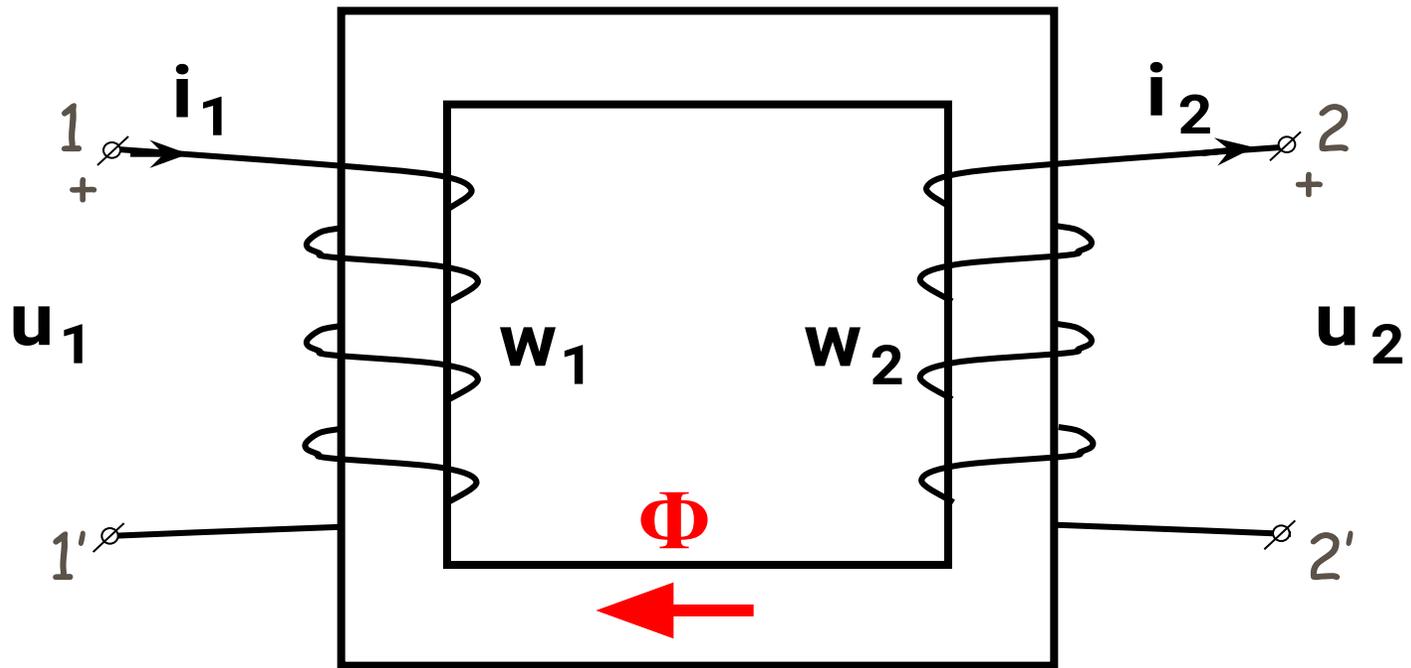




# Трансформатор в линейном режиме



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



$\Phi$  – магнитный поток, Вб

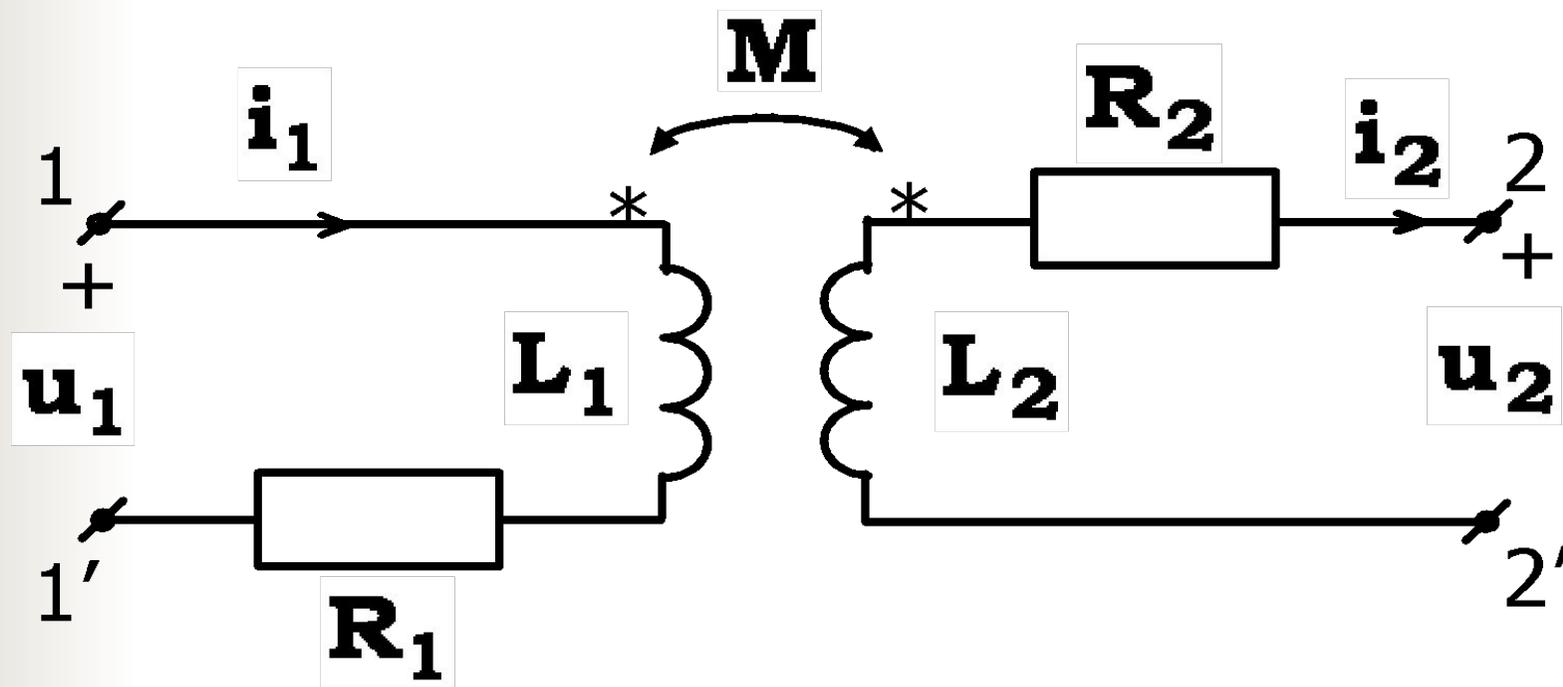
В линейном режиме магнитопровод ненасыщен или отсутствует (воздушный трансформатор).

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:



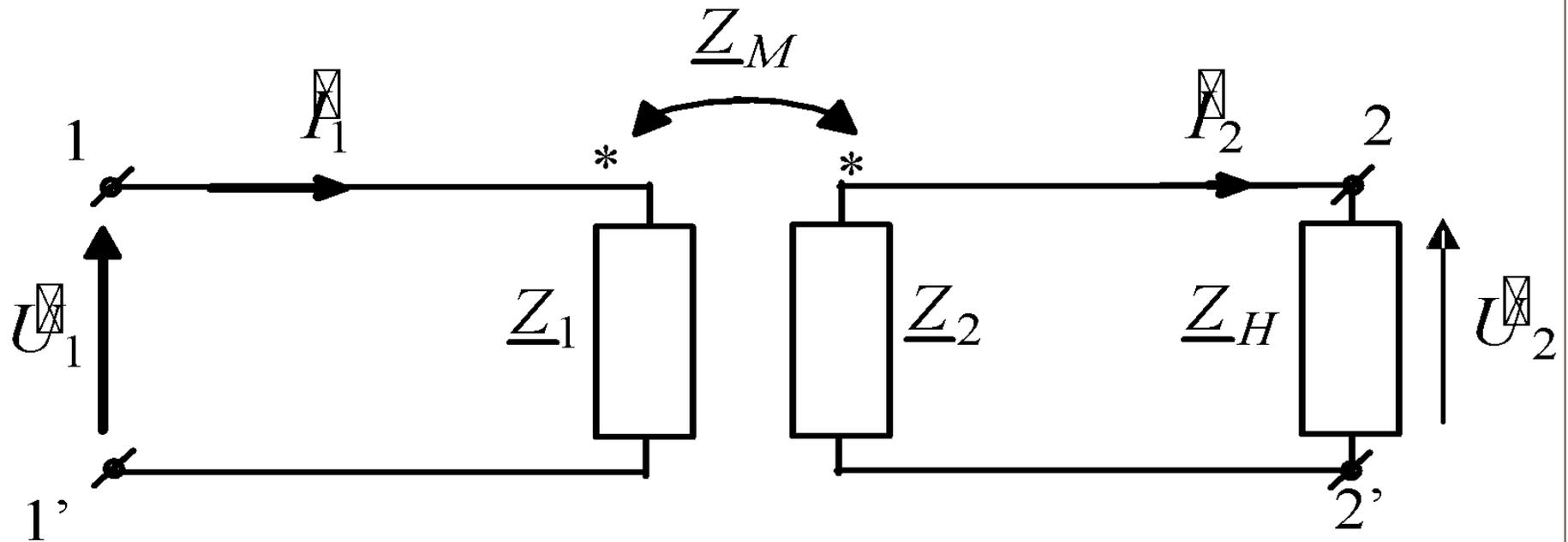
Если  $u_1$  является напряжением источника, а  $u_2$  – напряжением на пассивной нагрузке, то тогда получаем

Уравнения по 2 закону Кирхгофа для  
МГНОВЕННЫХ значений:

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$0 = u_2 + R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

# 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:

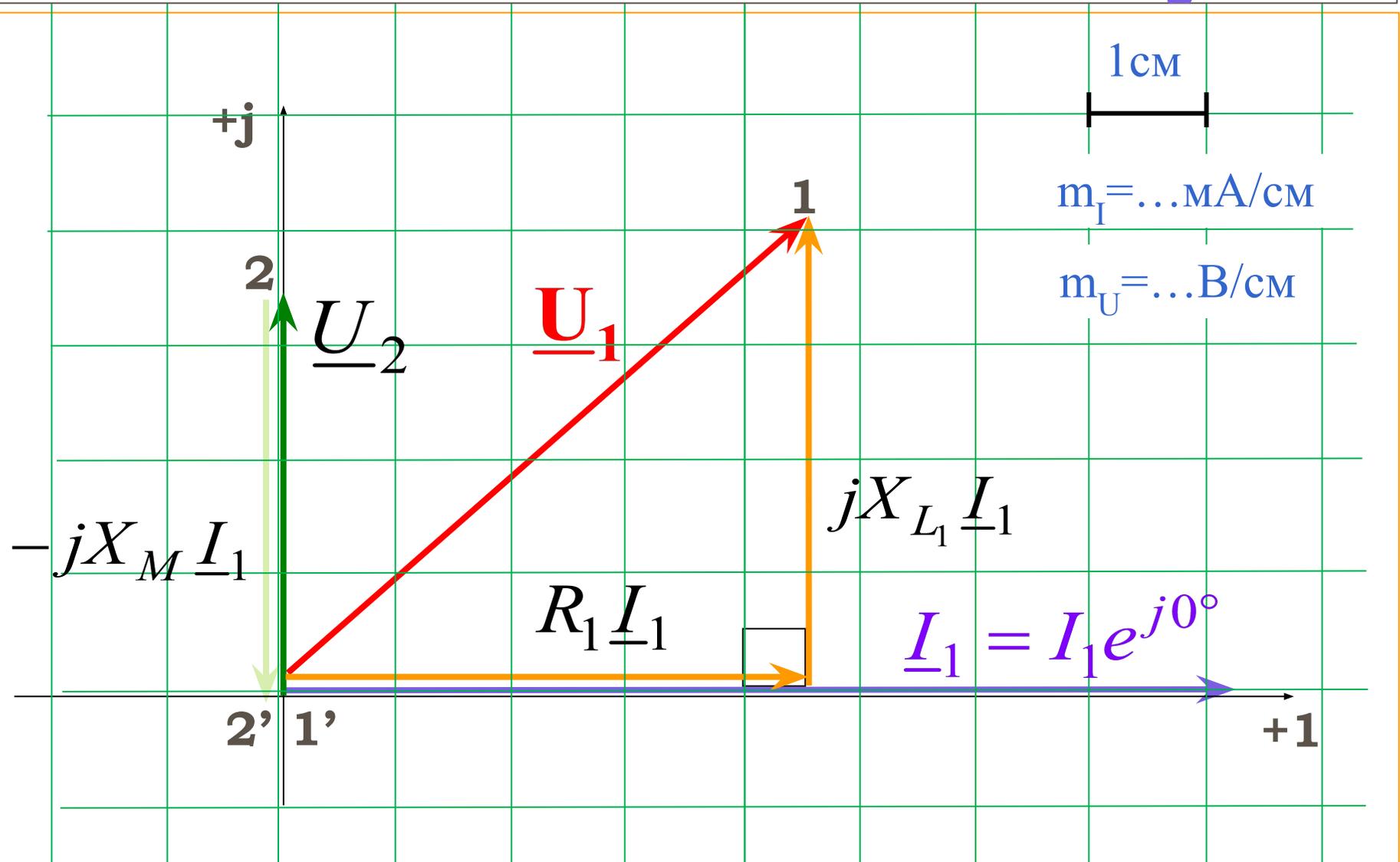
$$\begin{cases} \underline{U}_1 = (R_1 + jX_{L1})\underline{I}_1 - jX_M \underline{I}_2 \\ \mathbf{0} = \underline{U}_2 + \underline{I}_2(R_2 + jX_{L2}) - jX_M \underline{I}_1 \end{cases}$$

где

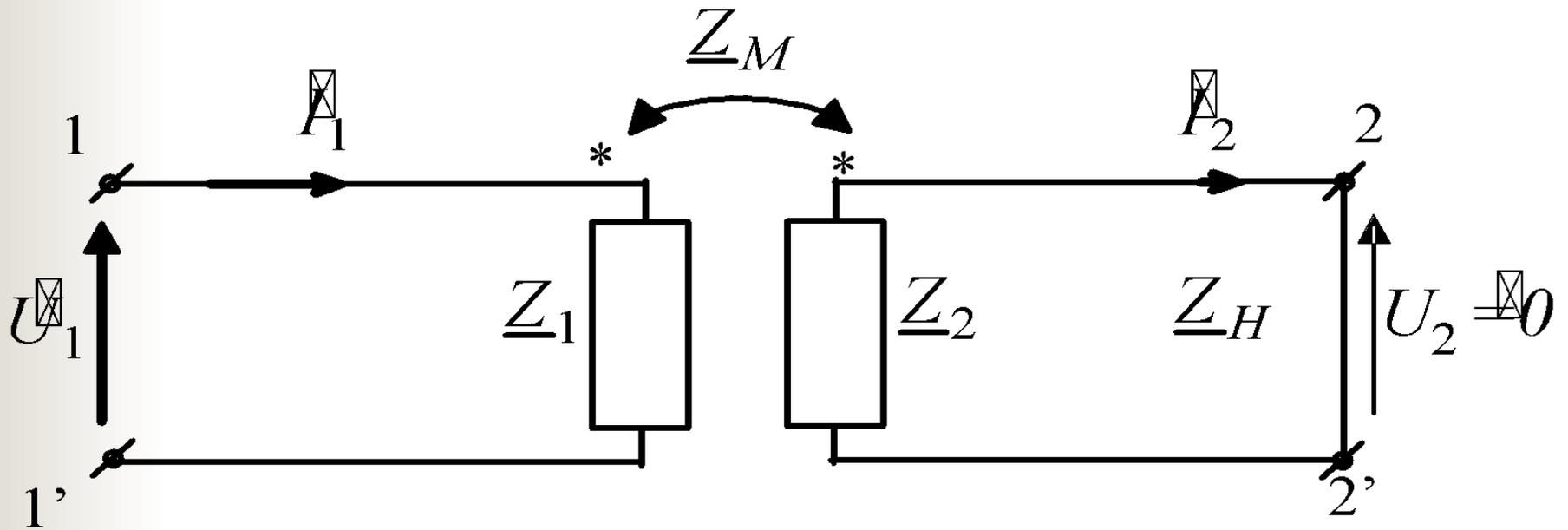
$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_H \underline{I}_2$$

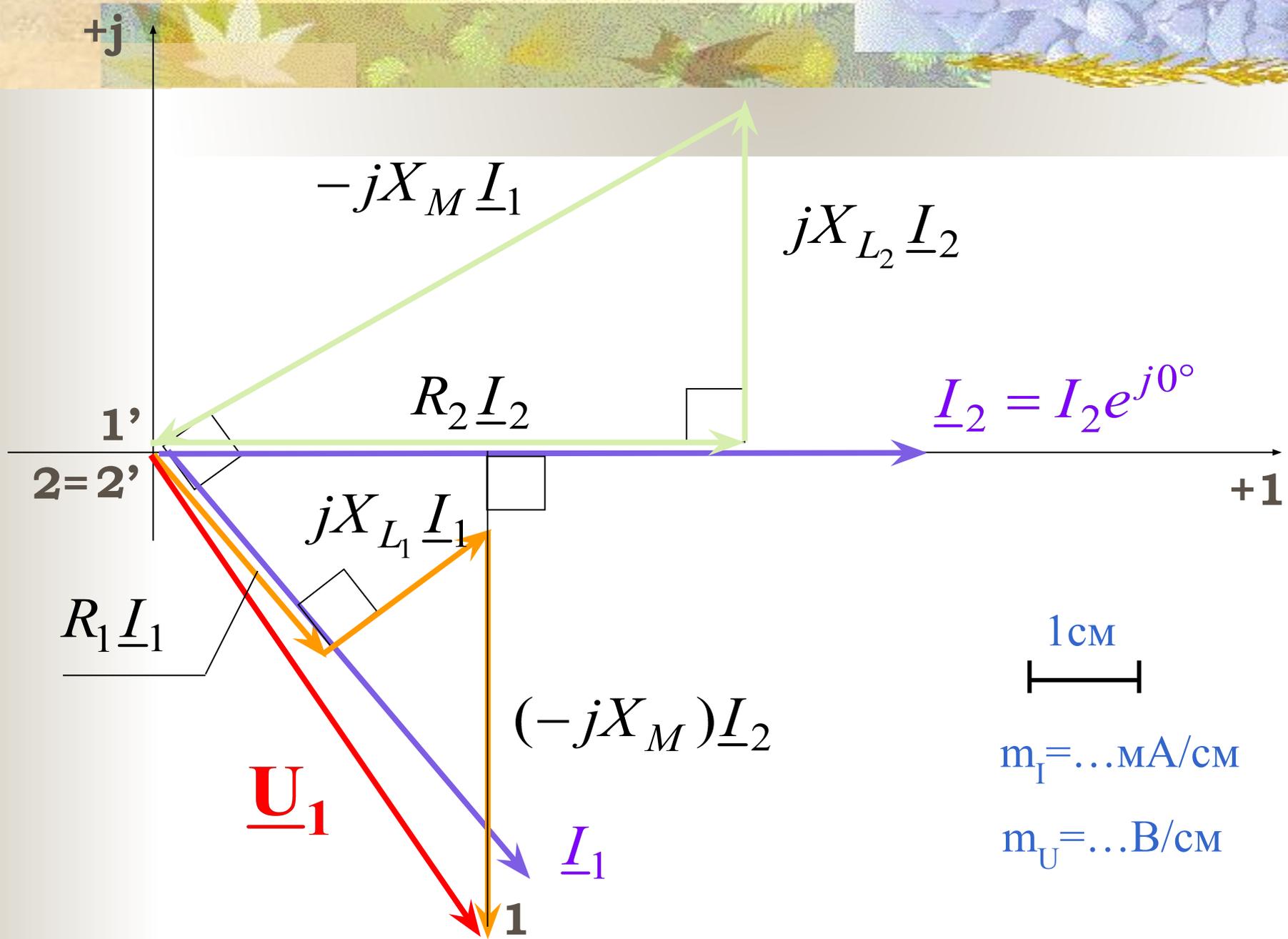
Из решения этих уравнений  
можно найти токи  $\underline{I}_1$  и  $\underline{I}_2$

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



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

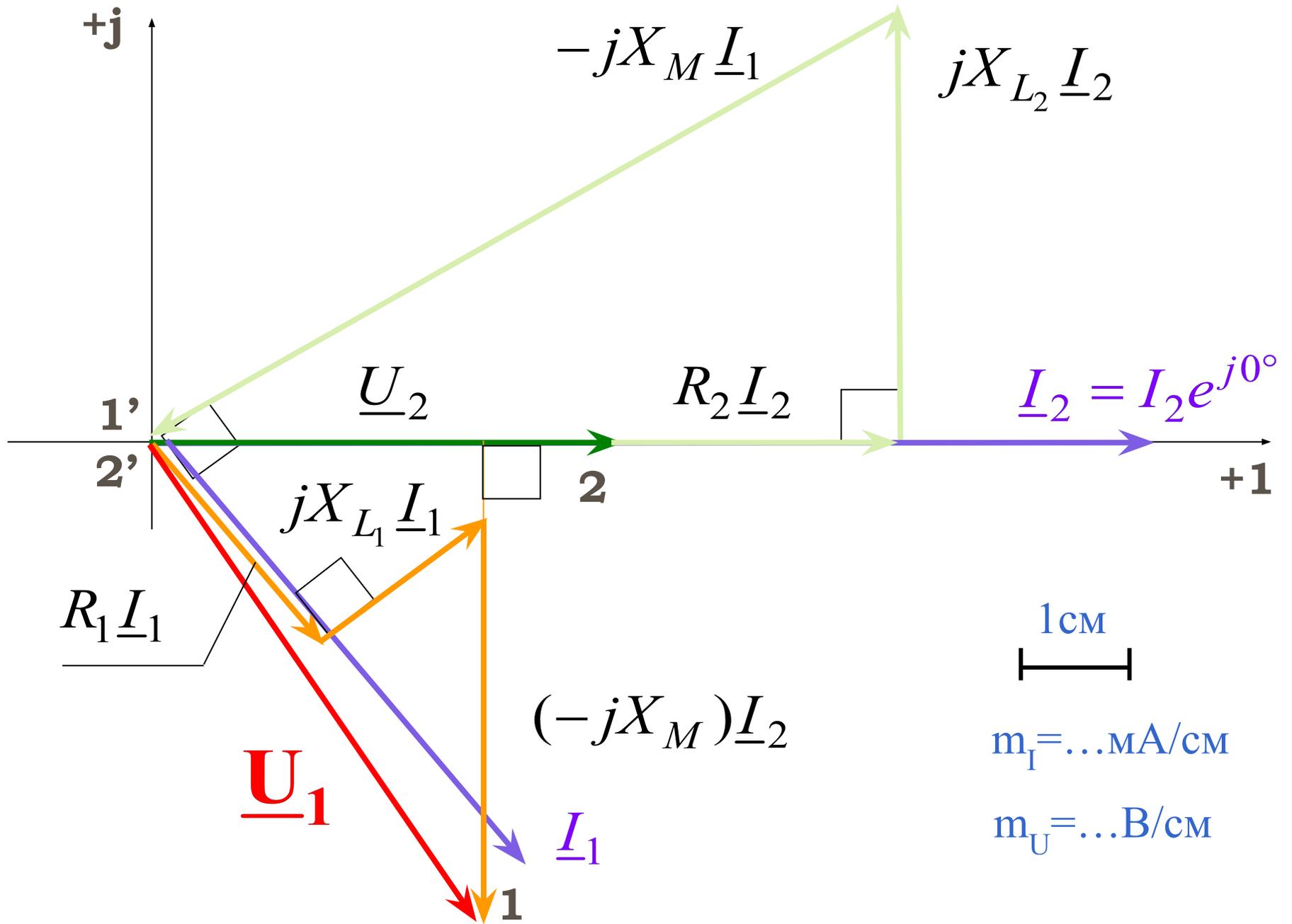






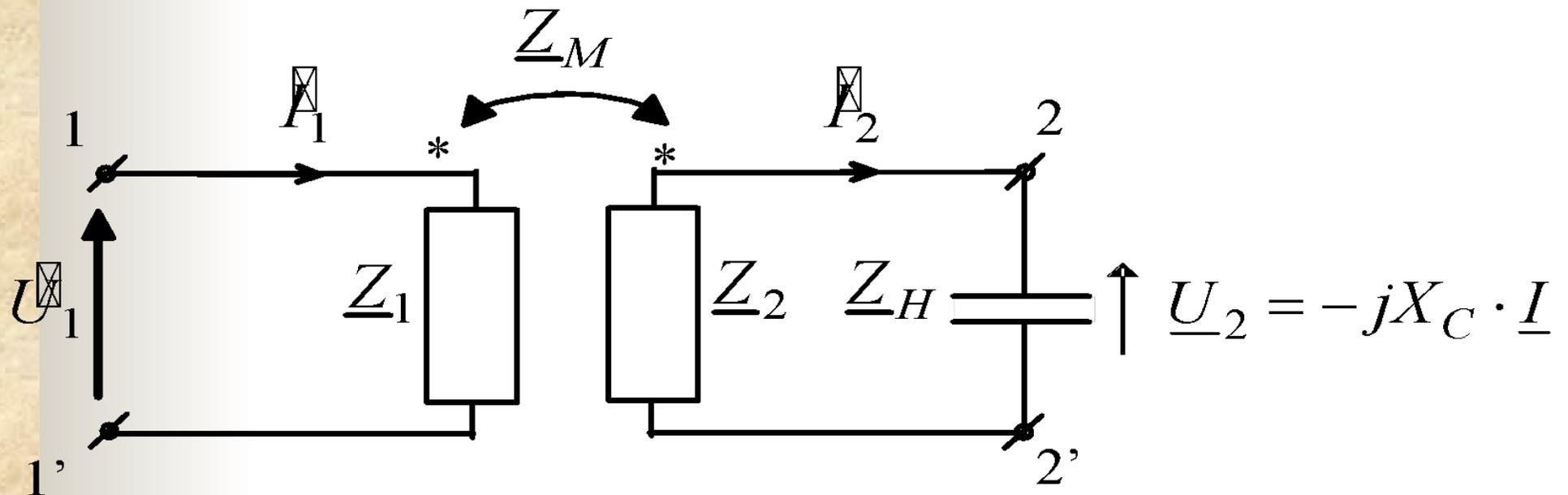
*Векторная диаграмма при  
активном сопротивлении  
нагрузки*

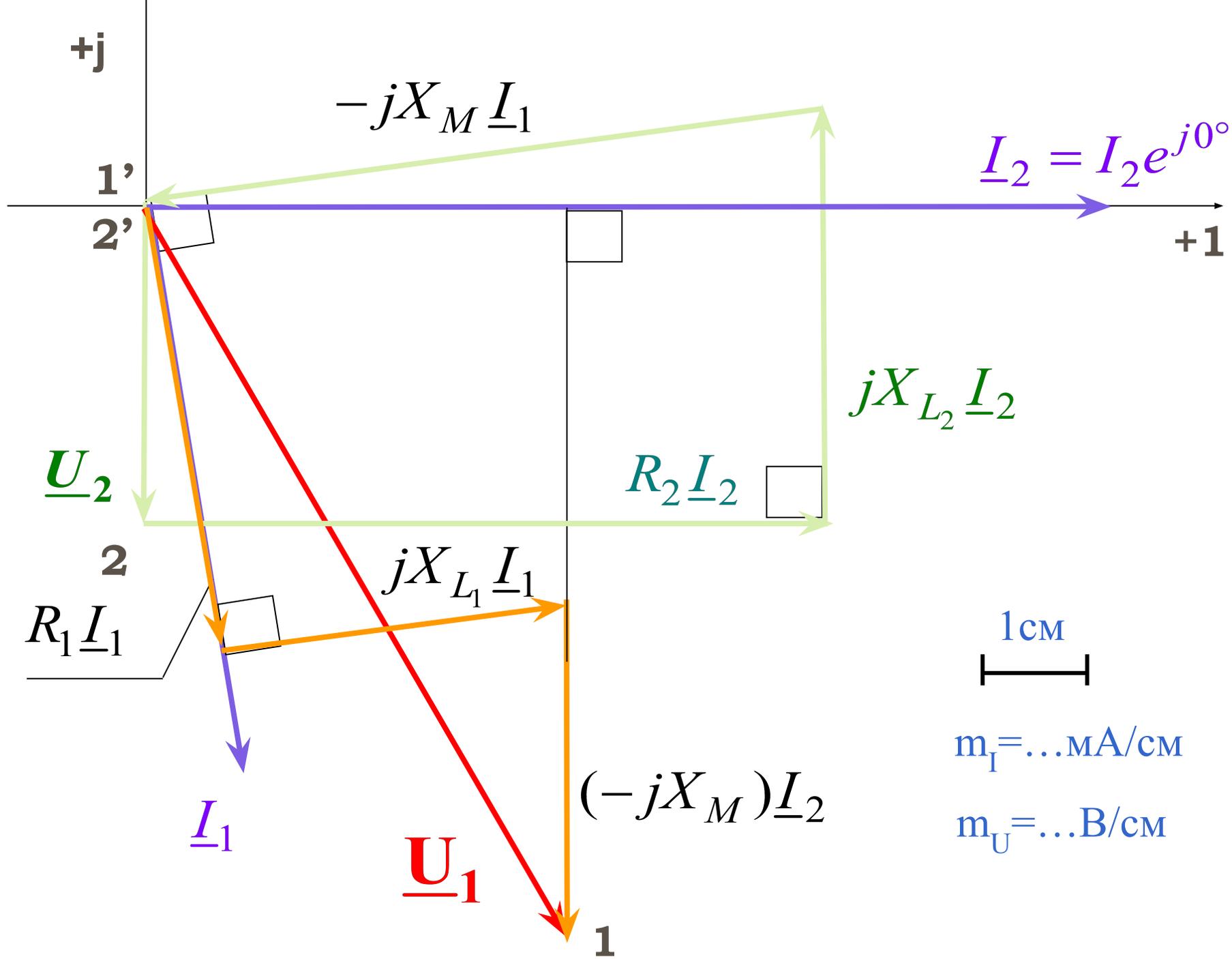
$$\underline{Z}_H = R \quad \underline{U}_2 = \underline{I}_2 R$$
$$(\varphi_H = 0)$$



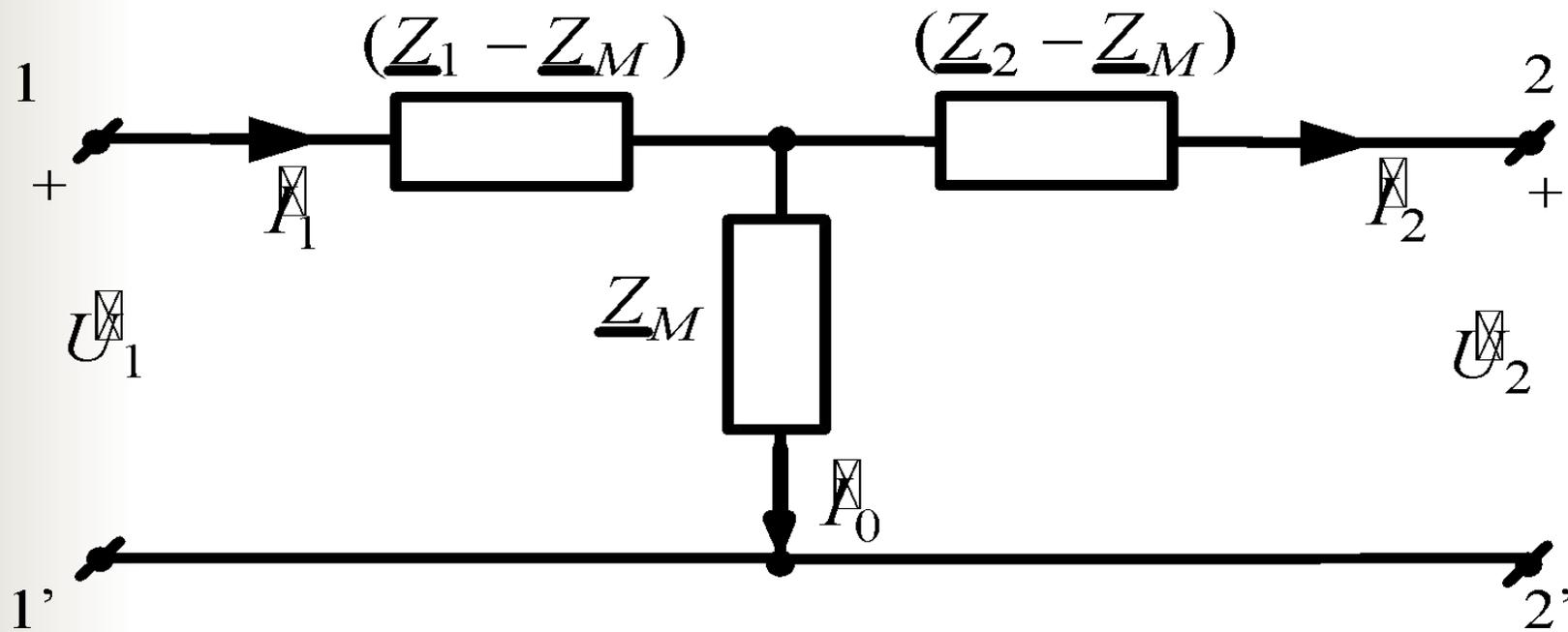
# Векторная диаграмма при ёмкостном сопротивлении нагрузки

(  $\underline{Z}_H = -jX_C$  ):





# Схема замещения трансформатора без индуктивной связи:



$$\underline{I}_0 = \underline{I}_1 - \underline{I}_2 - \text{ток намагничивания}$$

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

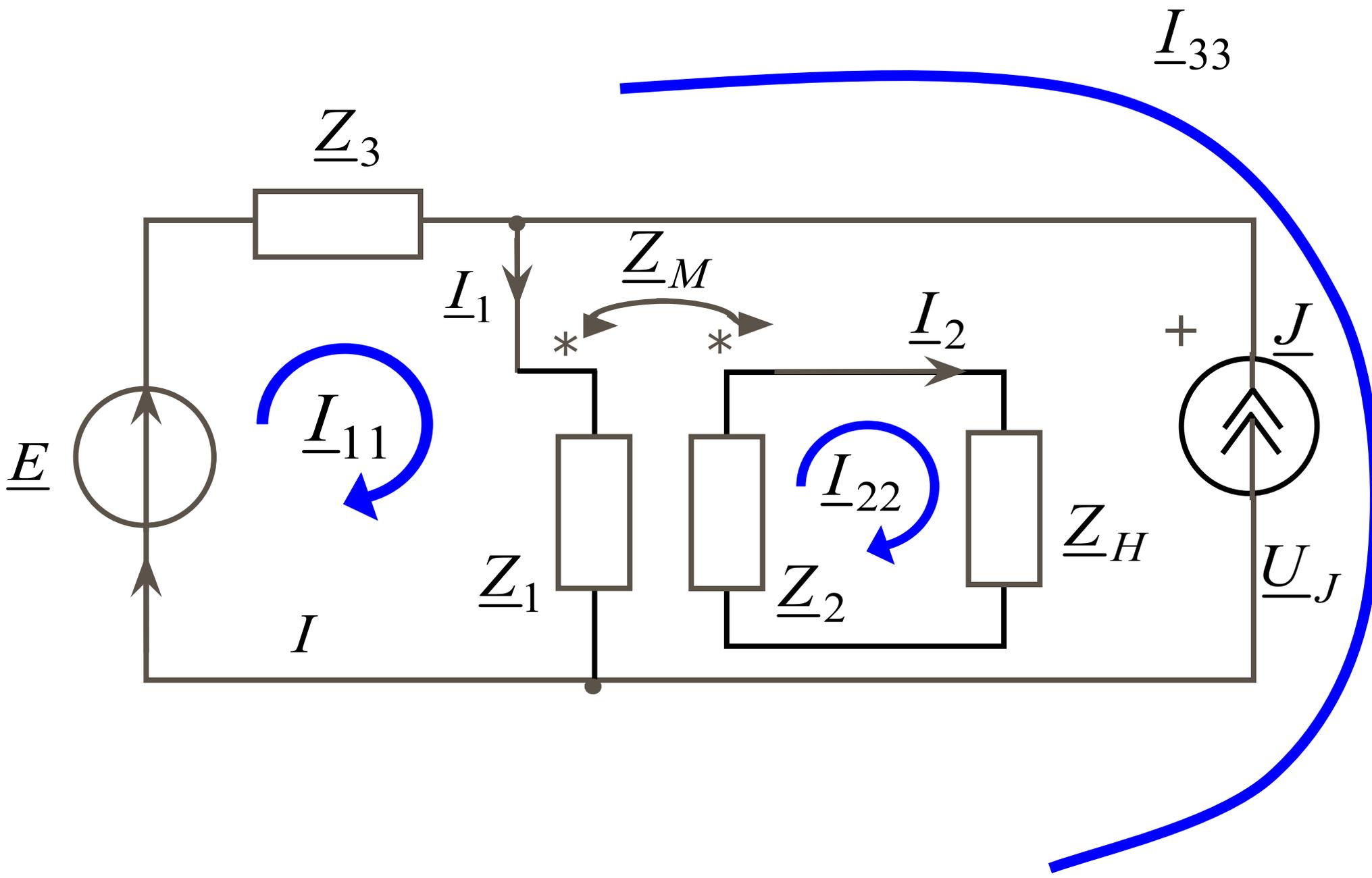
Пример:

Дано:

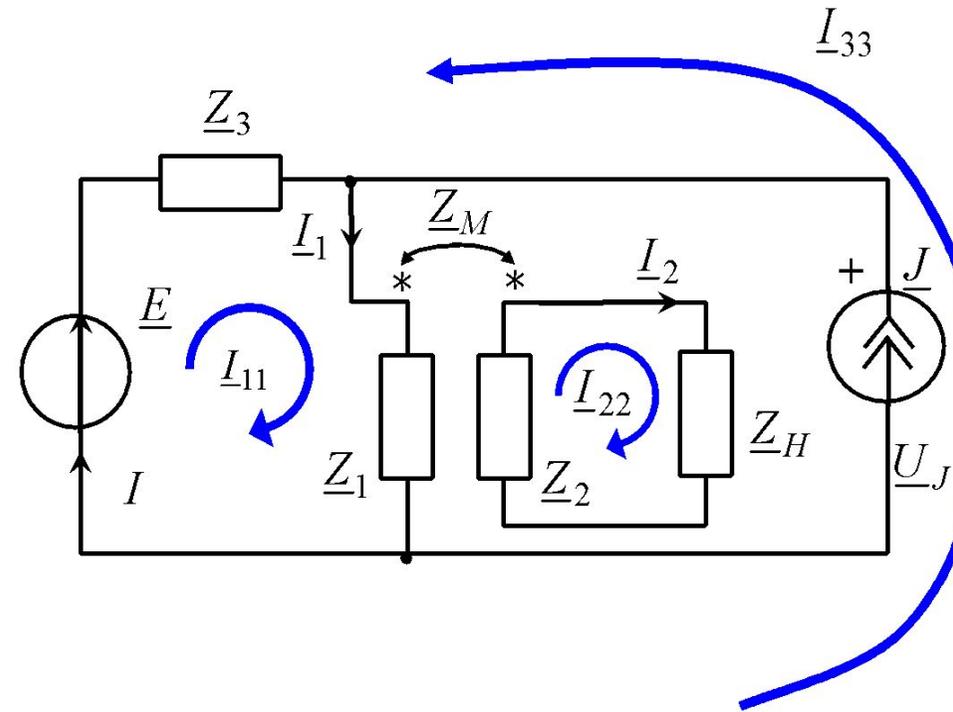
$$\underline{E}, \underline{J}, \underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \\ \underline{Z}_3, \underline{Z}_M, \underline{Z}_H.$$

Определить:

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

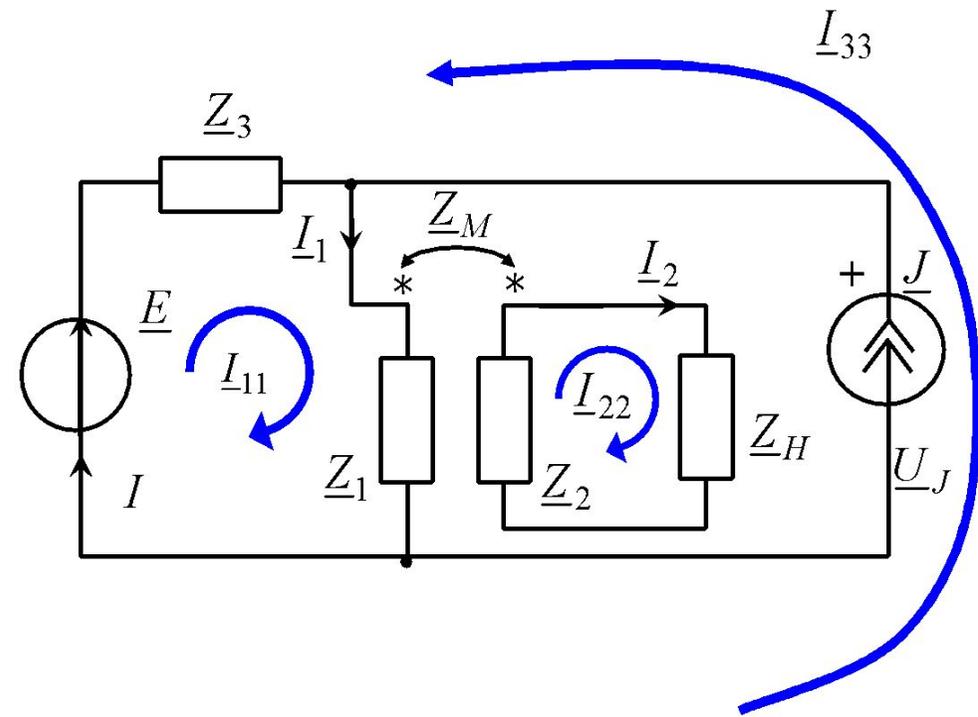


По методу контур



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

Далее находим:



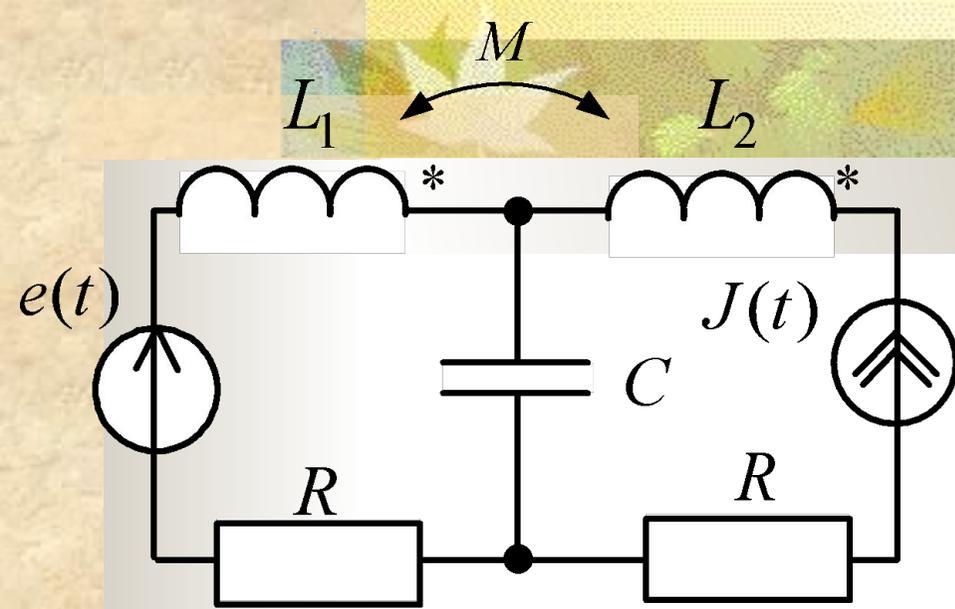
$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{11}; \quad \underline{I}_2 = \underline{I}_{22}; \quad \underline{I} = \underline{I}_{11} - \underline{I}_{33};$$

$$\underline{U}_J = \underline{E} - \underline{I}\underline{Z}_3$$



*Пример:*

Определить вырабатываемую  
источником напряжения  
мощность, если



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

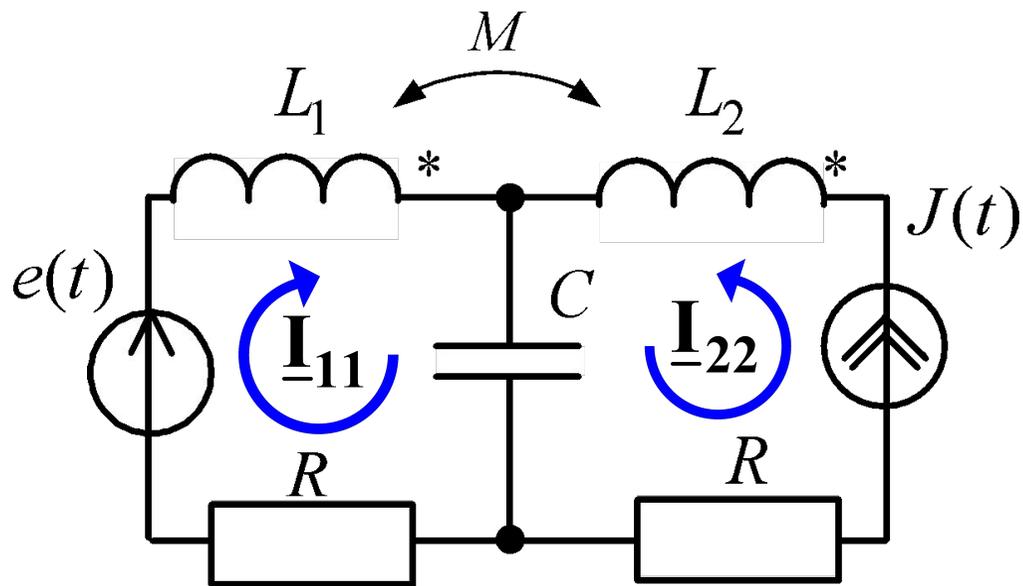
$$J(t) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + 90) \text{ А}$$

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

$$\omega M = 10 \text{ Ом}.$$

По методу контурных токов:

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




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

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


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

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

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