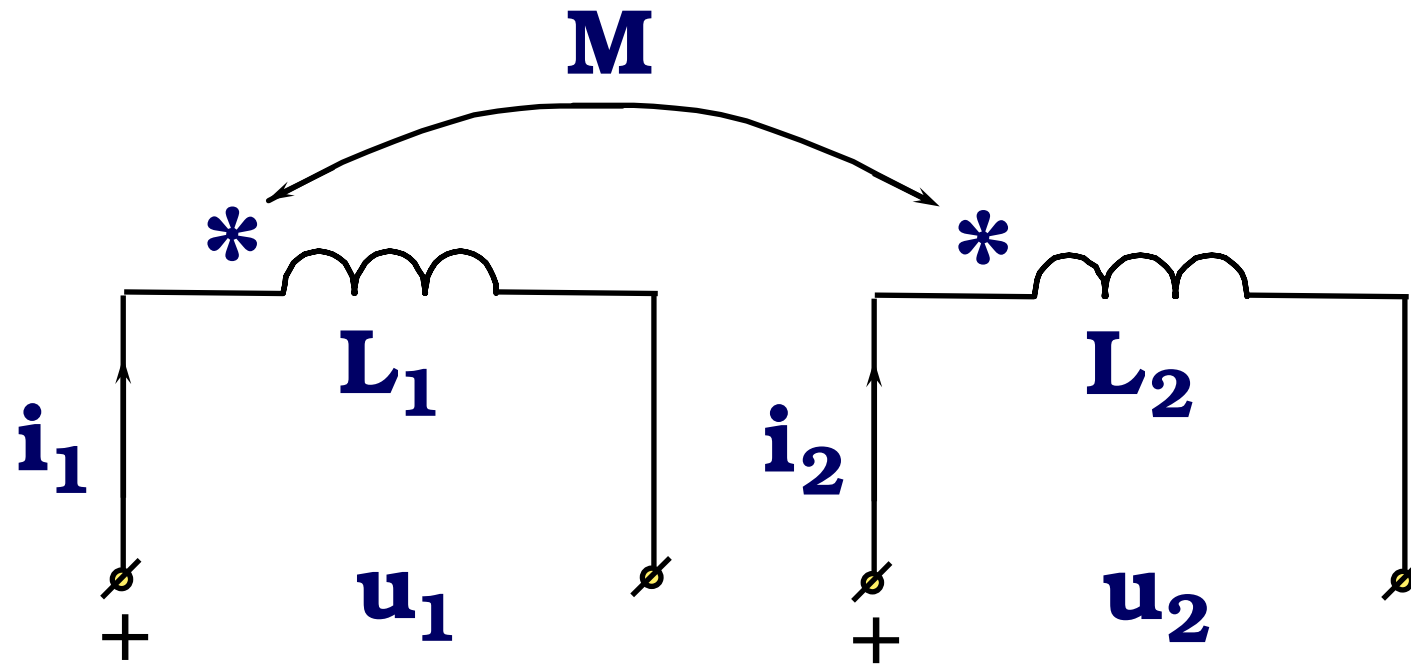
$$K_{\text{св}} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} < 1$$

- Где
- W_1 и W_2 • числа витков катушек
 - Φ_{12} и Φ_{21} • взаимные магнитные потоки
 - i_1 и i_2 • токи катушек
 - L_1 и L_2 • собственные индуктивности катушек

1. Согласное включение



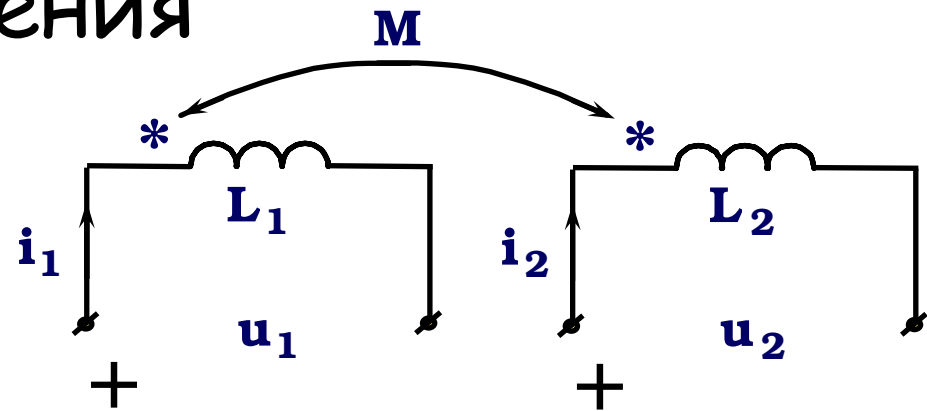
При согласном включении токи катушек i_1 и i_2 ориентированы одинаковым образом относительно одноименных зажимов (*)



Напряжения

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$



При гармонических токах и напряжениях

$$\underline{U}_1 = j\omega L_1 \underline{I}_1 + j\omega M \underline{I}_2$$

$$\underline{U}_2 = j\omega L_2 \underline{I}_2 + j\omega M \underline{I}_1$$

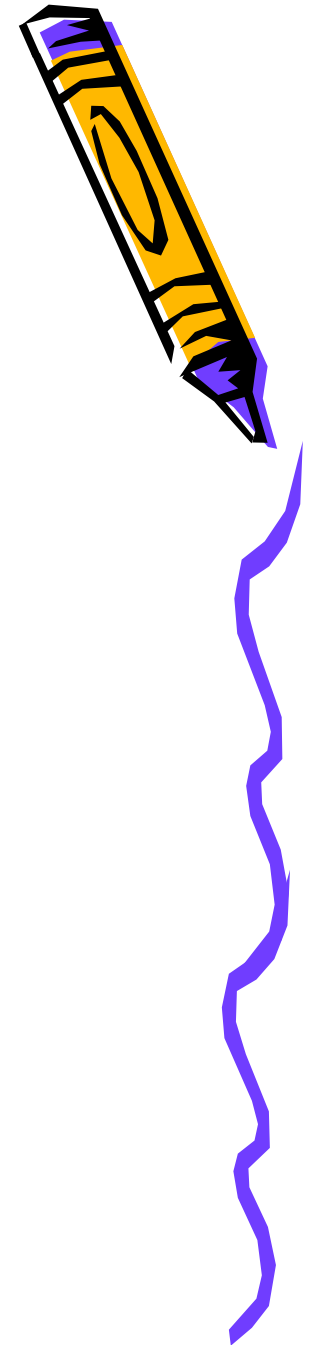
Где

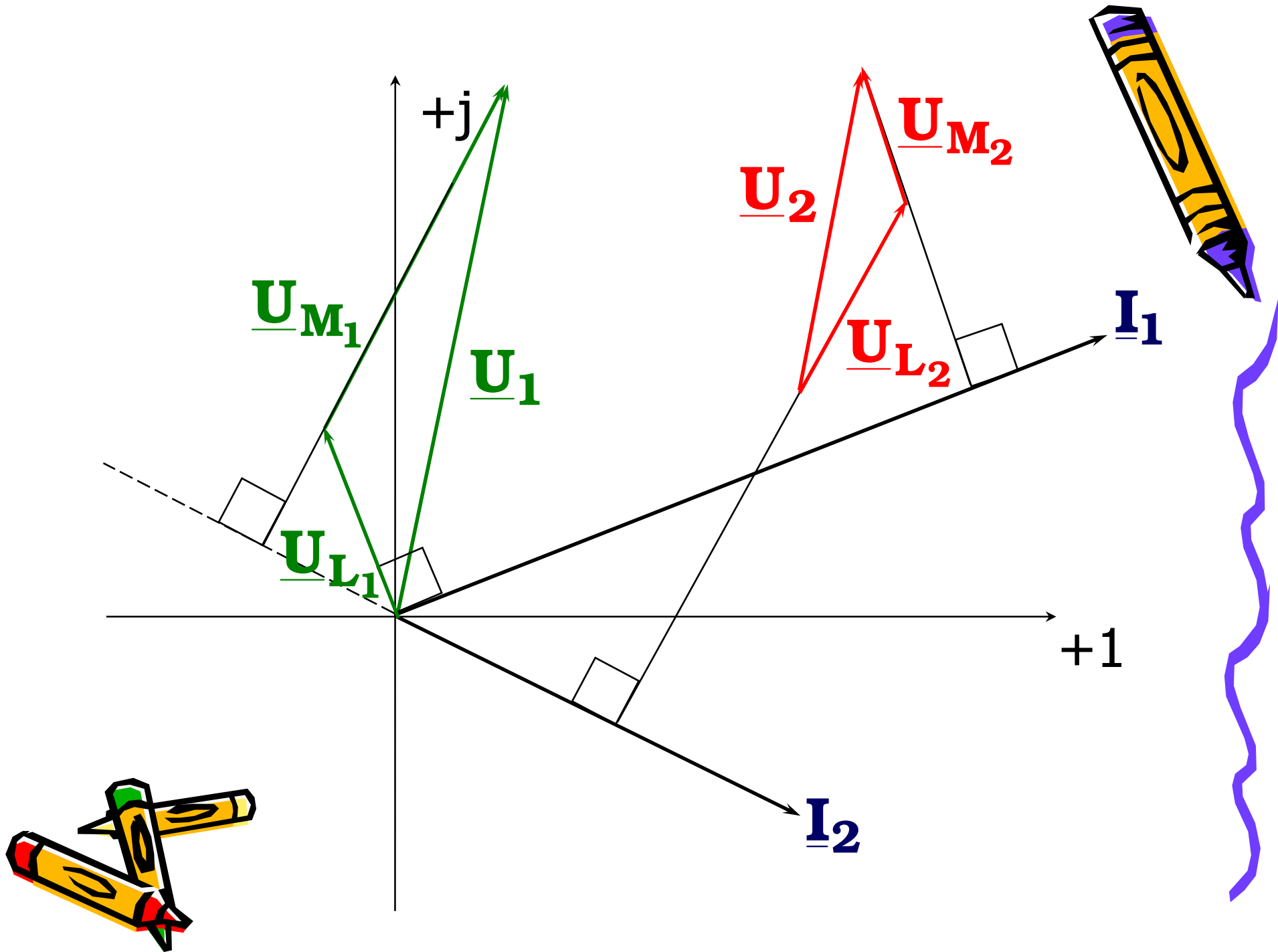
$$X_{L_1} = \omega L_1 \quad X_{L_2} = \omega L_2$$

- индуктивные сопротивления

$$X_M = \omega M$$

- сопротивление взаимной индукции

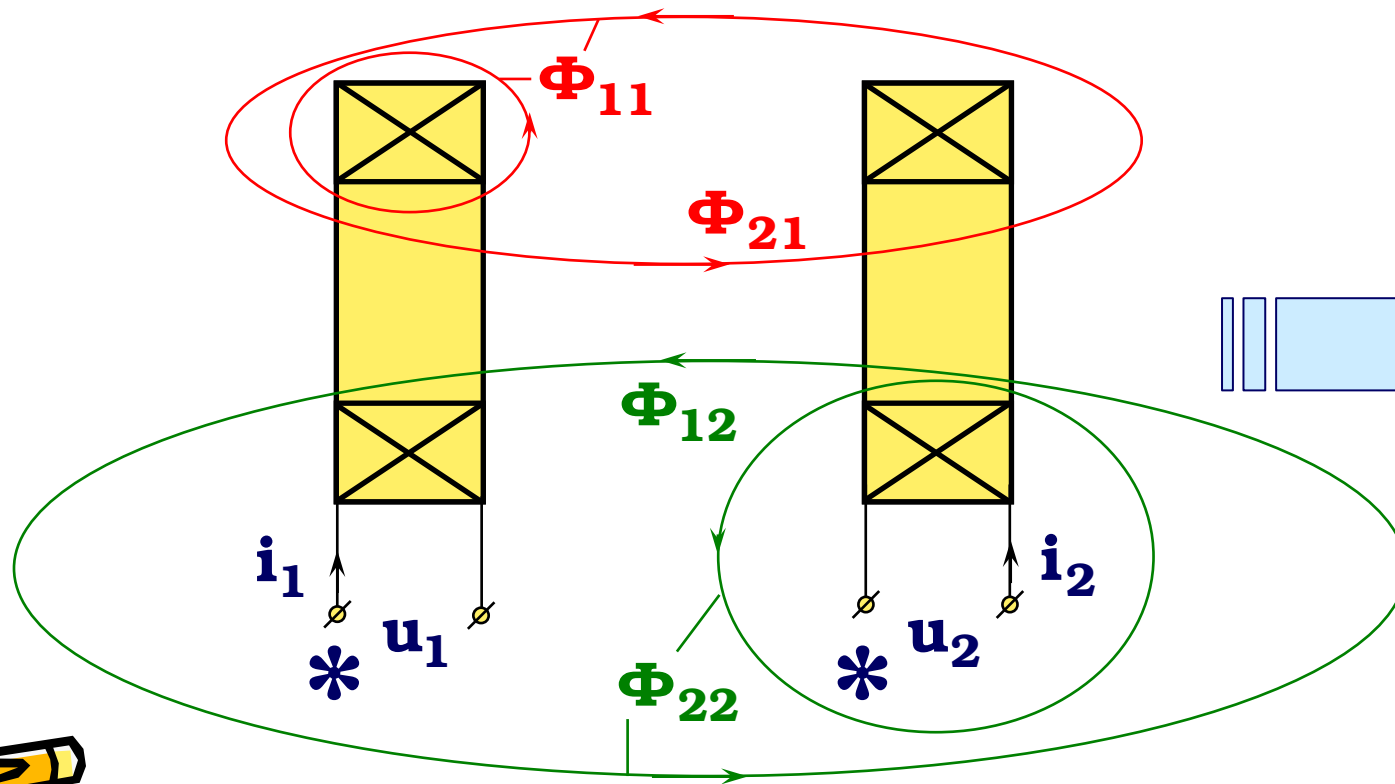


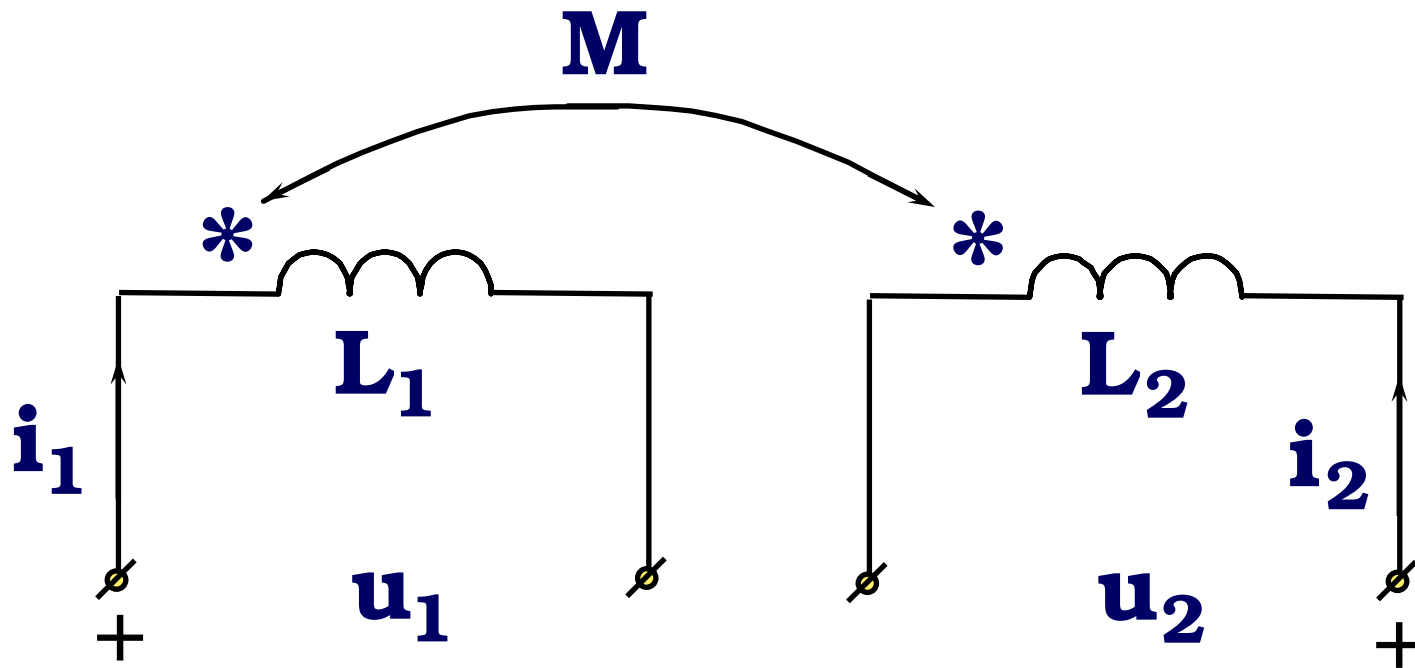


При согласном включении
составляющие напряжений
взаимной индукции \underline{U}_{M1} и \underline{U}_{M2}
опережают токи их
создающие \underline{I}_2 и \underline{I}_1
соответственно на 90°

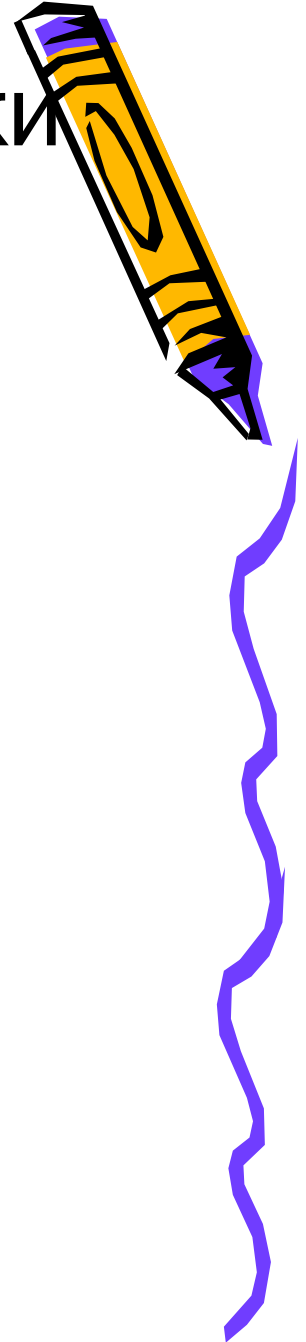


2. Встречное включение





При встречном включении токи
катушек i_1 и i_2
ориентированы различным
образом относительно
одноименных зажимов (*)



Напряжения

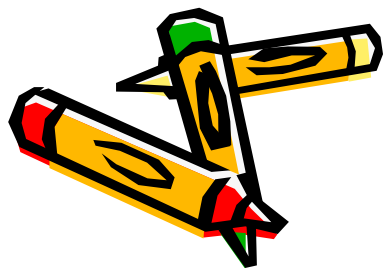
$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

При гармонических токах и напряжениях

$$\underline{U}_1 = j\omega L_1 \underline{I}_1 - j\omega M \underline{I}_2$$

$$\underline{U}_2 = j\omega L_2 \underline{I}_2 - j\omega M \underline{I}_1$$



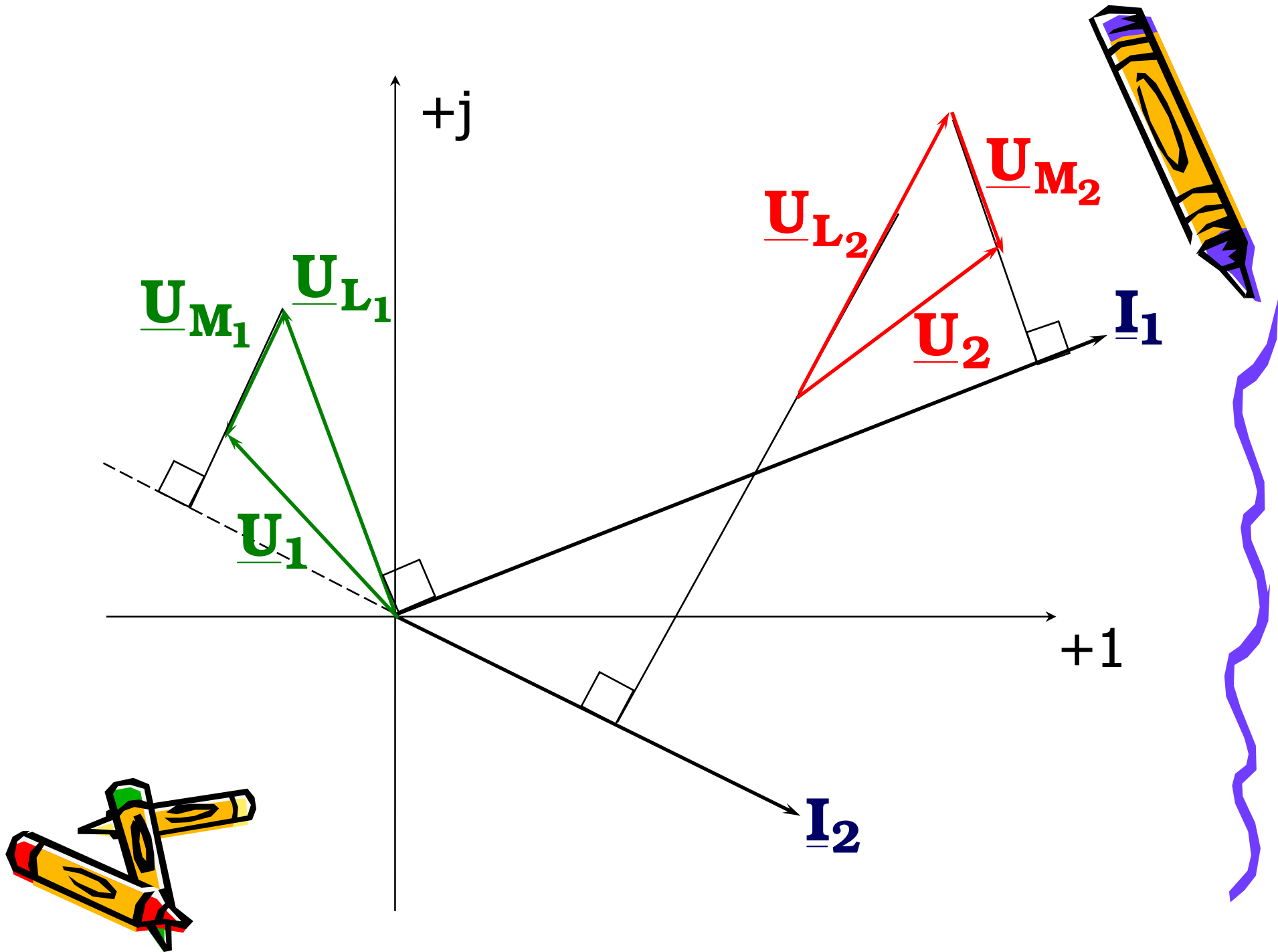
Где

$$\underline{U}_{M_1} = -j\omega M \underline{I}_2 = -jX_M \underline{I}_2$$

$$\underline{U}_{M_2} = -j\omega M \underline{I}_1 = -jX_M \underline{I}_1$$

- составляющие, обусловленные взаимной индуктивностью





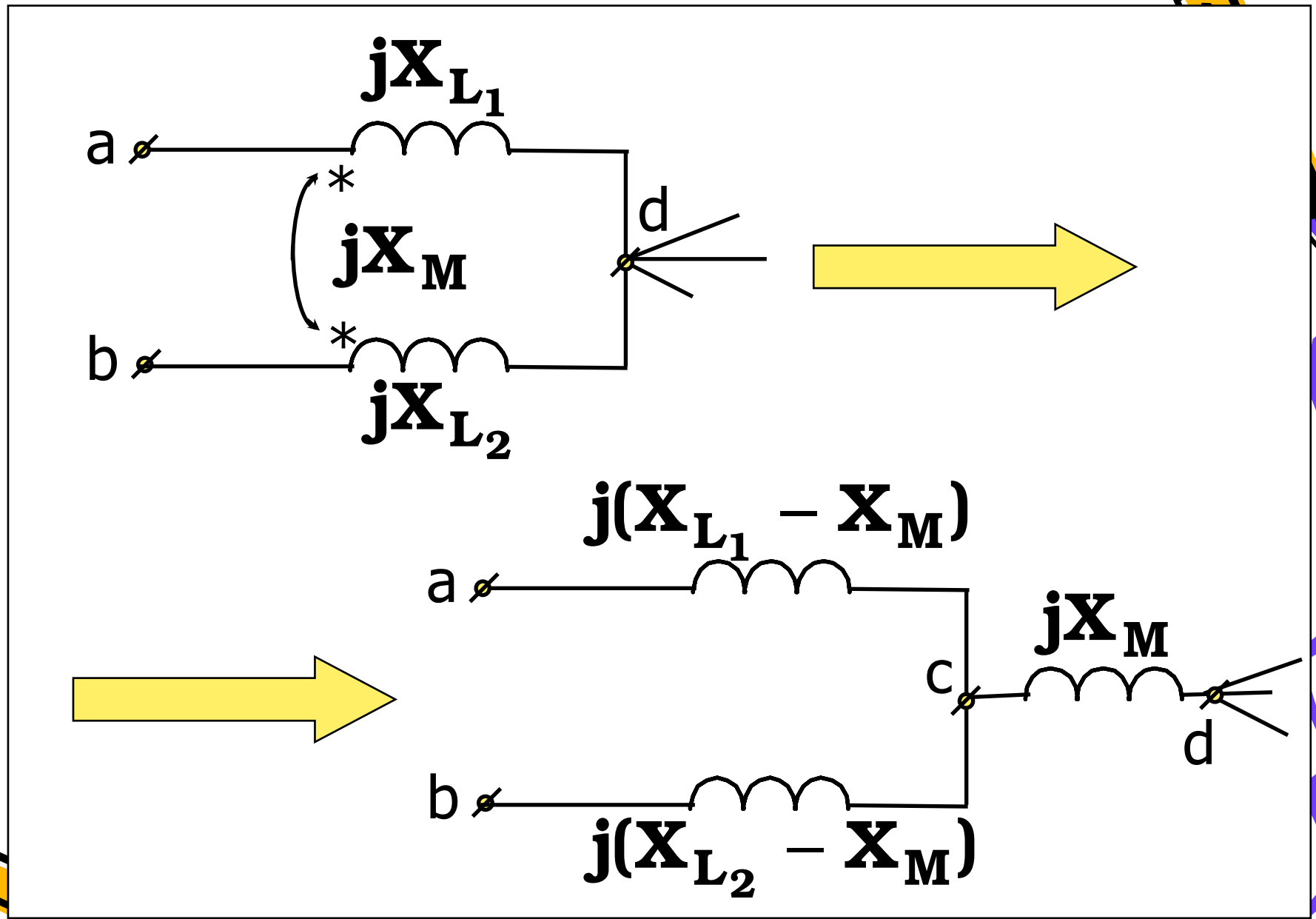
При встречном включении
составляющие напряжений
взаимной индукции \underline{U}_{M1} и \underline{U}_{M2}
отстают от токов их
создающих \underline{I}_2 и \underline{I}_1
соответственно на 90°



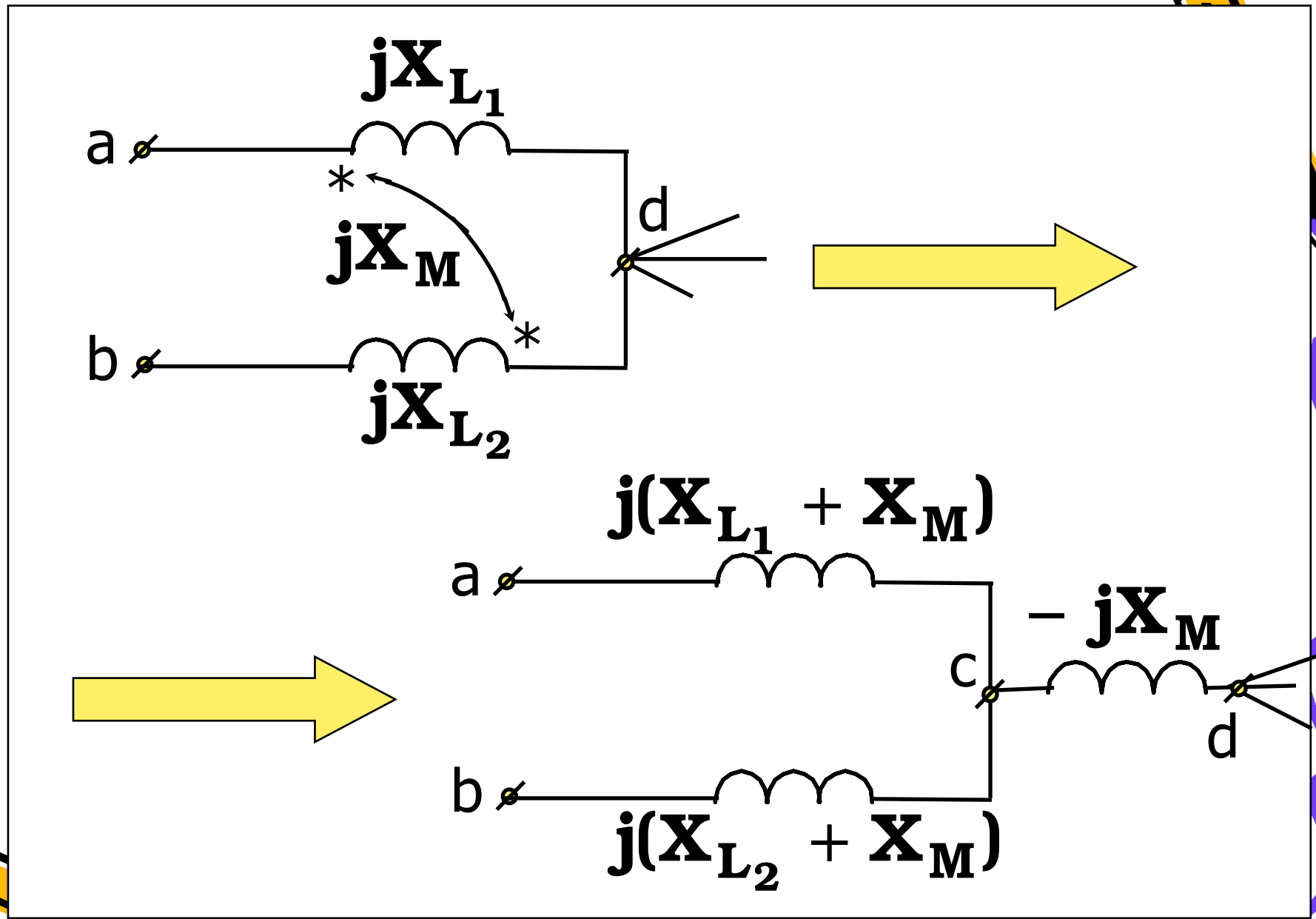


1. Развязка ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗИ

*1. Два индуктивно связанных
элемента подходят
одинаковым образом к
общему узлу (d)*

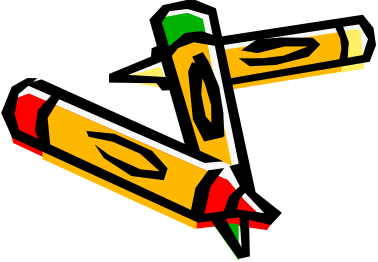
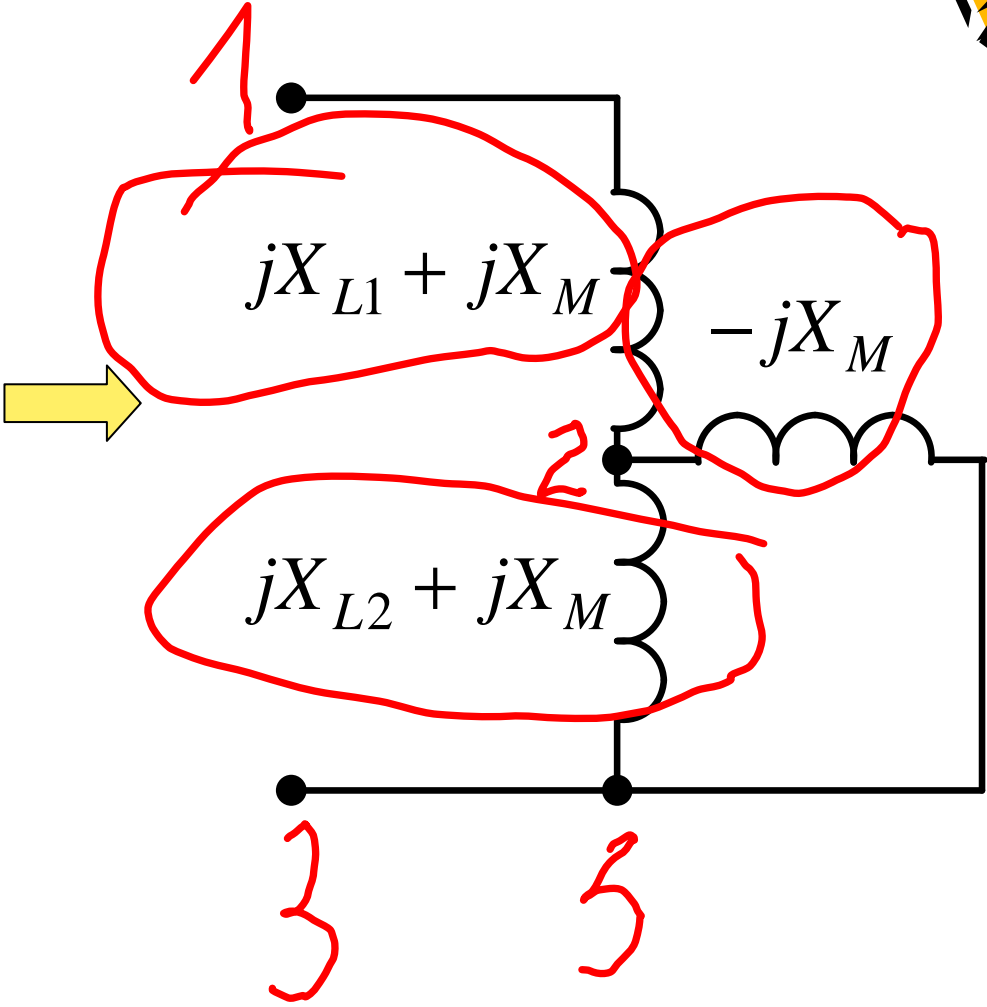
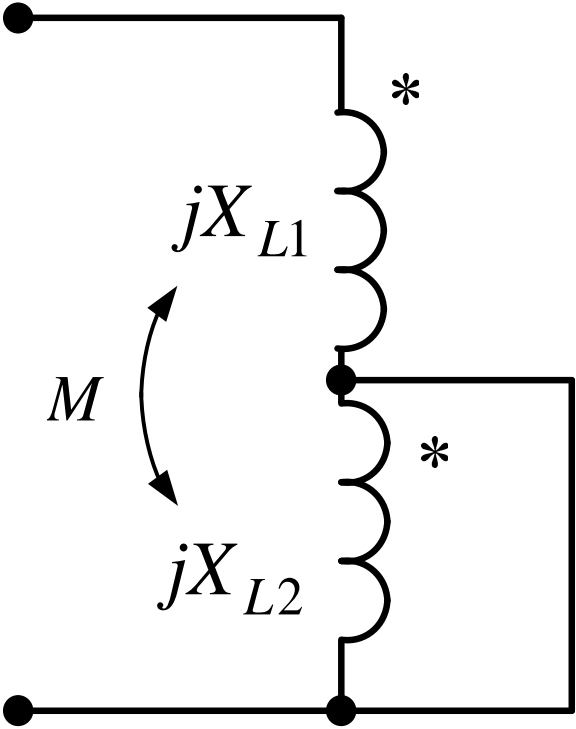


*2. Два индуктивно связанных
элемента подходят
различным образом к общему
узлу (d)*



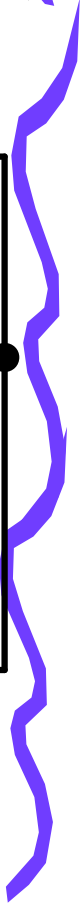
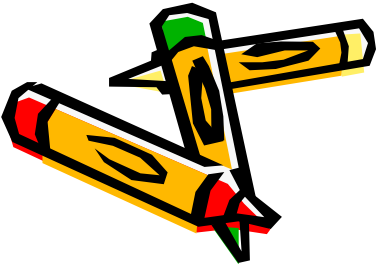
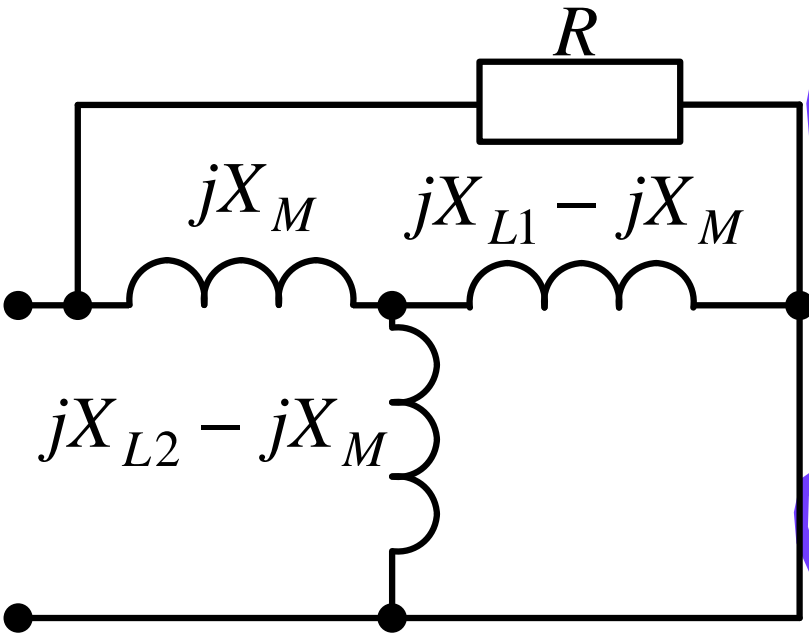
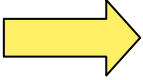
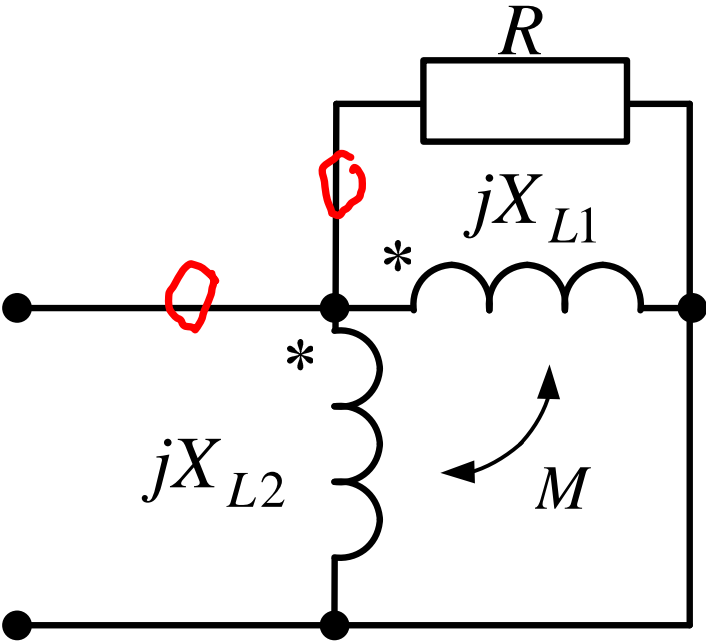
Пример 1:

Выполнить развязку



Пример 2:

Выполнить развязку



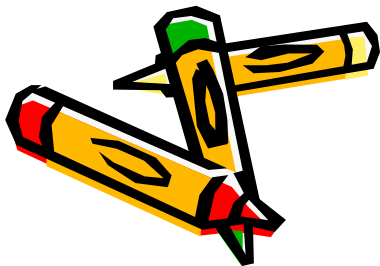
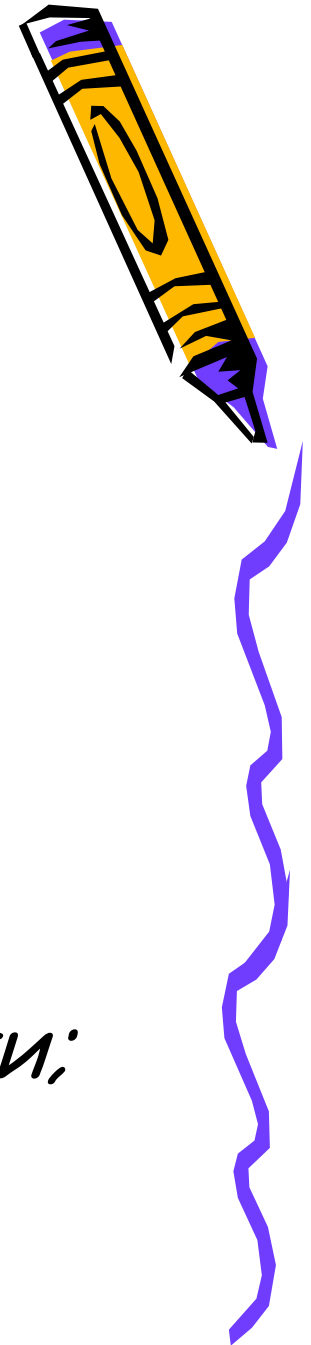
2. Метод КОНТУРНЫХ ТОКОВ



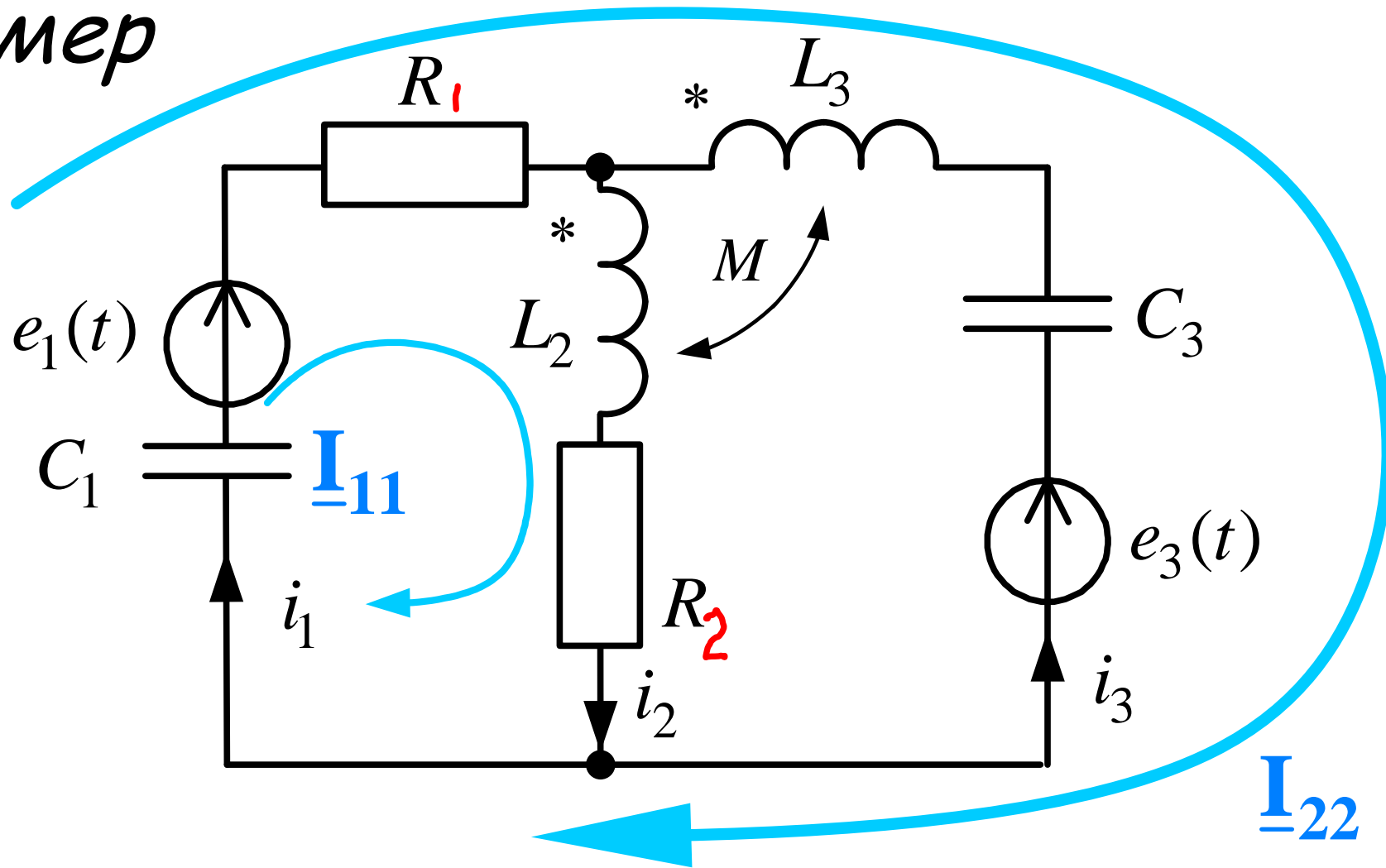
• *Контурные токи выбираются так чтобы:*

--*ИСТОЧНИК ТОКА* ВХОДИЛ ТОЛЬКО *В ОДИН* КОНТУРНЫЙ ТОК.

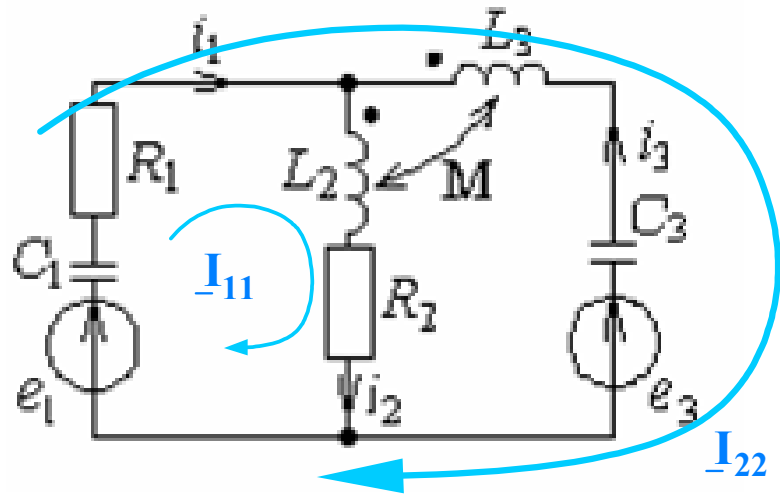
--ИНДУКТИВНОСВЯЗАННЫЕ *КАТУШКИ* ВХОДИЛИ *В РАЗНЫЕ* КОНТУРНЫЕ ТОКИ;



Пример



$$\begin{aligned}
 &(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2 + \mathbf{jX}_{L_2} - \mathbf{jX}_{C_1})\underline{I}_{11} + \\
 &\quad + (\mathbf{R}_1 - \mathbf{jX}_{C_1})\underline{I}_{22} + \mathbf{jX}_M \underline{I}_{22} = \underline{E}_1
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & (\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2 + j\mathbf{X}_{L_2} - j\mathbf{X}_{C_1}) \underline{\mathbf{I}}_{11} + \\
 & \quad + (\mathbf{R}_1 - j\mathbf{X}_{C_1}) \underline{\mathbf{I}}_{22} + j\mathbf{X}_M \underline{\mathbf{I}}_{22} = \underline{\mathbf{E}}_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (\mathbf{R}_1 - j\mathbf{X}_{C_1} + j\mathbf{X}_{L_3} - j\mathbf{X}_{C_3}) \underline{\mathbf{I}}_{22} \\
 & \quad + (\mathbf{R}_1 - j\mathbf{X}_{C_1}) \underline{\mathbf{I}}_{11} + j\mathbf{X}_M \underline{\mathbf{I}}_{11} = \underline{\mathbf{E}}_1 - \underline{\mathbf{E}}_3
 \end{aligned}$$

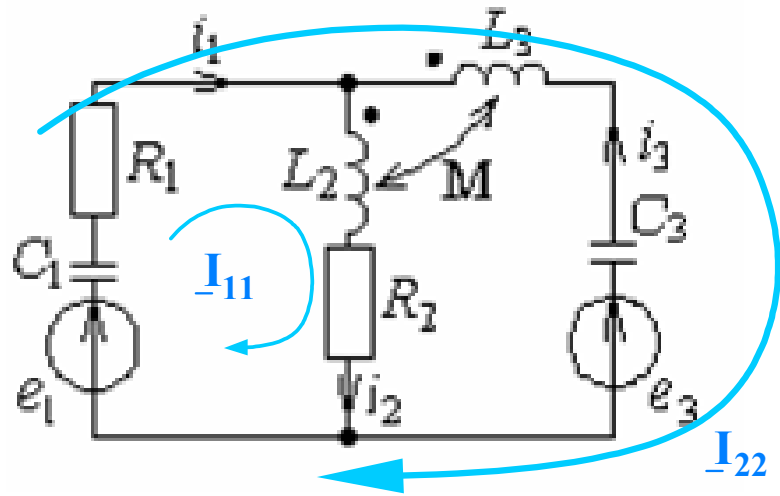




$$\begin{aligned} & (\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2 + j\mathbf{X}_{L_2} - j\mathbf{X}_{C_1})\underline{\mathbf{I}}_{11} + \\ & \quad + (\mathbf{R}_1 - j\mathbf{X}_{C_1})\underline{\mathbf{I}}_{22} + j\mathbf{X}_M\underline{\mathbf{I}}_{22} = \underline{\mathbf{E}}_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (\mathbf{R}_1 - j\mathbf{X}_{C_1} + j\mathbf{X}_{L_3} - j\mathbf{X}_{C_3})\underline{\mathbf{I}}_{22} \\ & \quad + (\mathbf{R}_1 - j\mathbf{X}_{C_1})\underline{\mathbf{I}}_{11} + j\mathbf{X}_M\underline{\mathbf{I}}_{11} = \underline{\mathbf{E}}_1 - \underline{\mathbf{E}}_3 \end{aligned}$$

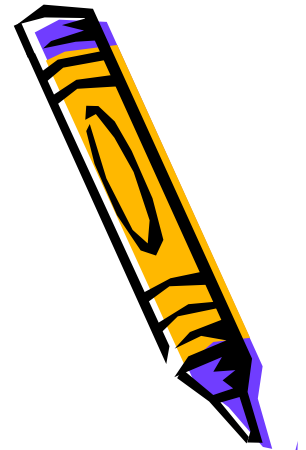




$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{11} + \underline{I}_{22}$$

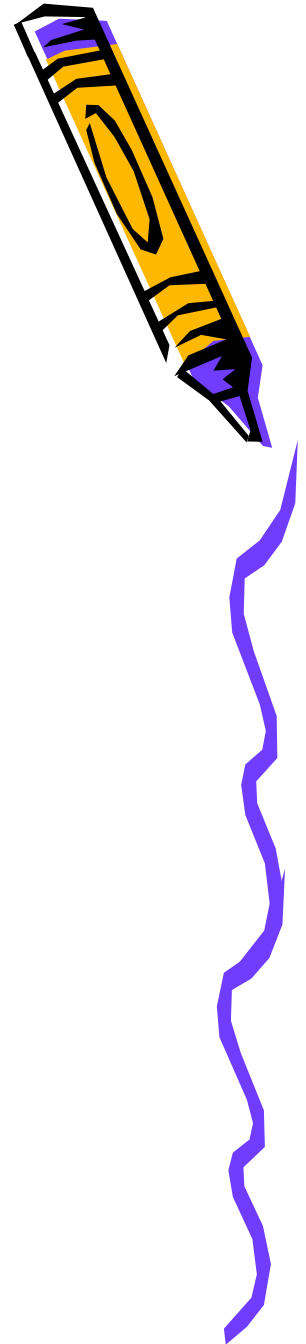
$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{11}$$

$$\underline{I}_3 = -\underline{I}_{22}$$

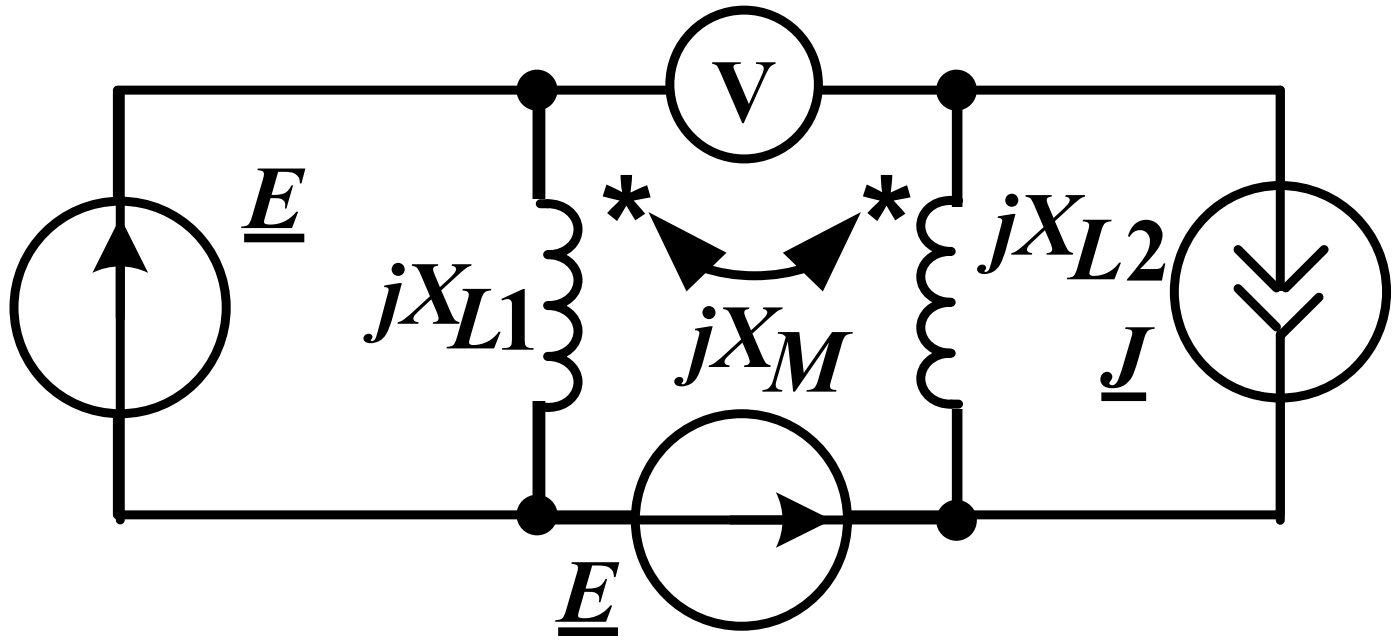


Пример 3:

3. Законы Кирхгофа



Пример :



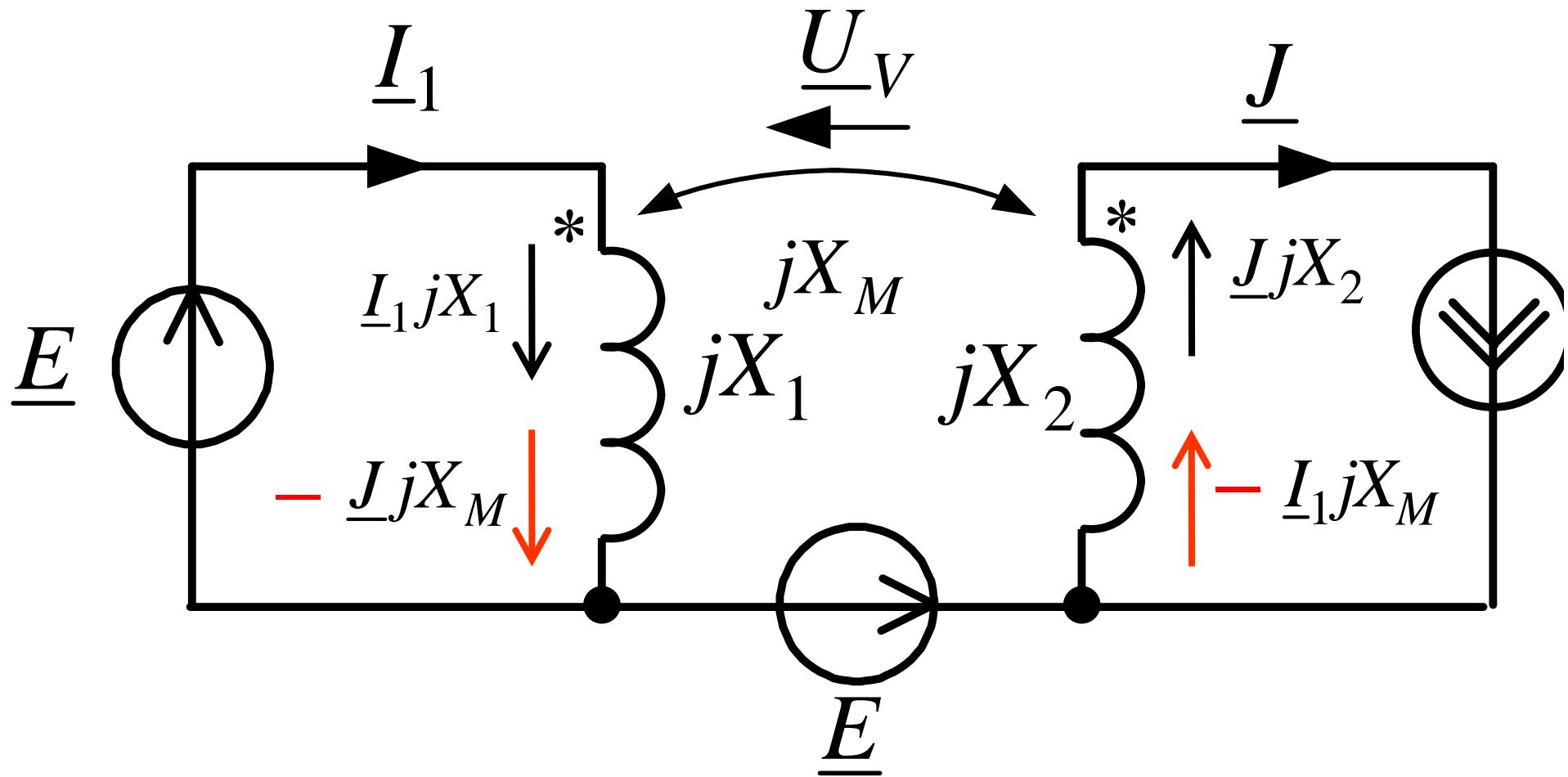
$$\underline{E} = 30e^{-j60^\circ} \text{ B}; \quad \underline{J} = 3e^{j30^\circ} \text{ A};$$

$$X_{L1} = 30 \text{ Ом}; \quad = X_1$$

$$X_{L2} = X_M = 15 \text{ Ом} = X_2$$



Без развязки индуктивных связей.



$$\underline{U}_V + \underline{E} - \underline{E} = \underline{J}jX_2 - \underline{I}_1jX_M$$

$$\underline{E} = \underline{I}_1jX_1 - \underline{J}jX_M$$

$$\underline{E} = \underline{I}_1 jX_1 - \underline{J}jX_M$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{E} + \underline{J}jX_M}{jX_1} = \frac{30e^{-j60} + 3e^{j30} \cancel{j15}}{\cancel{j30}} =$$

$$= \frac{30e^{-j60}}{30e^{j90}} + \frac{3e^{j30} \cancel{15e^{j90}}}{\cancel{30e^{j90}}} = e^{-j150} + 1.5e^{j30} =$$

$$\cancel{-}e^{j(-150+180)} + 1.5e^{j30} =$$

$$= e^{j30}(-1 + 1,5) = 0,5e^{j30}$$

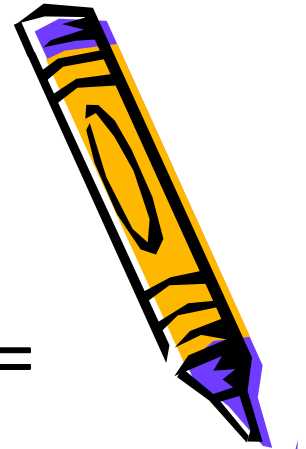


$$\underline{U}_V = \underline{J}jX_2 - \underline{I}_1jX_M = 3e^{j30}j15 - 0.5e^{j30}j15 =$$

$$= 45e^{j120} - 7,5e^{j120} = (45 - 7,5)e^{j120} =$$

$$= 37,5e^{j120}$$

$$U_V = 37,5 \text{ B}$$



Пример 4:

- Показания амперметра электродинамической системы равно

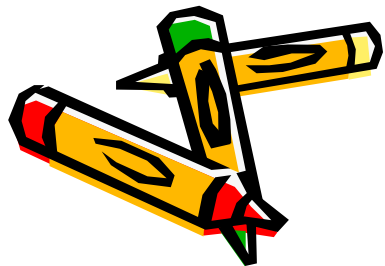
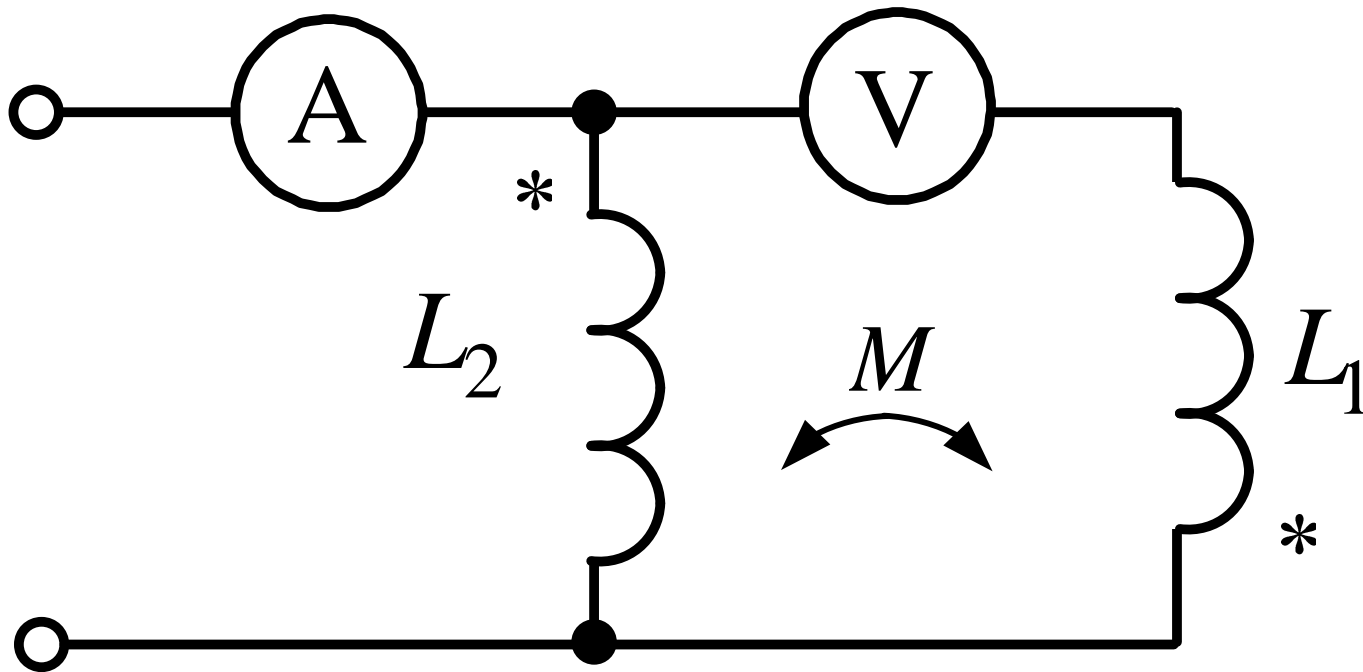
$$I_A = 10 \text{ А.}$$

$$X_{L1} = X_{L2} = 10 \text{ Ом.}$$

Коэффициент связи катушек равен

$$K_{CB} = 0,5.$$

- Определить показания вольтметра той же системы.



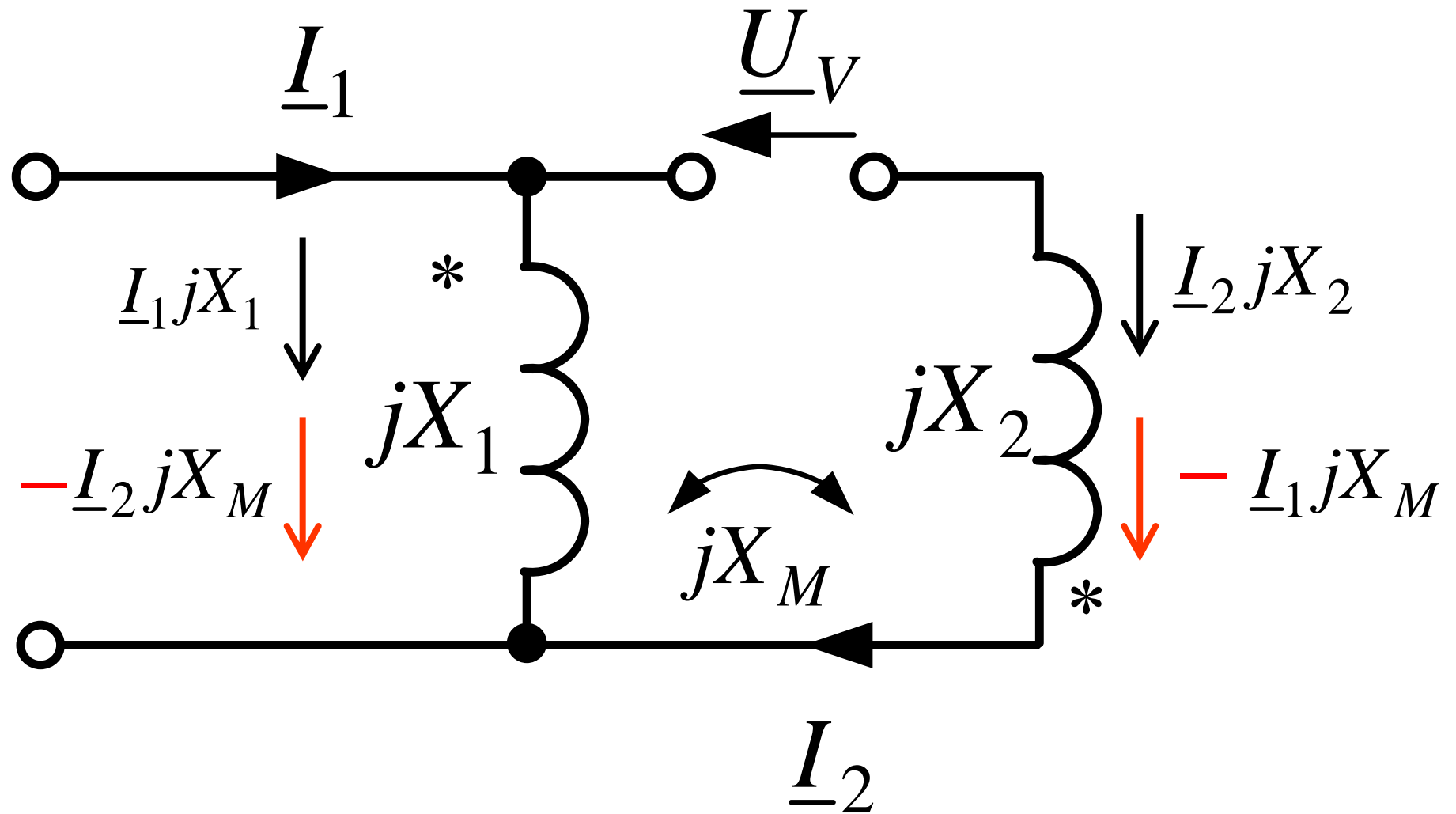
$$X_M = k_{св} \sqrt{X_1 X_2} = k_{св} X_1 = 5 \text{ Ом}$$

Решим задачу двумя методами:

Комплексная схема без измерительных приборов
($R_A = 0$, $R_V = \infty$).



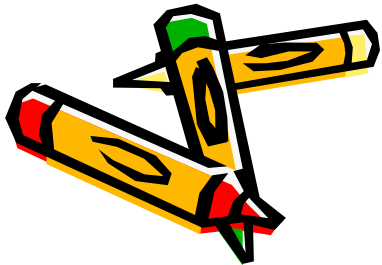
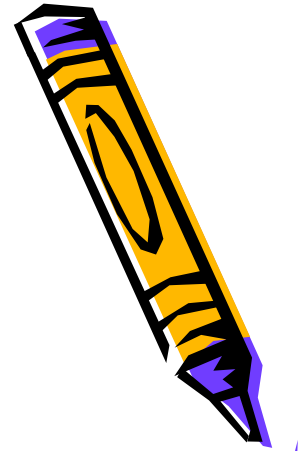
1. Без развязки индуктивных связей.



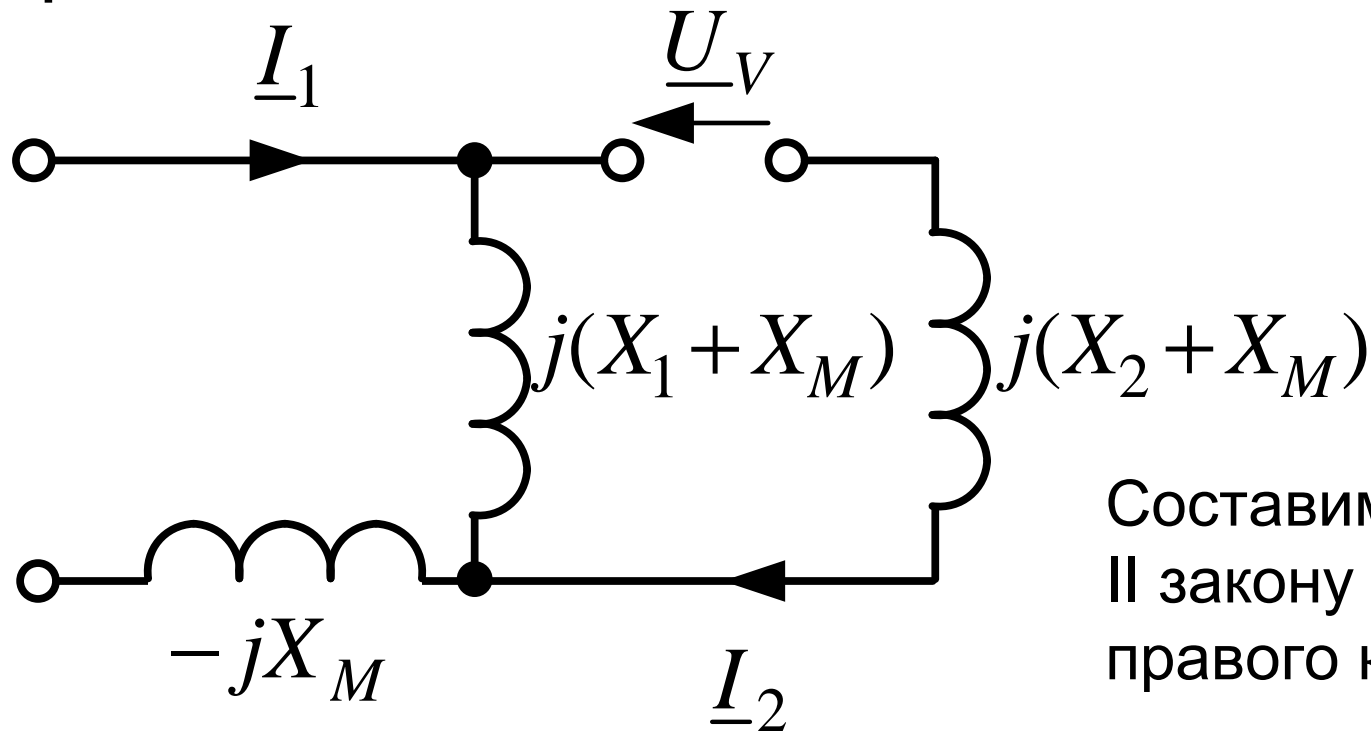
$$\underline{I}_1 jX_1 - \underline{I}_2 jX_M - \underline{I}_2 jX_2 + \underline{I}_1 jX_M = \underline{U}_V$$

$$\underline{I}_2 = 0$$

$$\underline{U}_V = \underline{I}_1 \underline{j}(\underline{X}_1 + \underline{X}_M) = 10 \cdot \underline{j}15 = \underline{j}150 \text{ B}$$



2. Сделаем развязку индуктивных связей, учитывая, что катушки соединены разноименными зажимами к общему узлу

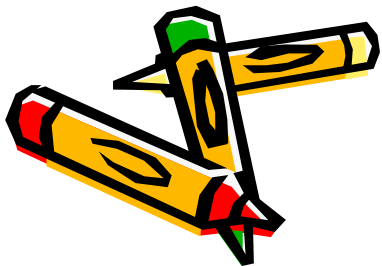
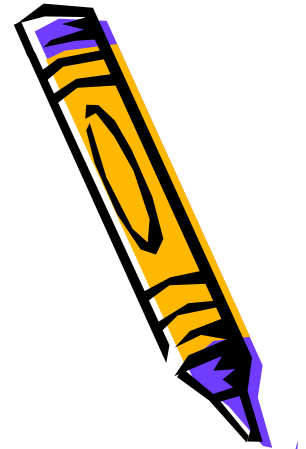


Составим уравнение по II закону Кирхгофа для правого контура,

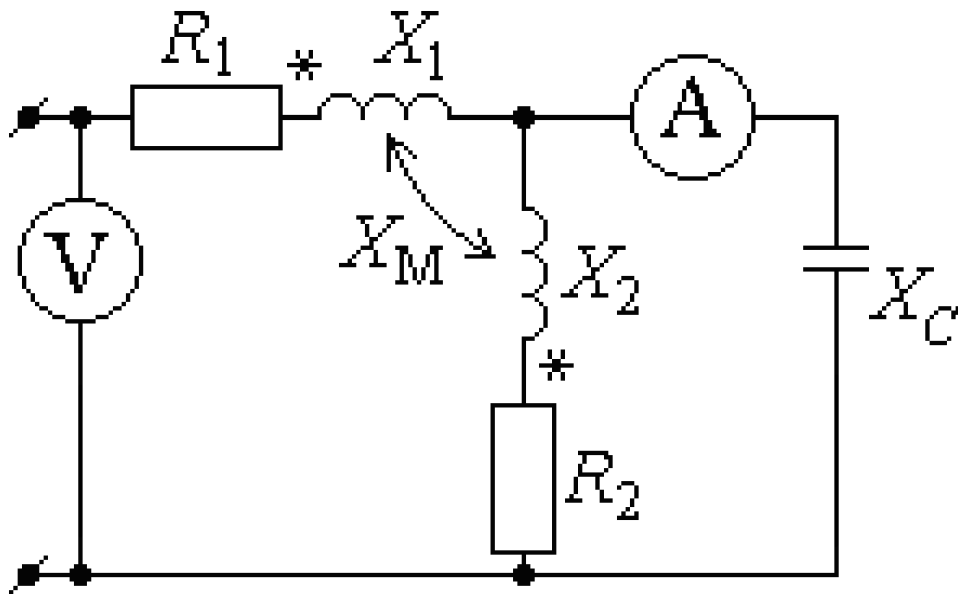
$$\underline{I}_1 (jX_1 + jX_M) - \underline{I}_2 (jX_2 + jX_M) = \underline{U}_V$$

$$\mathbf{I}_2 = \mathbf{0}$$

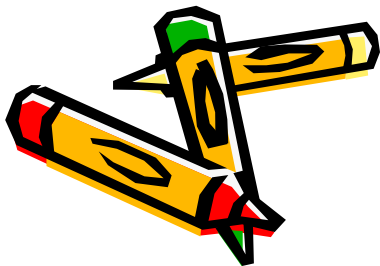
$$\underline{\mathbf{U}}_V = \mathbf{I}_1 \mathbf{j} (\mathbf{X}_1 + \mathbf{X}_M) = \mathbf{j}150 \text{ B}$$



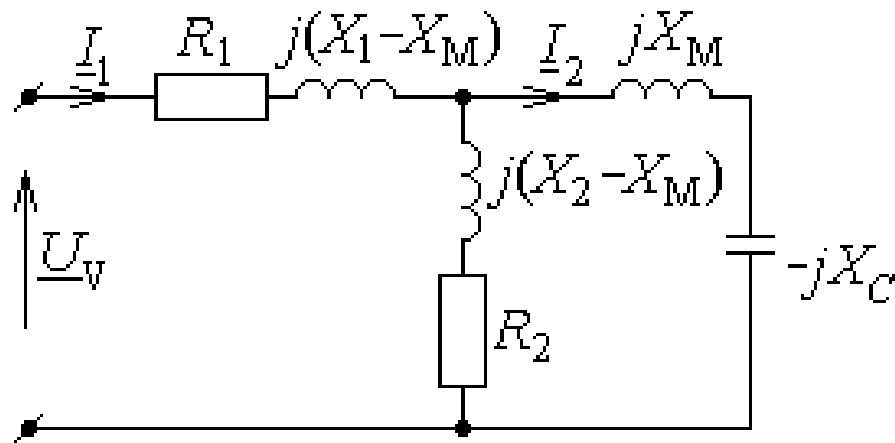
Пример 3:



Показание амперметра электромагнитной системы равно 1 А;
 $X_1 = X_2 = 20 \text{ Ом}$, $X_M = 10 \text{ Ом}$,
 $X_C = 10 \text{ Ом}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ Ом}$.
Определить показание вольтметра той же системы.



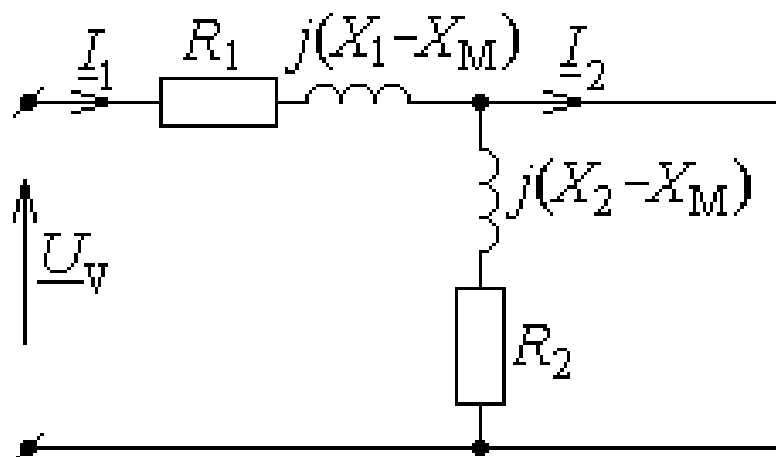
Сделаем развязку индуктивных связей, катушки включены одноименными зажимами одинаково по отношению к общему узлу



Так как $X_M = X_C$,
то $j(X_M - X_C) = 0$,



Получаем схему



$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2,$$

тогда

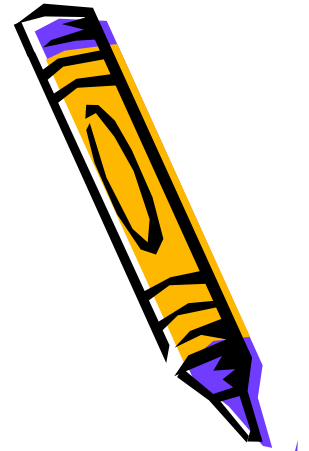
$$\underline{U}_V = I_1 [R_1 + j(X_1 - X_M)] = \\ = 1(10 + j10) = 14,14 e^{j45^\circ} \text{ В.}$$

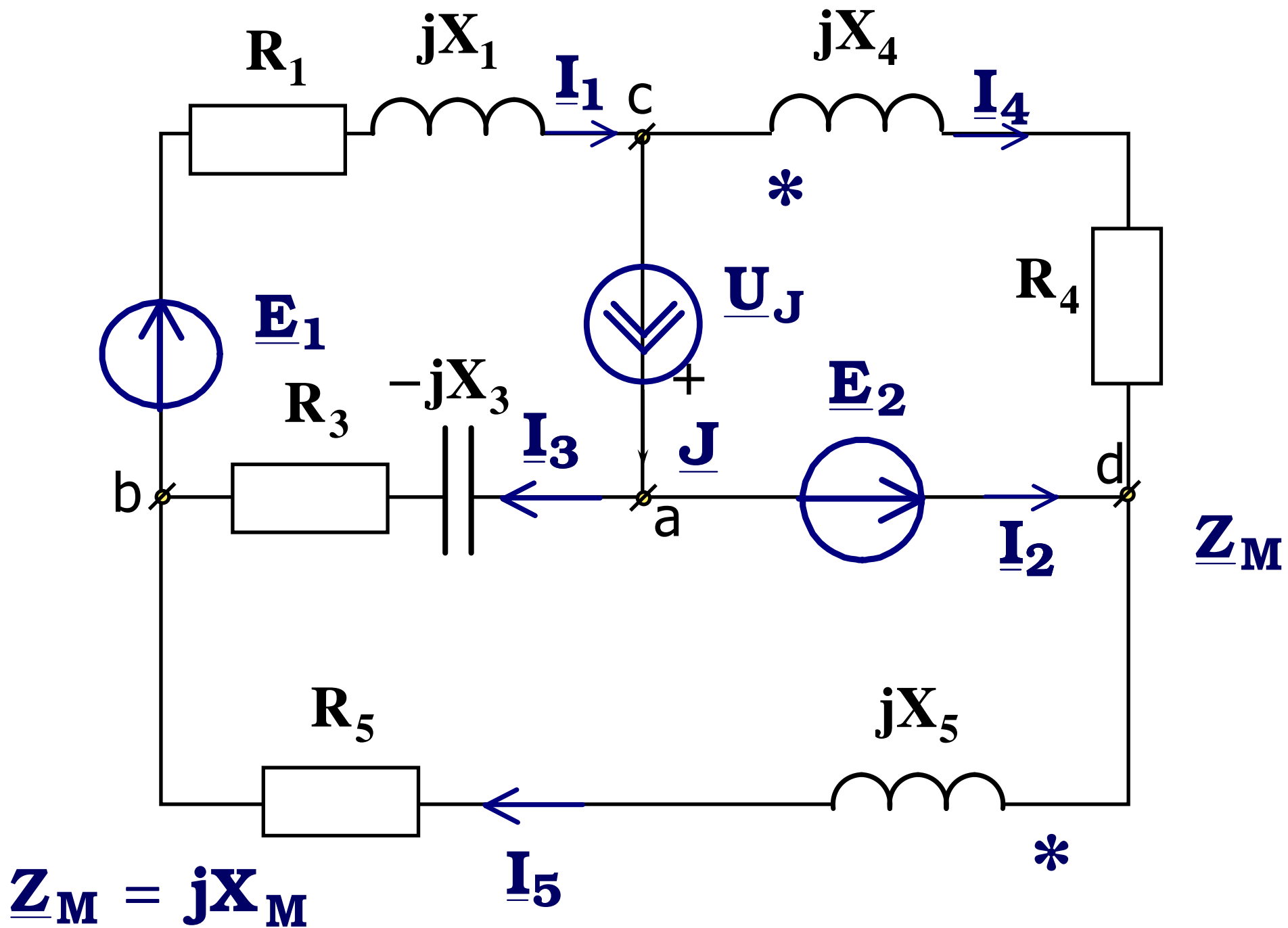
Показание вольтметра
равно

$$14,14 \text{ В.}$$



Баланс мощностей





Комплекс полной вырабатываемой мощности

$$\underline{S}_B = \underline{E}_1 \underline{I}_1^* + \underline{E}_2 \underline{I}_2^* + \underline{U}_J \underline{J}^* = \\ = P_B + jQ_B, \text{ ВА}$$

Где: $P_B > 0$ – активная

вырабатываемая мощность, Вт

Q_B – реактивная вырабатываемая

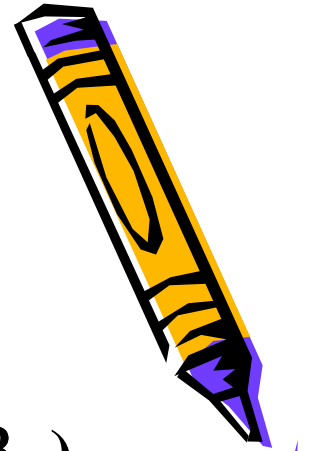
мощность, ВАр

Где:

$$\underline{\mathbf{I}}_1^* = \mathbf{I}_1 \cdot e^{j(-\beta_1)}$$

$$\underline{\mathbf{I}}_2^* = \mathbf{I}_2 \cdot e^{j(-\beta_1)}$$

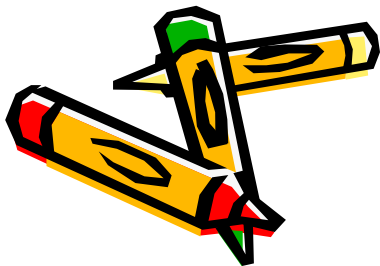
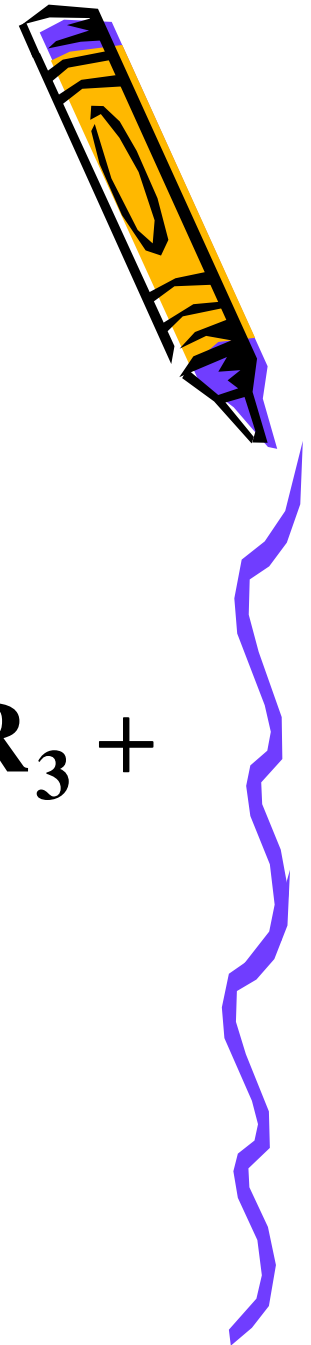
- сопряженные значения токов



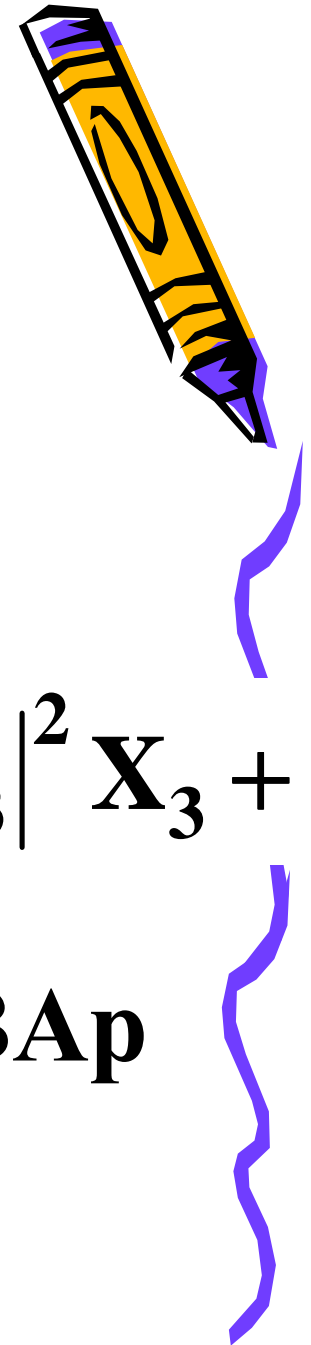
*

Активная потребляемая мощность:

$$P_{\Pi} = \sum |I_{\kappa}|^2 R_{\kappa} = |I_1|^2 R_1 + |I_3|^2 R_3 + \\ + |I_4|^2 R_4 + |I_5|^2 R_5, \quad \text{Вт}$$



Реактивная потребляемая МОЩНОСТЬ:



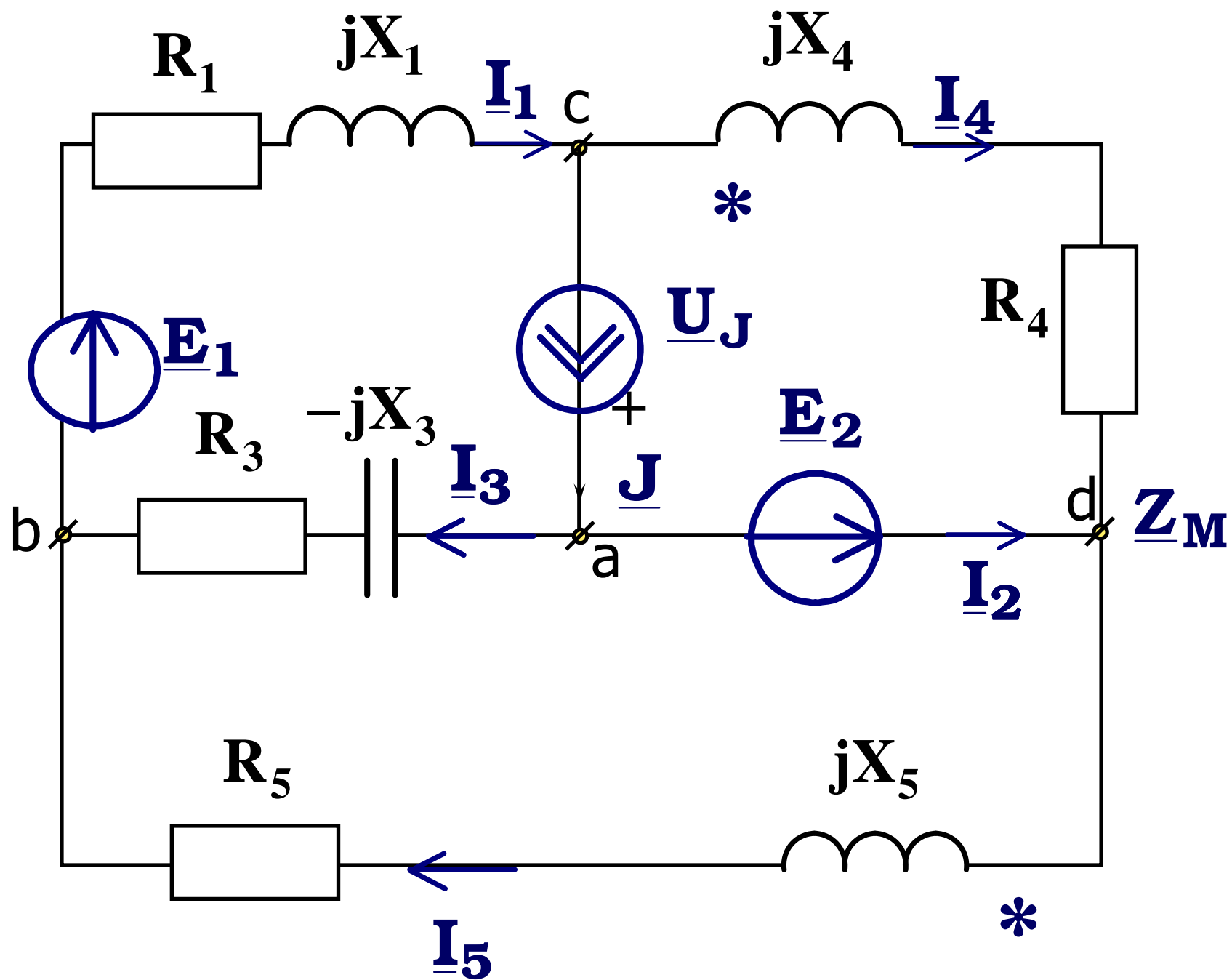
$$Q_{\Pi} = \sum \pm |I_{\kappa}|^2 X_{\kappa} + Q_M = |I_1|^2 X_1 - |I_3|^2 X_3 + \\ + |I_4|^2 X_4 + |I_5|^2 X_5 + Q_M, \quad \text{ВАр}$$



Реактивная мощность
обусловленная взаимной
ИНДУКТИВНОСТЬЮ:

$$Q_M = \pm 2X_M |I_4| |I_5| \cos(\beta_4 - \beta_5), \quad \text{ВАр}$$

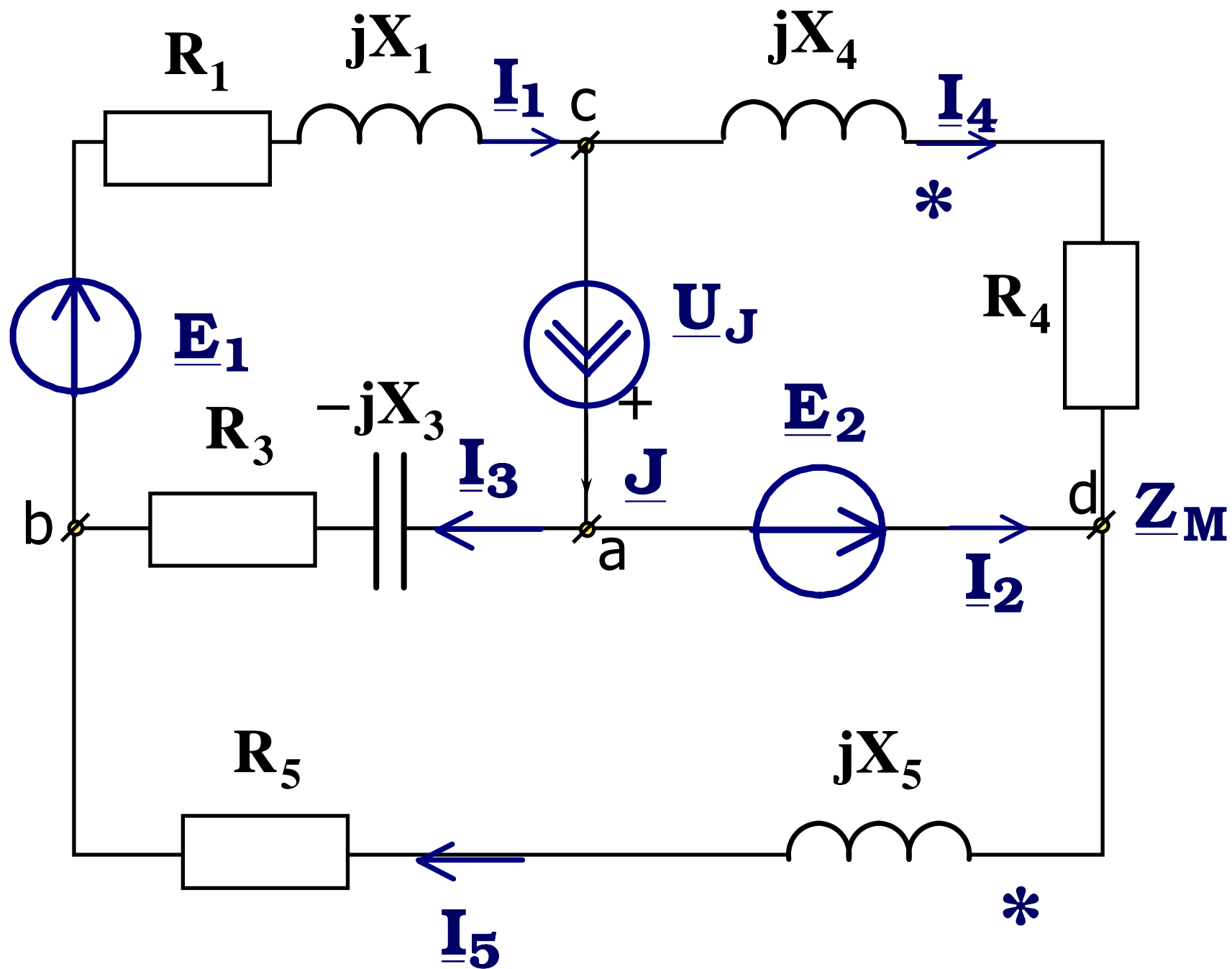




Реактивная мощность
обусловленная взаимной
индуктивностью:

$$Q_M = +2X_M |I_4| |I_5| \cos(\beta_4 - \beta_5), \quad \text{ВАр}$$

согласное включение



Реактивная мощность
обусловленная взаимной
ИНДУКТИВНОСТЬЮ:

$$Q_M = -2X_M |I_4| |I_5| \cos(\beta_4 - \beta_5), \quad \text{ВАр}$$

встречное включение

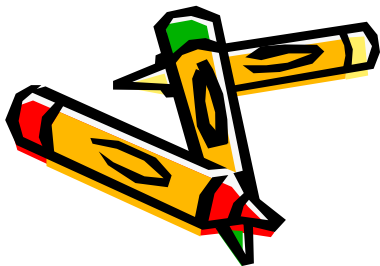
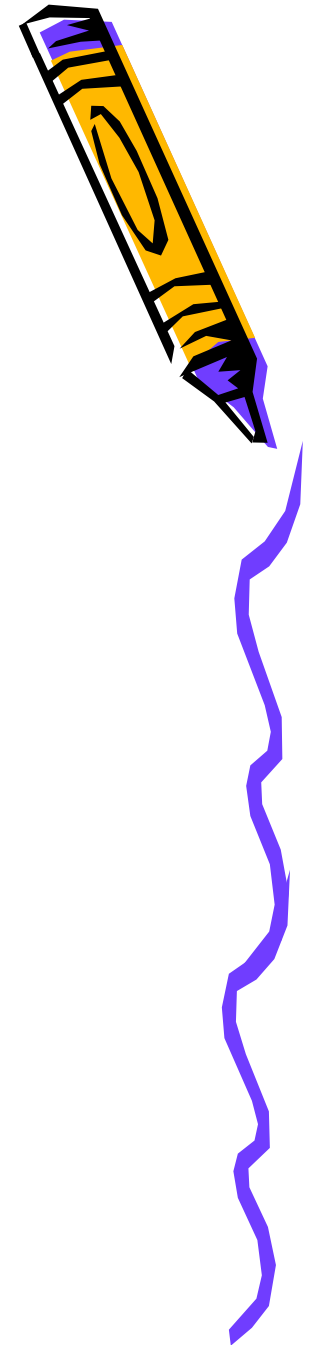


Где

- знак \oplus - согласное включение,
- знак \ominus - встречное включение

$$\underline{I}_4 = I_4 e^{j\beta_4}, \quad \underline{I}_5 = I_5 e^{j\beta_5}$$

- ИНДУКТИВНО СВЯЗАННЫЕ ТОКИ



Пример 4:

Дано: $e(t) = 220\sqrt{2} \sin(\omega t)$, В

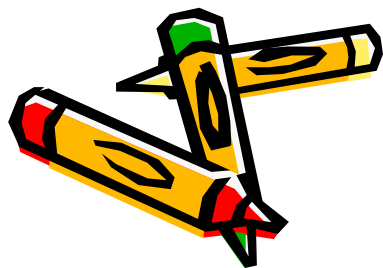
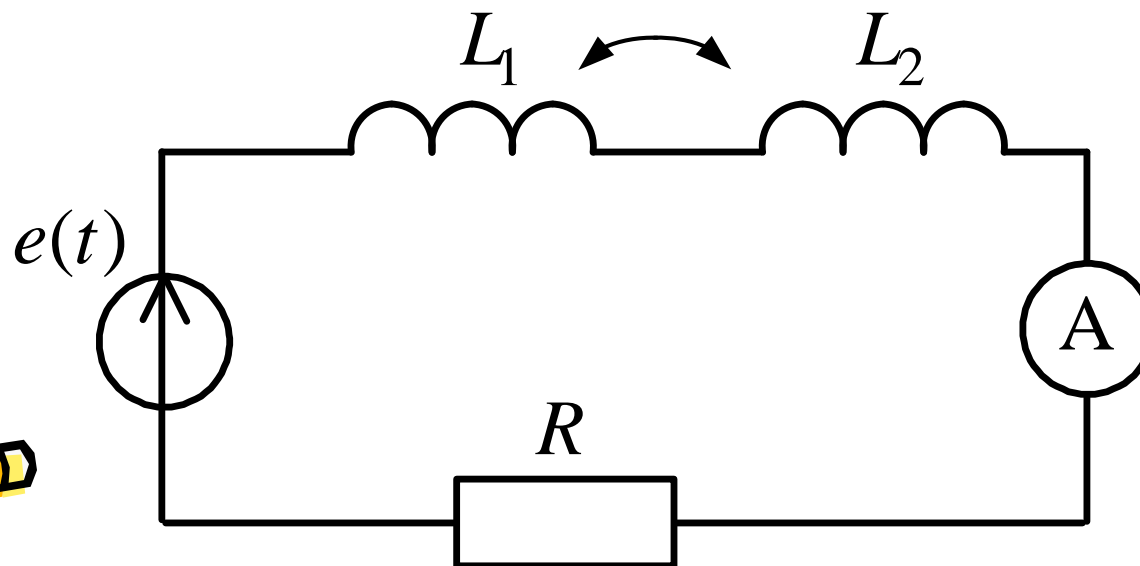
$R=30$; $M = 0,053$ Гн;

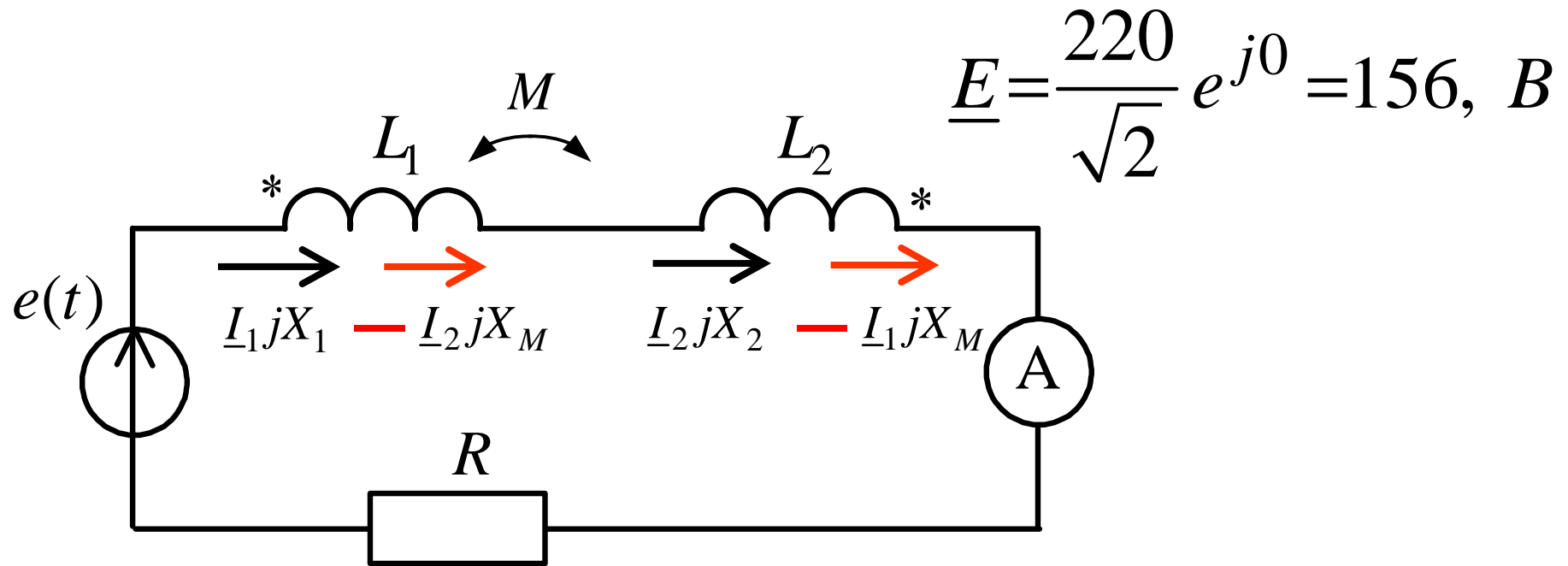
$L_1=0,1$ Гн; $L_2 = 0,3$ Гн;

$f = 50$ Гц.

$$\underline{E} = \frac{220}{\sqrt{2}} e^{j0} = 156, \text{ В}$$

Определить показания амперметра
при встречном включении.

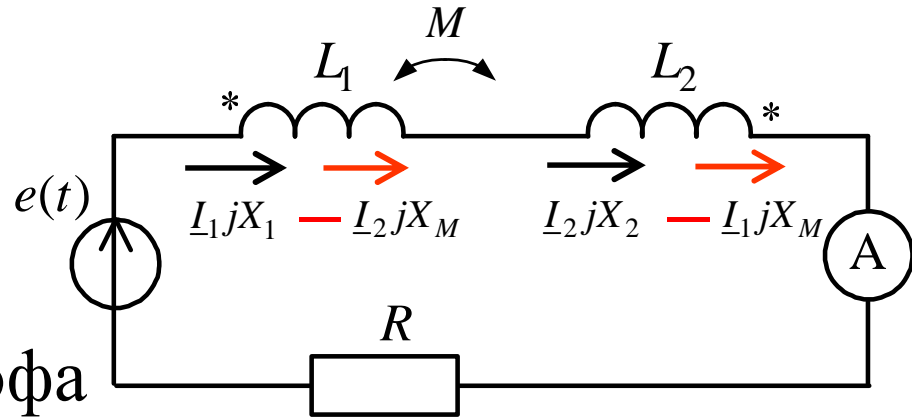




$$X_M = 2\pi f \cdot M = 50 \cdot 6.28 \cdot 0.053 = 16.64 \text{ } \Omega$$

$$X_{L1} = 2\pi f \cdot L_1 = 50 \cdot 6.28 \cdot 0.1 = 31.4 \text{ } \Omega$$

$$X_{L2} = 2\pi f \cdot L_2 = 50 \cdot 6.28 \cdot 0.3 = 94.2 \text{ } \Omega$$



По второму закону Кирхгофа

$$\underline{E} = \underline{I} \cdot R + (\underline{I} \cdot jX_{L1} - \underline{I} \cdot jX_M) + (\underline{I} \cdot jX_{L2} - \underline{I} \cdot jX_M)$$

$$\underline{E} = \underline{I} \cdot (R + jX_{L1} + jX_{L2} - 2 \cdot jX_M)$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{E}}{R + jX_{L1} + jX_{L2} - 2 \cdot jX_M}$$

$$\underline{I} = \frac{156}{30 + j31.4 + j94.2 - 2 \cdot j16.64}$$

$$\underline{I} = \frac{156}{30 + j92.32} = \frac{156}{97.07 e^{j72^\circ}} = 1.607 e^{-j72^\circ}$$

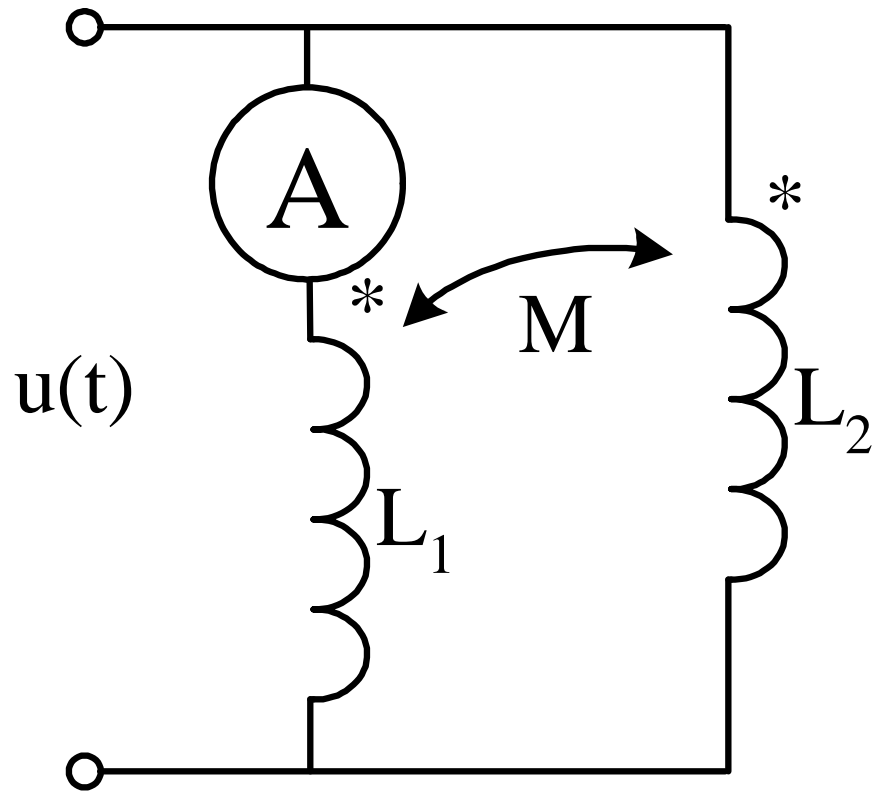
$$I_A = 1.607 \text{ A}$$

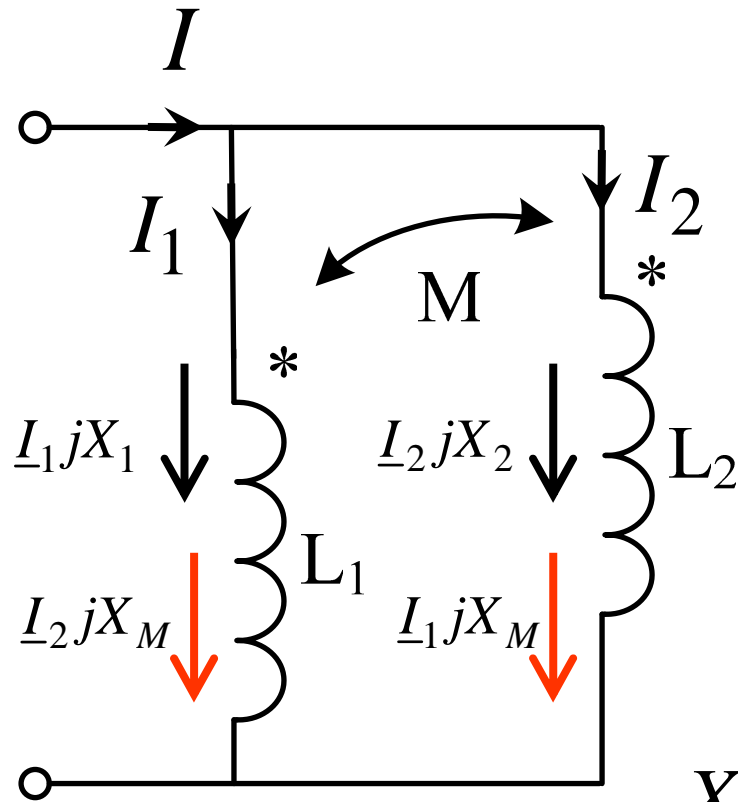
Дано: $u(t) = 141 \sin(10^4 t), B$

$L_1 = 1 \text{ мГн}; L_2 = 0.25 \text{ мГн};$

$K_{св} = 0,5.$

Определить показания амперметра.





$$\underline{U} = \frac{141}{\sqrt{2}} e^{j0} = 100, B$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \Rightarrow M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

$$M = 0.5 \sqrt{1 \cdot 0.25 \cdot 10^{-6}} = 2.5 \cdot 10^{-4}$$

$$X_M = \omega M = 10^4 \cdot 2.5 \cdot 10^{-4} = 2.5 \text{ } \Omega$$

$$X_{L1} = \omega L_1 = 10^4 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ } \Omega$$

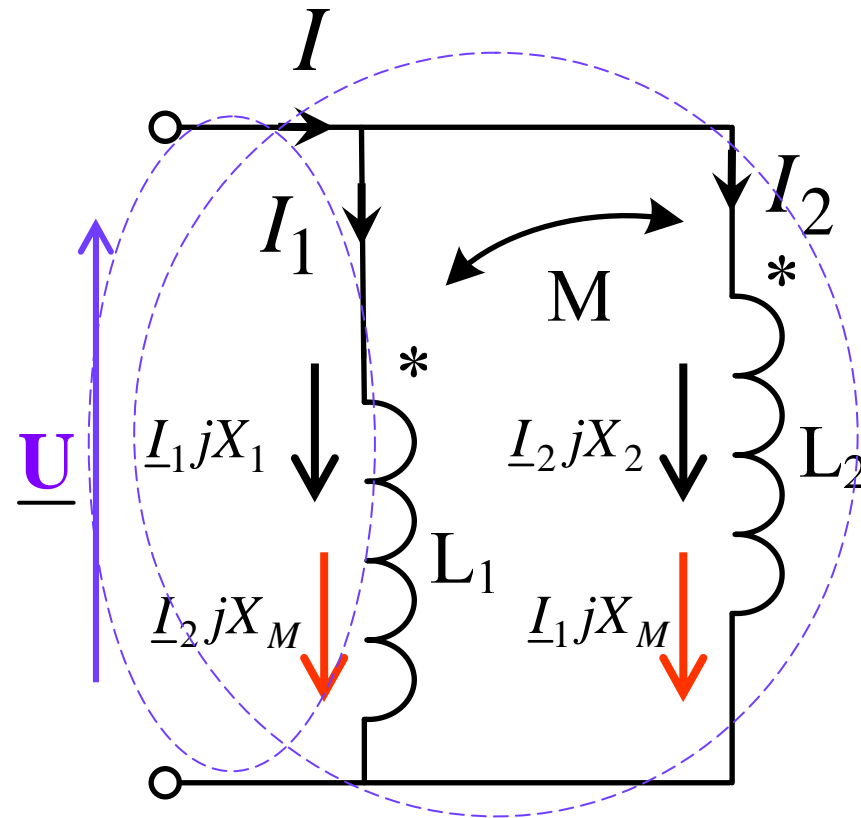
$$X_{L2} = \omega L_2 = 10^4 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3} = 2.5 \text{ } \Omega$$

По второму закону Кирхгофа

$$\begin{cases} \underline{U} = \underline{I}_1 \cdot jX_{L1} + \underline{I}_2 \cdot jX_M \\ \underline{U} = \underline{I}_2 \cdot jX_{L2} + \underline{I}_1 \cdot jX_M \end{cases}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U} - \underline{I}_1 \cdot jX_{L1}}{jX_M}$$

$$\underline{U} = \left(\frac{\underline{U} - \underline{I}_1 \cdot jX_{L1}}{jX_M} \right) \cdot jX_{L2} + \underline{I}_1 \cdot jX_M$$



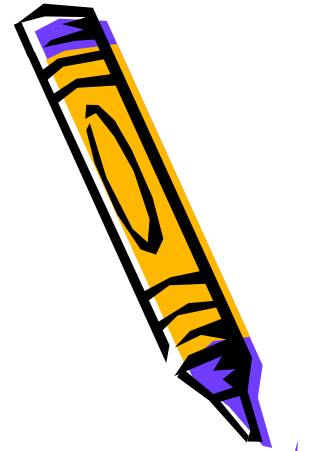
$$\underline{U} = \frac{\underline{U} \cdot X_{L2}}{X_M} - \underline{I}_1 \frac{jX_{L1} \cdot X_{L2}}{X_M} + \underline{I}_1 \cdot j \cdot X_M$$

$$\underline{I}_1 \cdot \left(j \cdot X_M - \frac{jX_{L1} \cdot X_{L2}}{X_M} \right) = \underline{U} \cdot \left(1 - \frac{X_{L2}}{X_M} \right)$$

$$\underline{I}_1 \cdot \left(j \cdot 2.5 - \frac{j10 \cdot 2.5}{2.5} \right) = \underline{U} \cdot \left(1 - \frac{2.5}{2.5} \right)$$


$$\underline{I}_1 \cdot (-j \cdot 7.5) = 0$$

$$\underline{I}_1 = 0$$

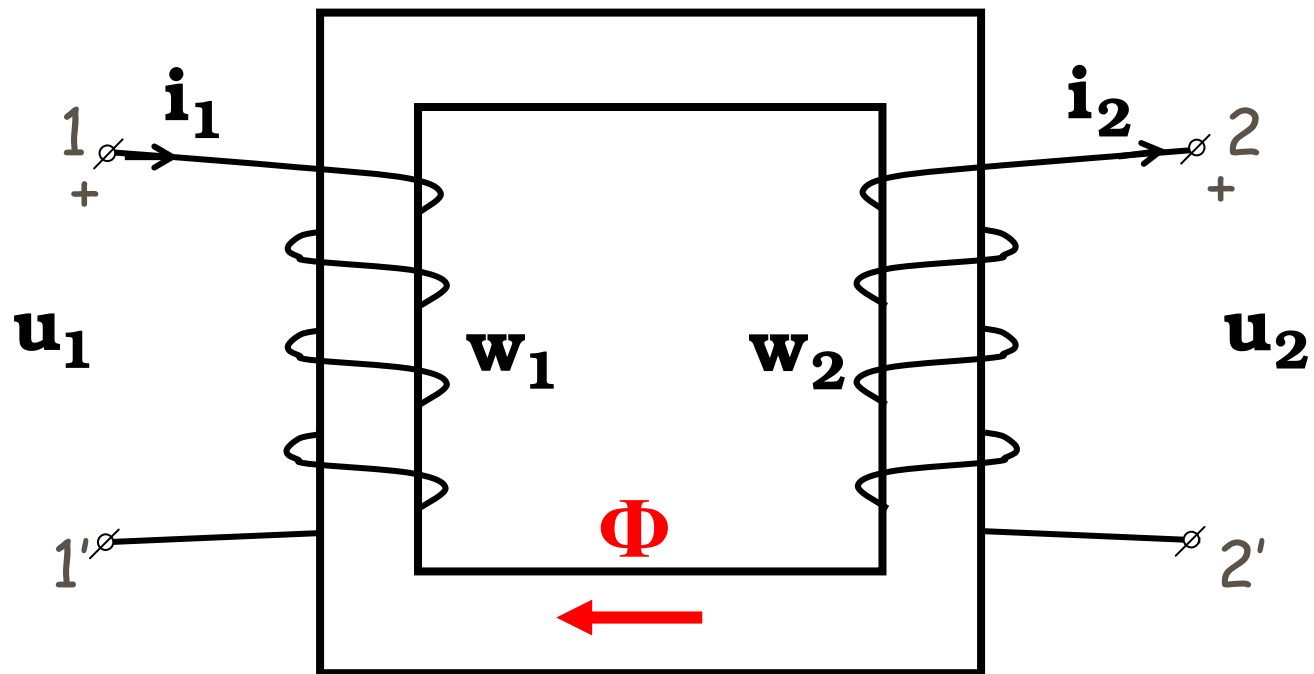




Трансформатор в линейном режиме



Трансформаторы предназначены для преобразования величин переменных напряжений и токов. Простейший трансформатор – это две индуктивно связанные катушки, помещенные на ферромагнитный сердечник (магнитопровод)



Φ – магнитный поток, Вб

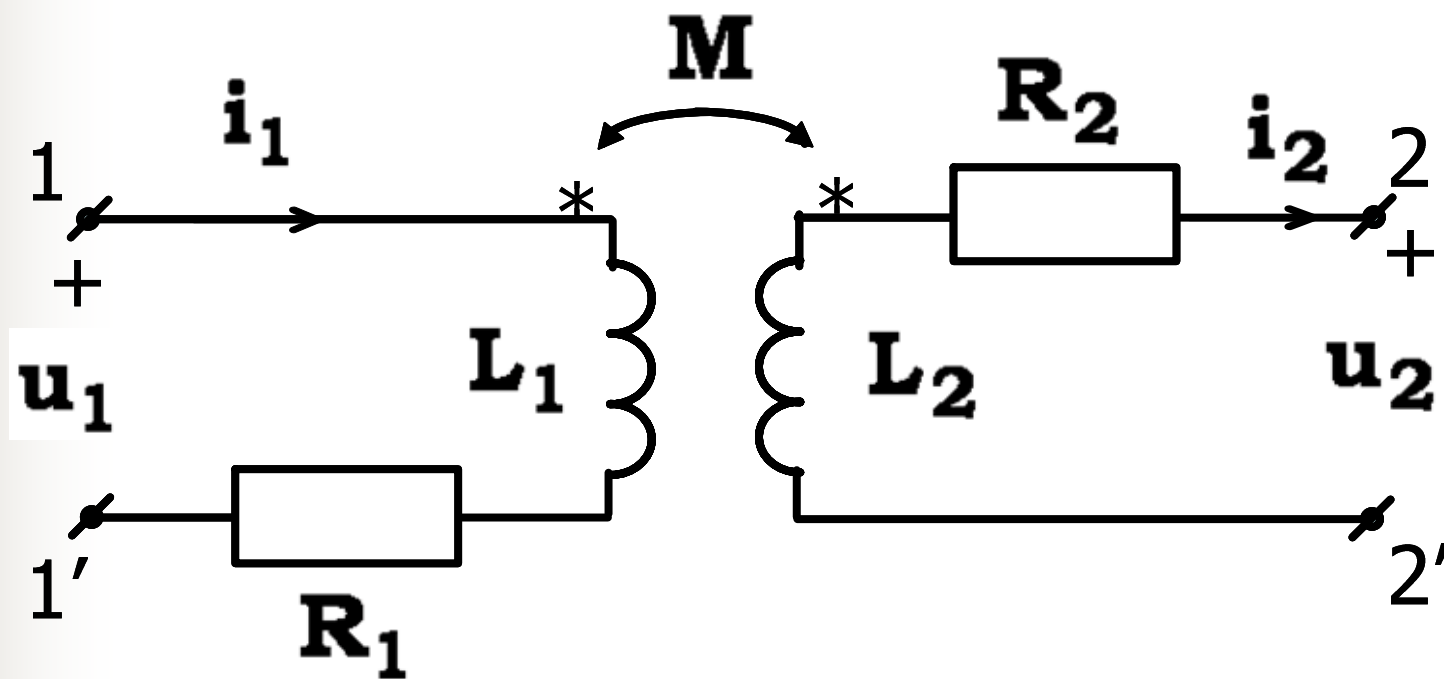
В линейном режиме магнитопровод ненасыщен или отсутствует (воздушный трансформатор).

При этом индуктивности и сопротивления катушек трансформатора постоянны

Передача энергии из одной катушки в другую осуществляется за счет взаимной индукции и ток $i_2(t)$ согласно правилу Ленца выбирает такое направление, что катушки будут включенными встречно

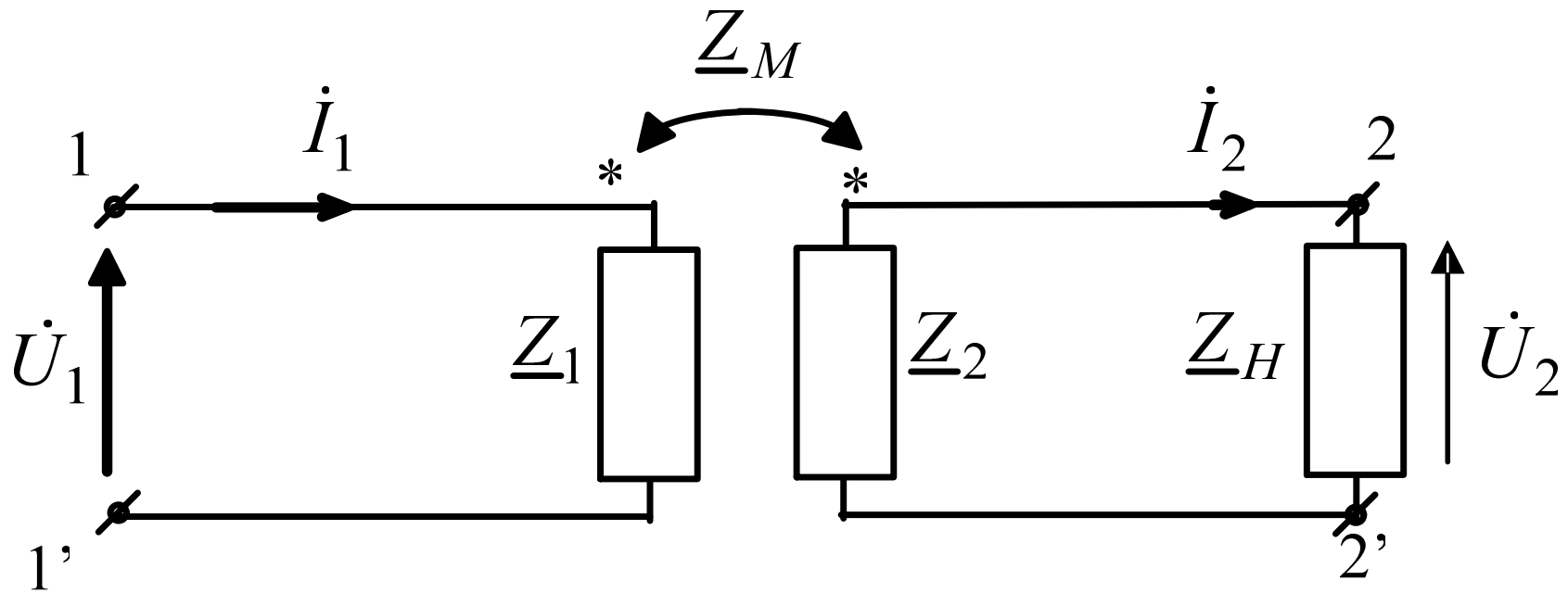
Если пренебречь потерями энергии в магнитопроводе, то тогда схема замещения трансформатора в линейном режиме будет следующей

Схема замещения:



Если u_1 является напряжением источника, а u_2 – напряжением на пассивной нагрузке, то тогда получаем

Комплексная схема замещения:



$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_{L1}$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_{L2}$$

*Уравнения по 2 закону Кирхгофа
в комплексной форме:*

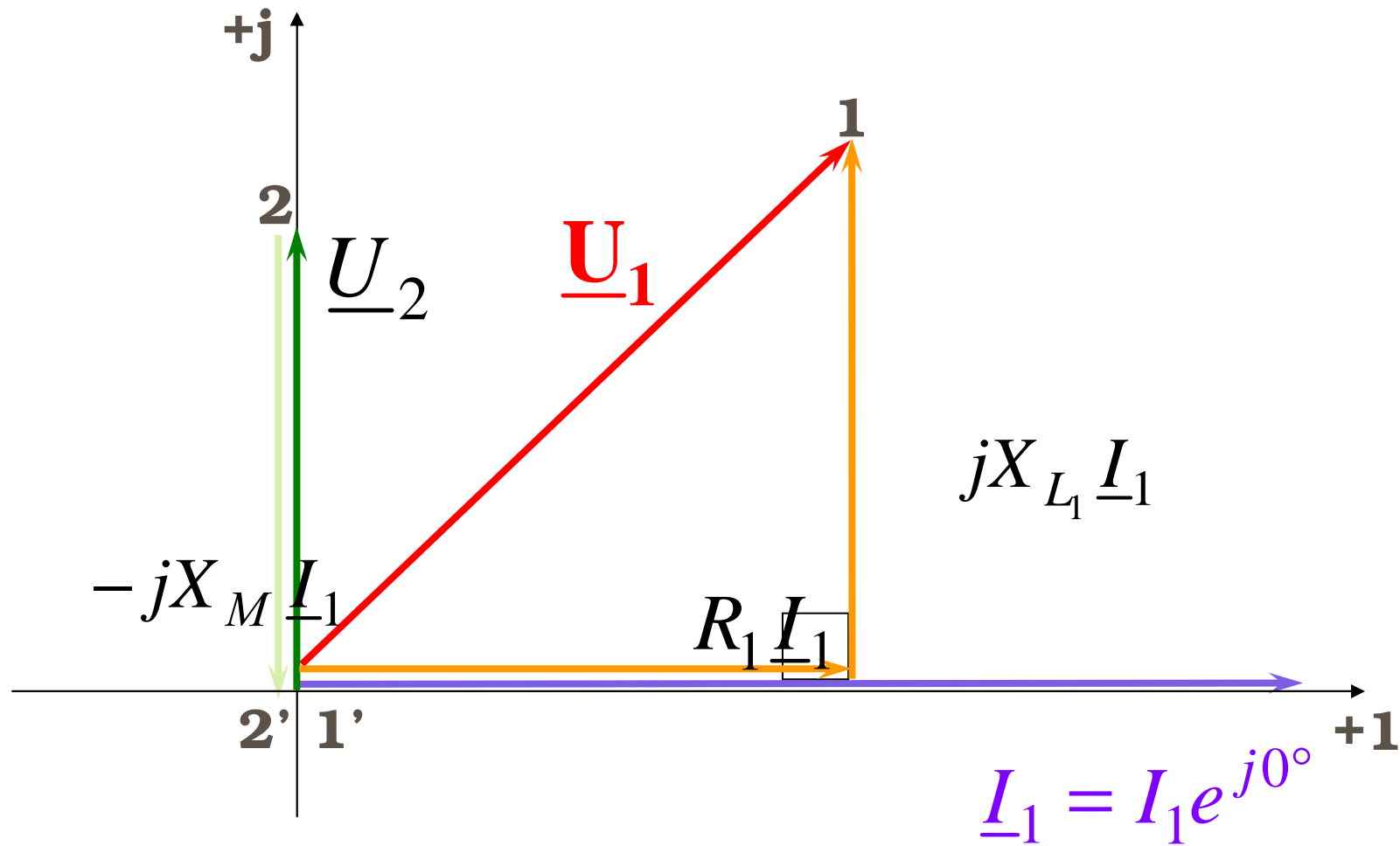
$$\begin{cases} \underline{U}_1 = (R_1 + jX_{L1})\underline{I}_1 - jX_M \underline{I}_2 \\ \mathbf{0} = \underline{U}_2 + \underline{I}_2(R_2 + jX_{L2}) - jX_M \underline{I}_1 \end{cases}$$

где

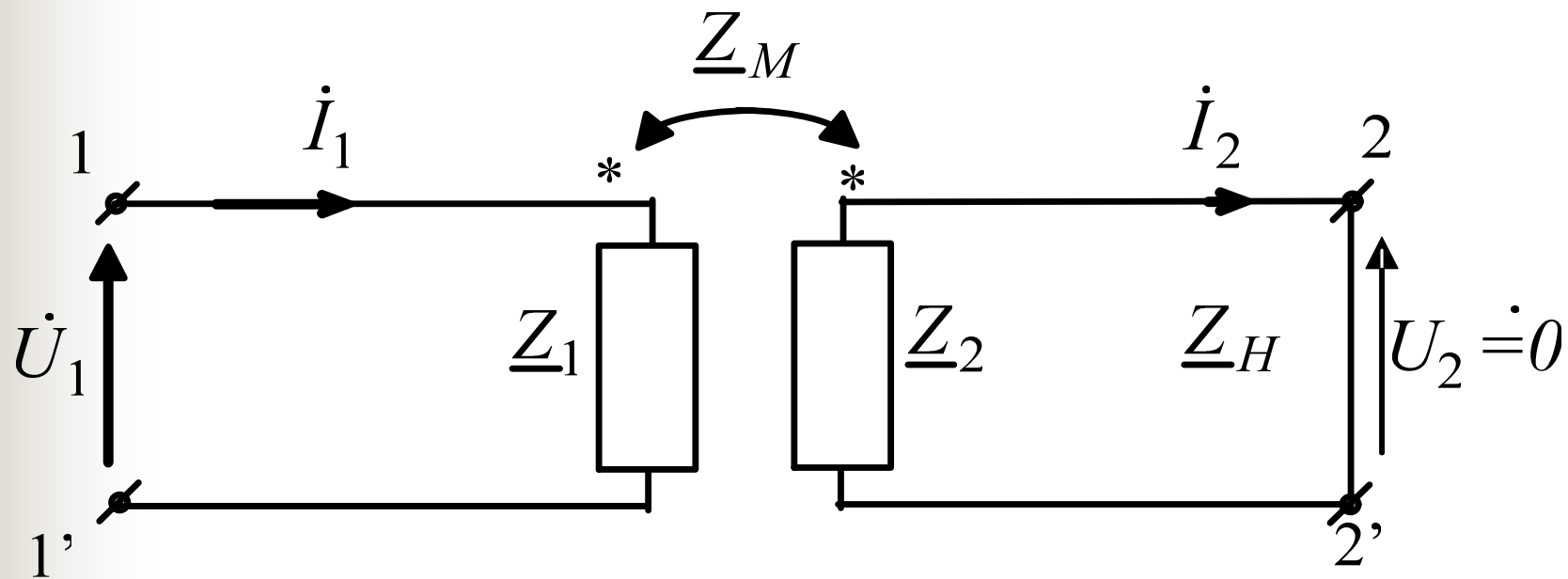
$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_H \underline{I}_2$$

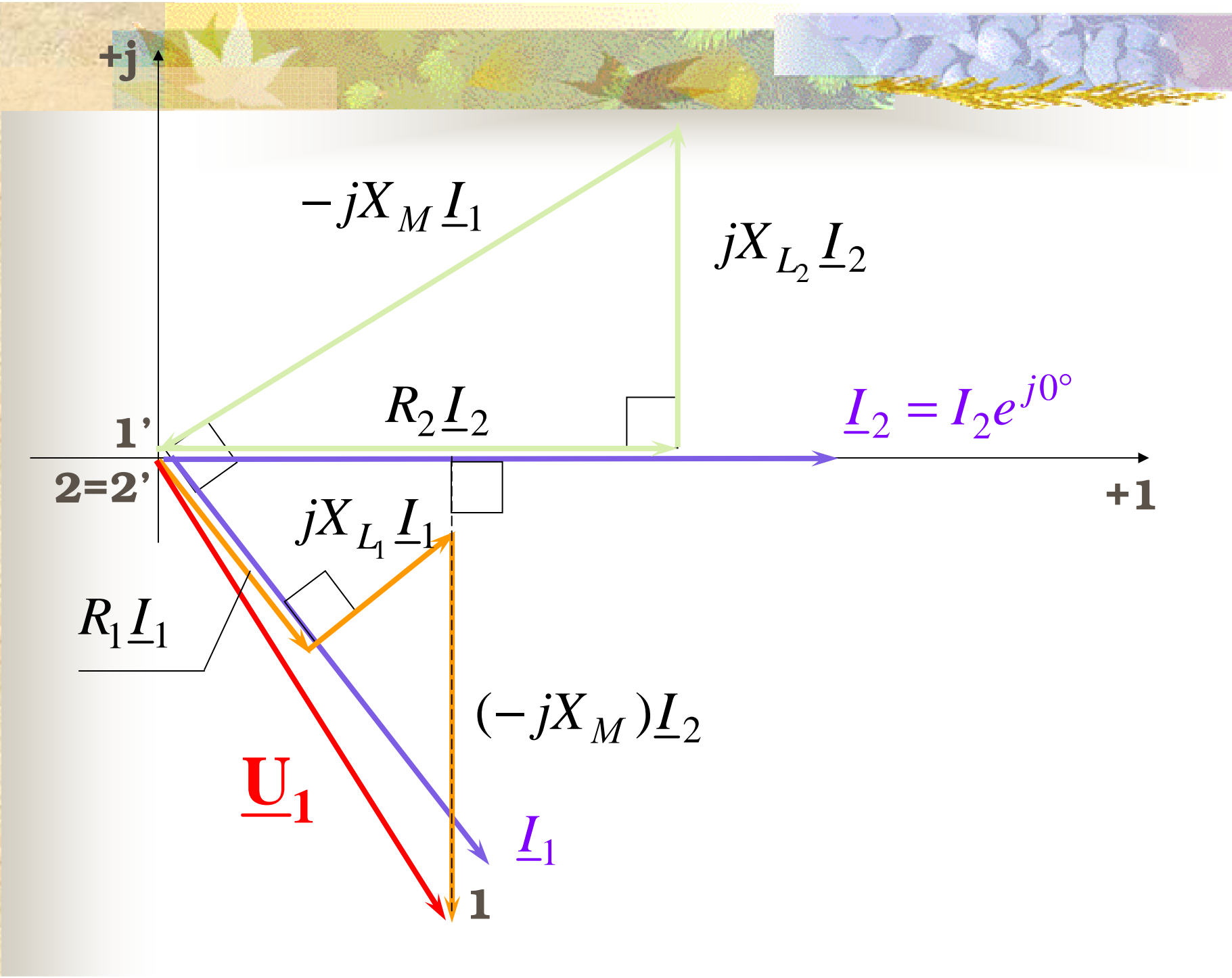
Из решения этих уравнений
можно найти токи \underline{I}_1 и \underline{I}_2


Векторная диаграмма при x ($\underline{I}_2=0$):



Режим короткого замыкания **КЗ**:
($\underline{U}_2=0$):

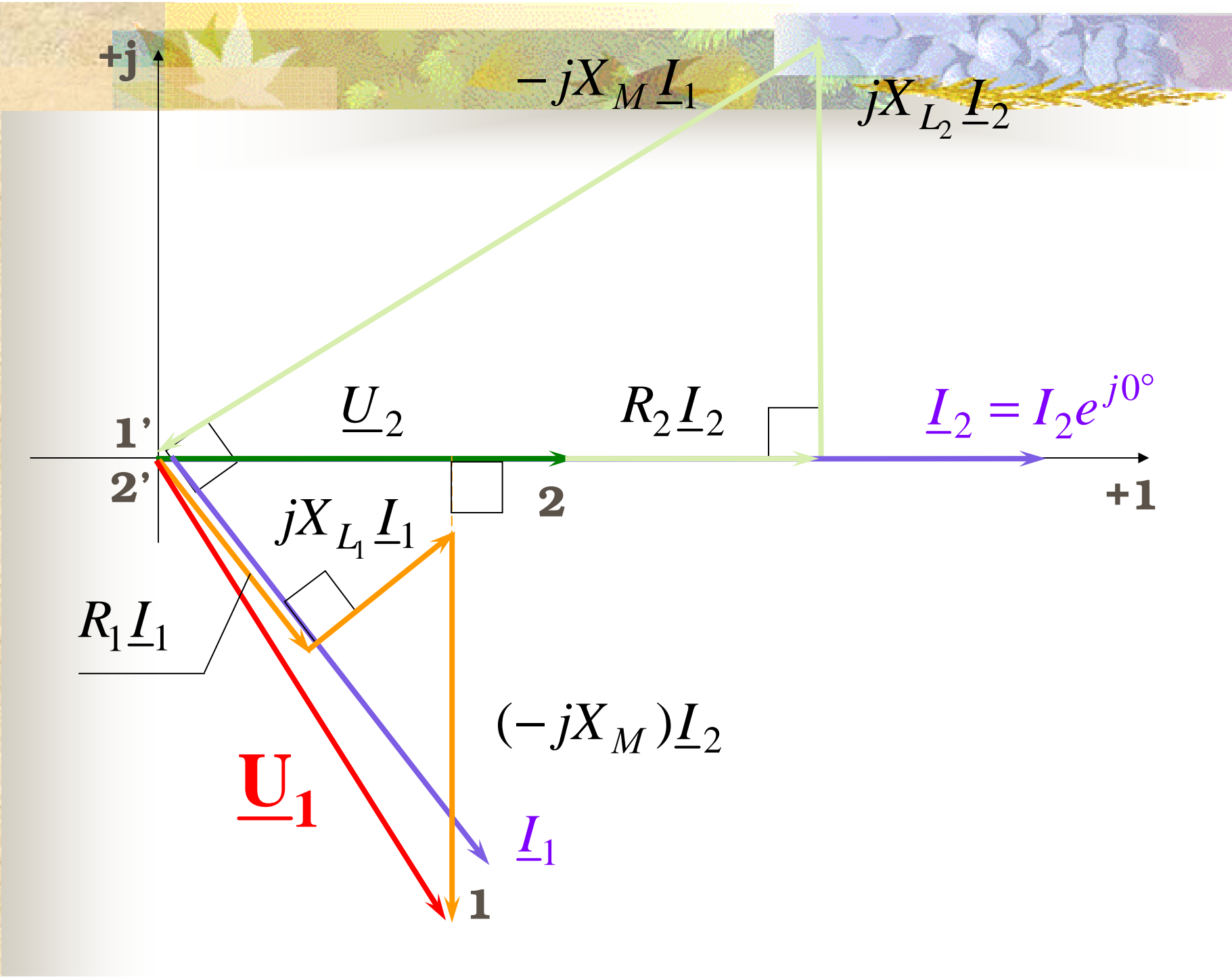




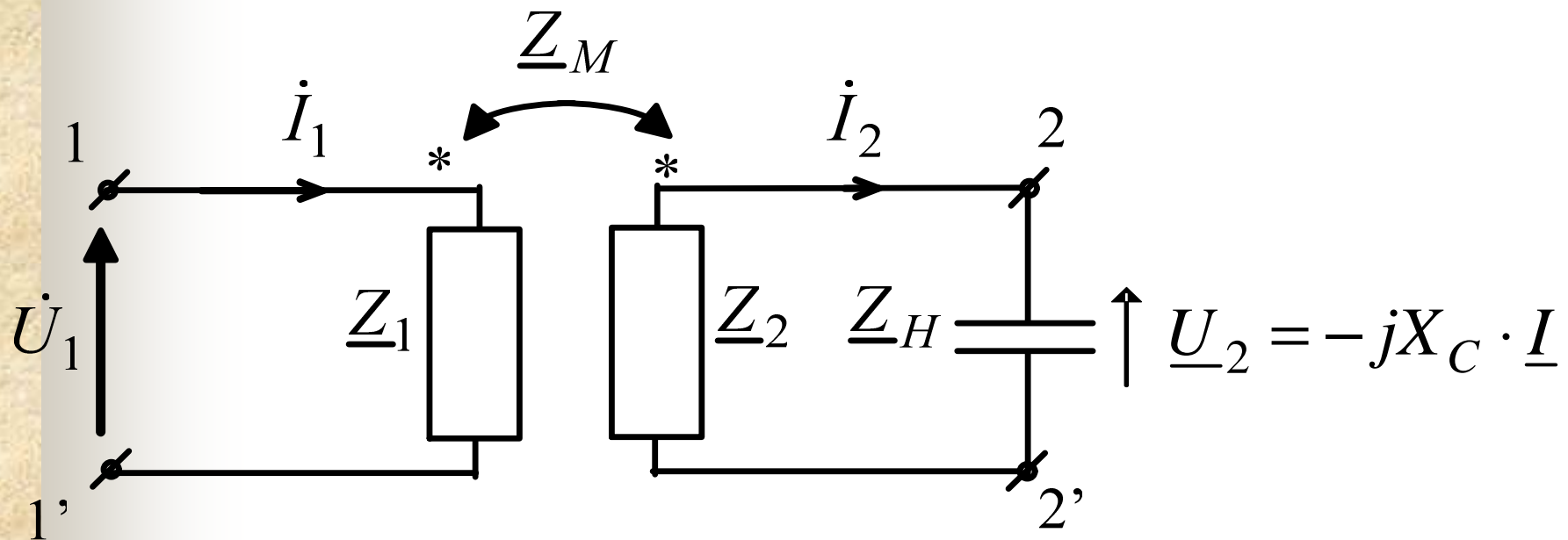


*Векторная диаграмма при
активном сопротивлении
нагрузки*

$$\underline{Z}_H = \mathbf{R} \quad \underline{U}_2 = \underline{I}_2 \mathbf{R}$$
$$(\varphi_H = 0)$$



Векторная диаграмма при ёмкостном сопротивлении нагрузки ($\underline{Z}_H = -jX_C$):



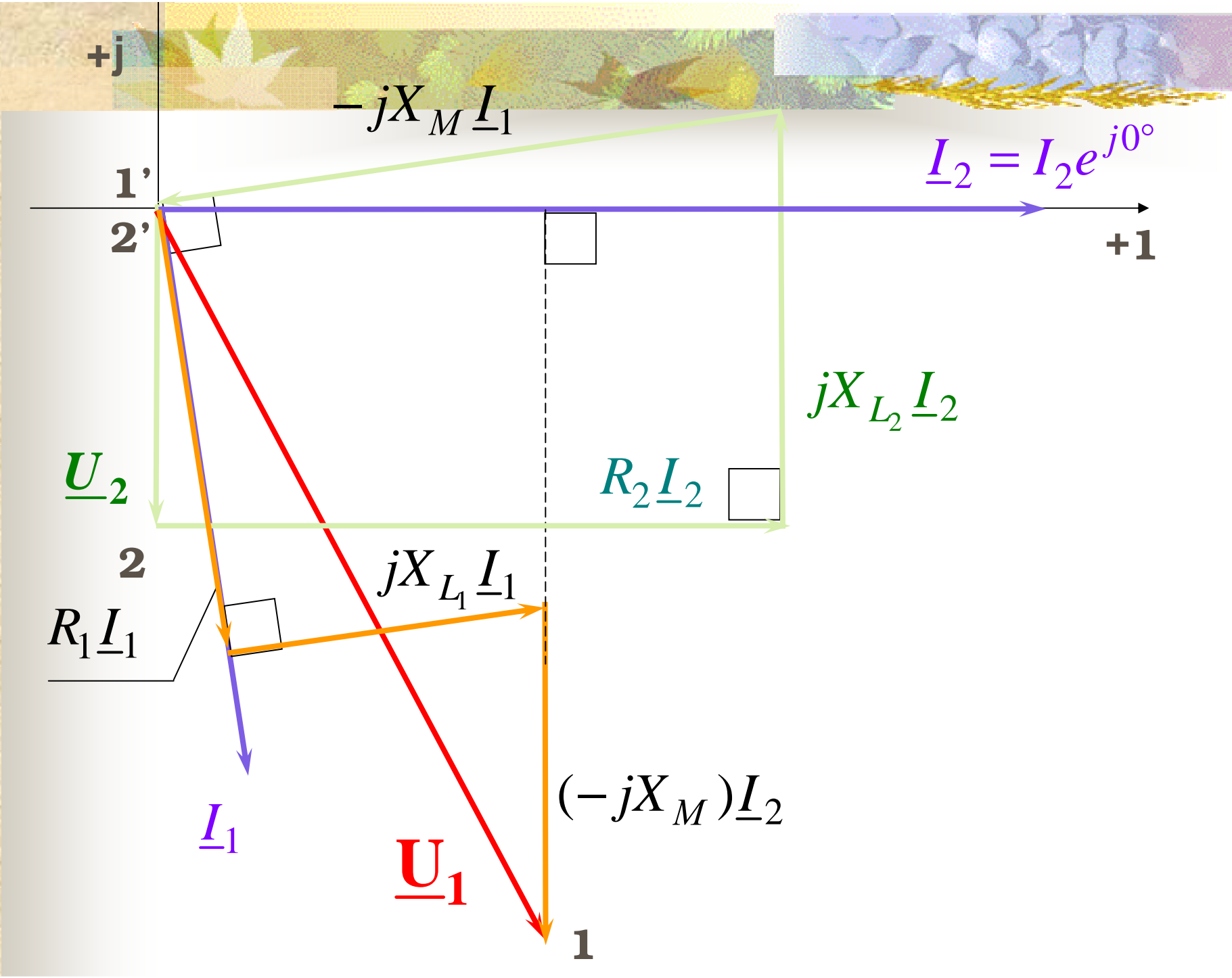
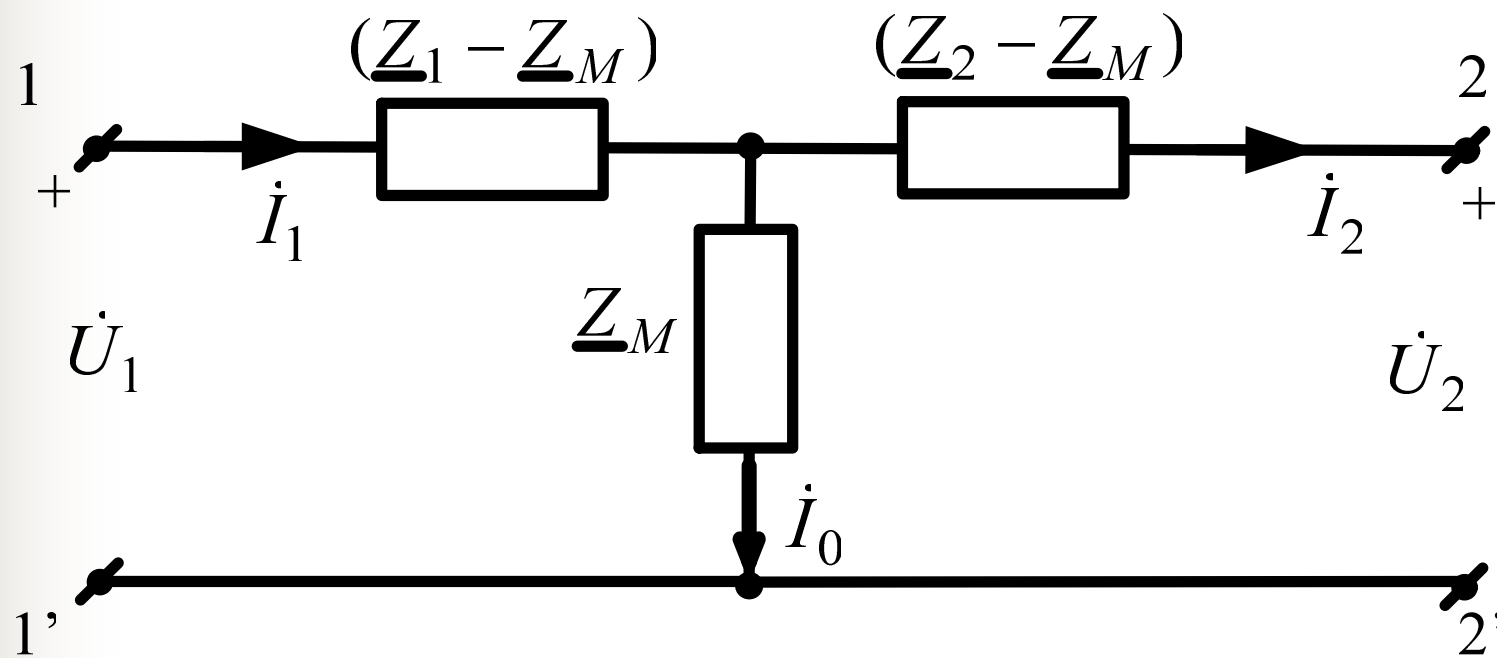


Схема замещения трансформатора без индуктивной связи:



$\underline{I}_0 = \underline{I}_1 - \underline{I}_2$ - ТОК НАМАГНИЧИВАНИЯ

Линейные цепи
с гармоническими напряжениями
и токами, содержащие
трансформаторы, могут быть
рассчитаны при помощи
законов Кирхгофа или
метода контурных токов
в комплексной форме

Пример:

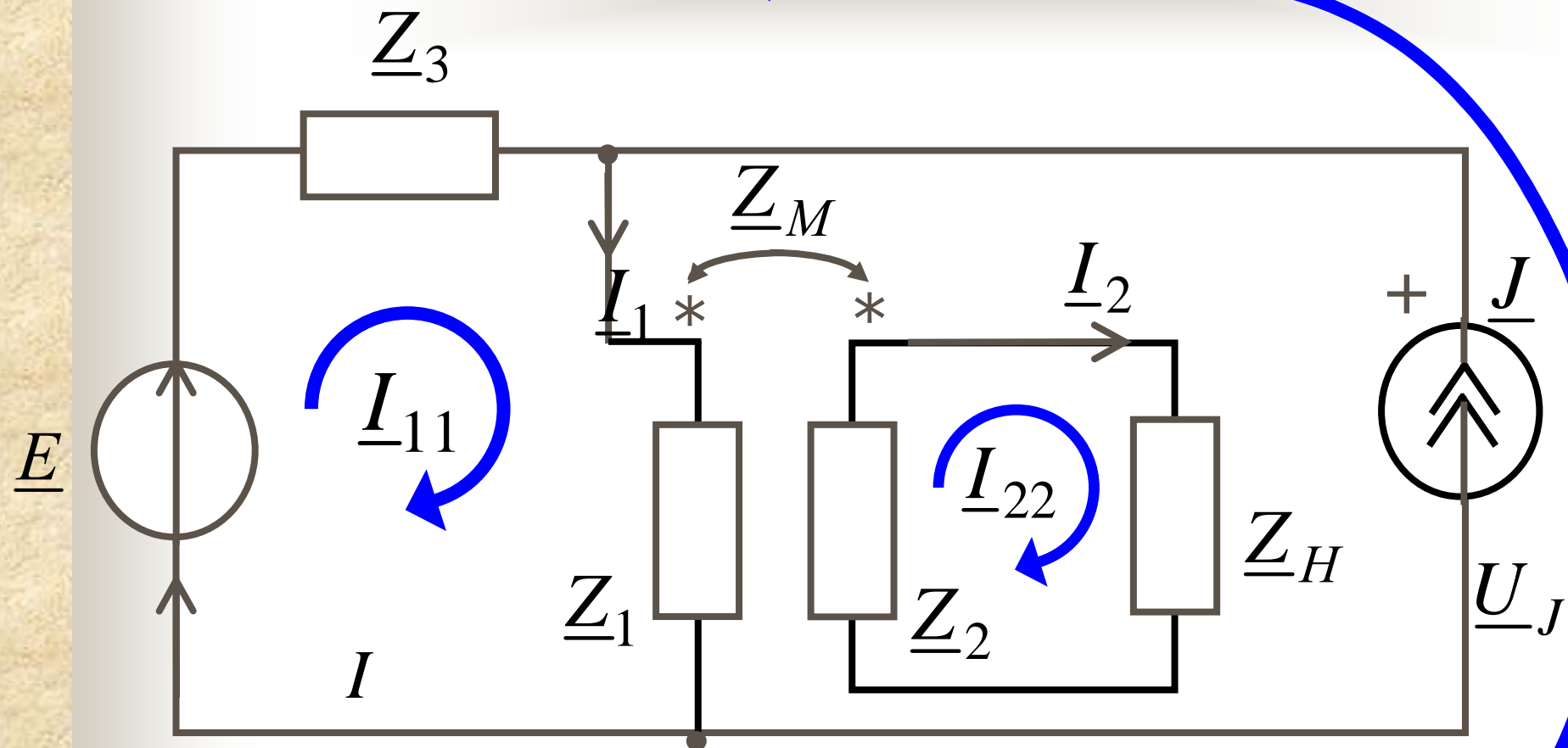
Дано:

$\underline{E}, \underline{J}, \underline{Z}_1, \underline{Z}_2,$
 $\underline{Z}_3, \underline{Z}_M, \underline{Z}_H.$

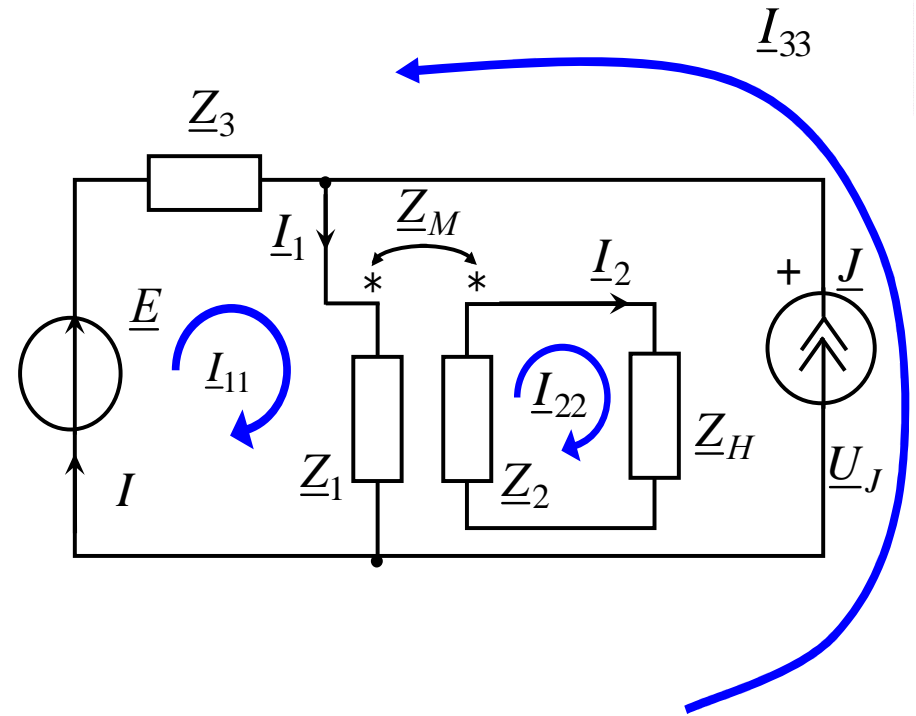
Определить:

$\underline{I}, \underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{U}_J = ?$

I_{33}

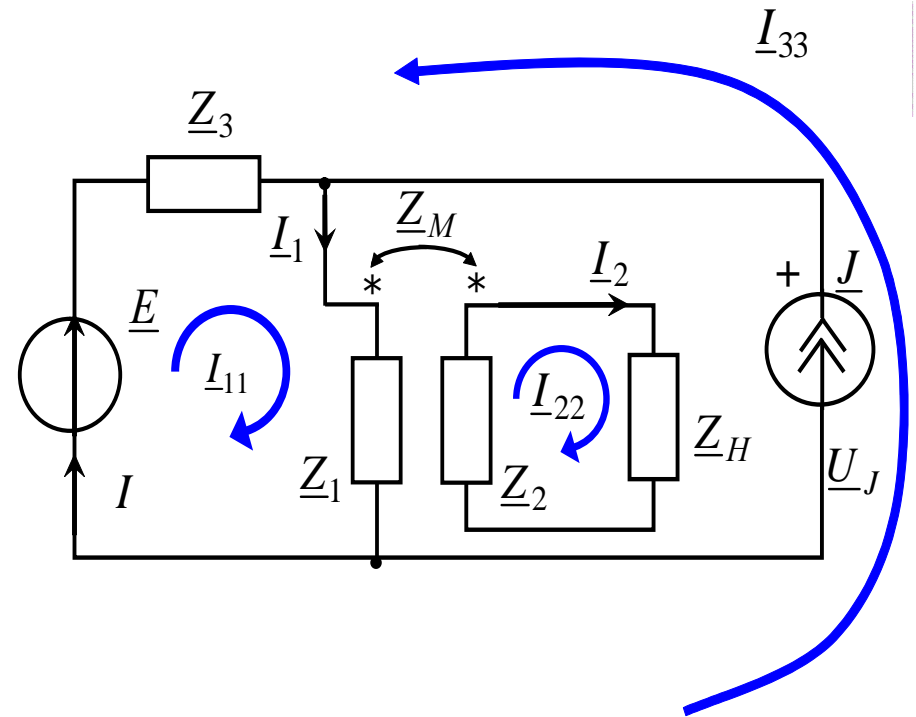


По методу контур



$$\begin{cases} I_{33} = J \\ I_{11}(Z_1 + Z_3) - I_{22}Z_M - I_{33}Z_3 = E \\ I_{22}(Z_2 + Z_H) - I_{11}Z_M - I_{33} \cdot 0 = 0 \end{cases}$$

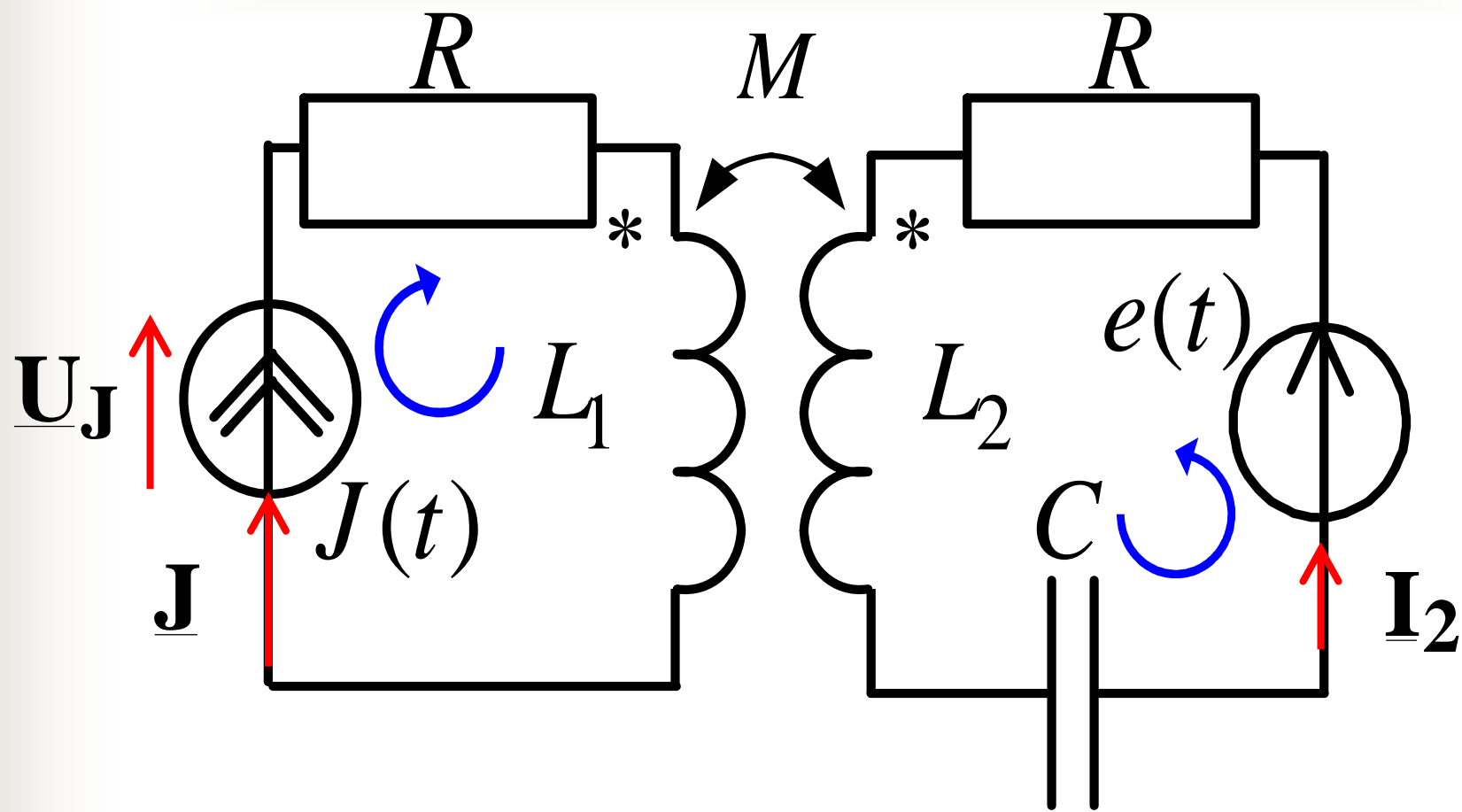
Далее находим:



$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{11}; \quad \underline{U}_J = \underline{E} - \underline{I}_{22} \underline{Z}_3; \quad \underline{I} = \underline{I}_{11} - \underline{I}_{33};$$



Пример :

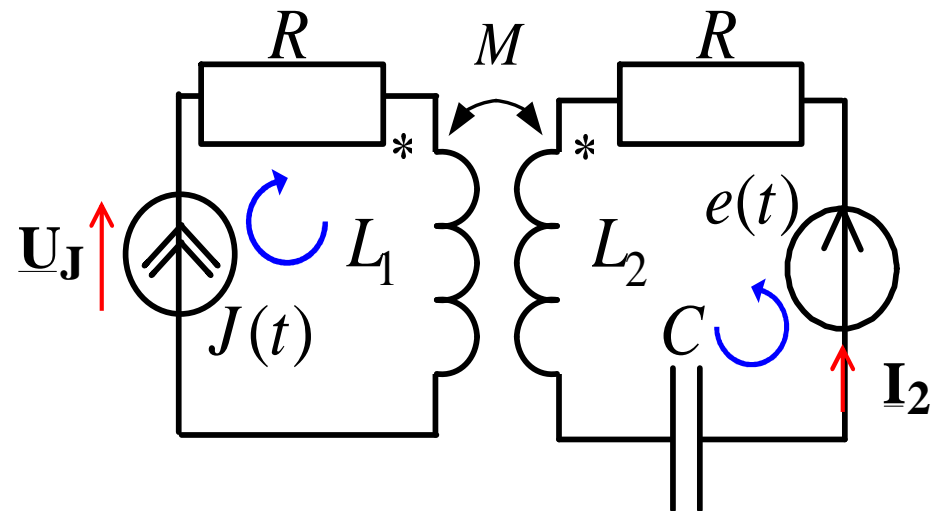


Т.к. токи \underline{J} и \underline{I}_2 входят в
одноимённые

Зажимы (*)

$$\underline{U}_J = \underline{J}(R + jX_L) + \underline{I}_2 jX_M$$

$$\underline{E} = \underline{I}_2(R + jX_L - jX_C) + \underline{J} jX_M$$



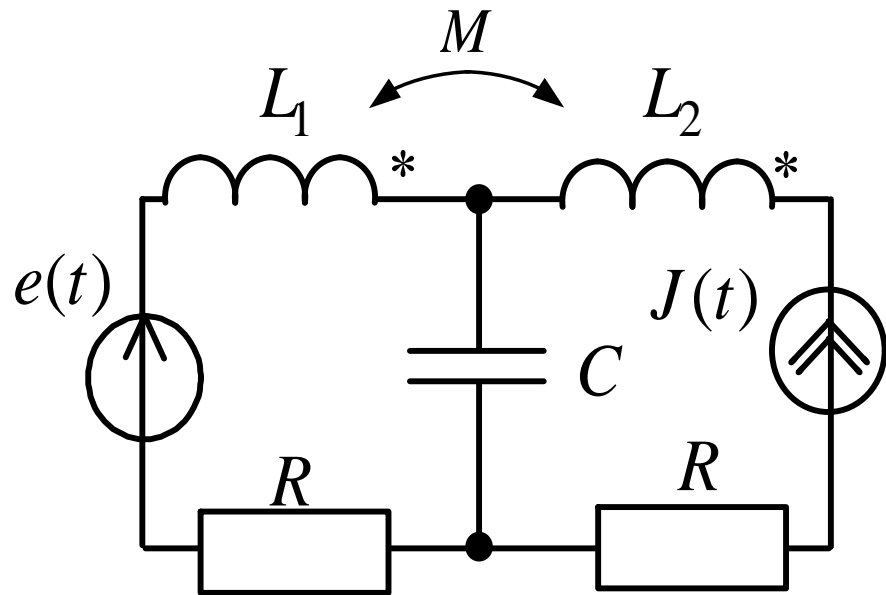

$$20 = \underline{I_2}(10 + j20 - j20) + j \cdot j10$$

$$\underline{I_2} = \frac{20 + 10}{10} = 3 \text{ A}$$

$$S = \overset{*}{E} \underline{I_2}$$



Пример :



Определить вырабатываемую источником напряжения мощность, если

$$e(t) = 100\sqrt{2} \sin(\omega t) \text{ В}$$

$$J(t) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + 90) \text{ А}$$

$$R = \omega L_1 = \omega L_2 = \frac{1}{\omega C} = 20 \text{ Ом};$$

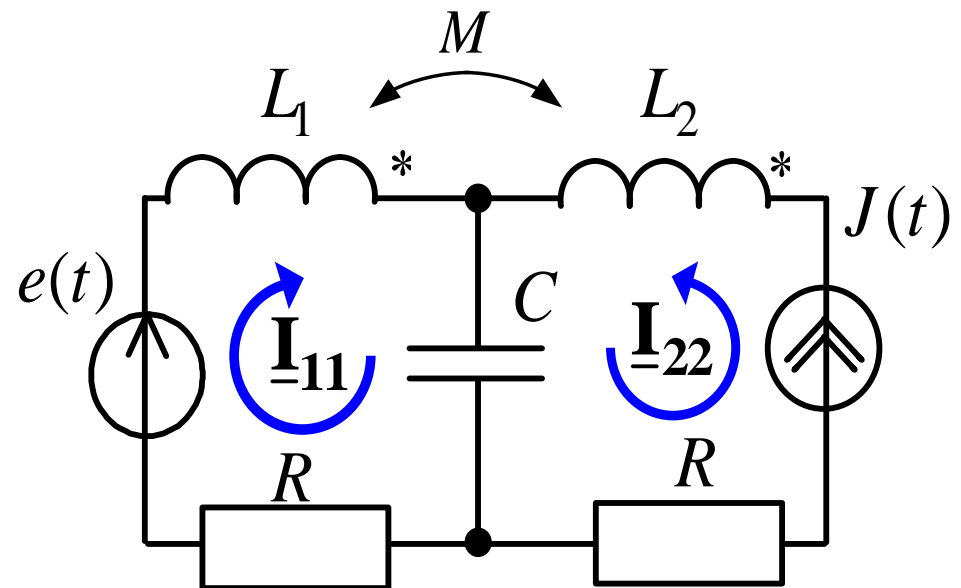
$$\omega M = 10 \text{ Ом}.$$


По ме

Т.к. контурные токи \underline{I}_1 и \underline{I}_2 входят в разноимённые зажимы (*)


$$\begin{cases} \underline{I}_{22} = \underline{J} \\ \underline{I}_{11}(\underline{R} + j\underline{X}_L - j\underline{X}_C) + \underline{I}_{22}(-j\underline{X}_C) - \underline{I}_{22}(j\underline{X}_M) = \underline{E} \end{cases}$$

Т.к. контурные токи \underline{I}_{11} и \underline{I}_{22} протекают в общей ветви в одном




$$\begin{cases} \underline{\mathbf{I}}_{22} = 10j \\ \underline{\mathbf{I}}_{11}(20) + 10j(-j20) - 10j10j = 100 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \underline{\mathbf{I}}_{22} = 10j \\ \underline{\mathbf{I}}_{11}(20) + 200 + 100 = 100 \end{cases}$$


$$\begin{cases} \underline{I}_{22} = 10j \\ \underline{I}_{11}(20) = -200 \end{cases}$$

$$\underline{I}_{11} = \frac{-200}{20} = -10$$

$$\underline{S}_B = \underline{E}_1 \overset{*}{\underline{I}}_1 = 100 \cdot (-10) = -1000 \text{ BA}$$