Лекция №5

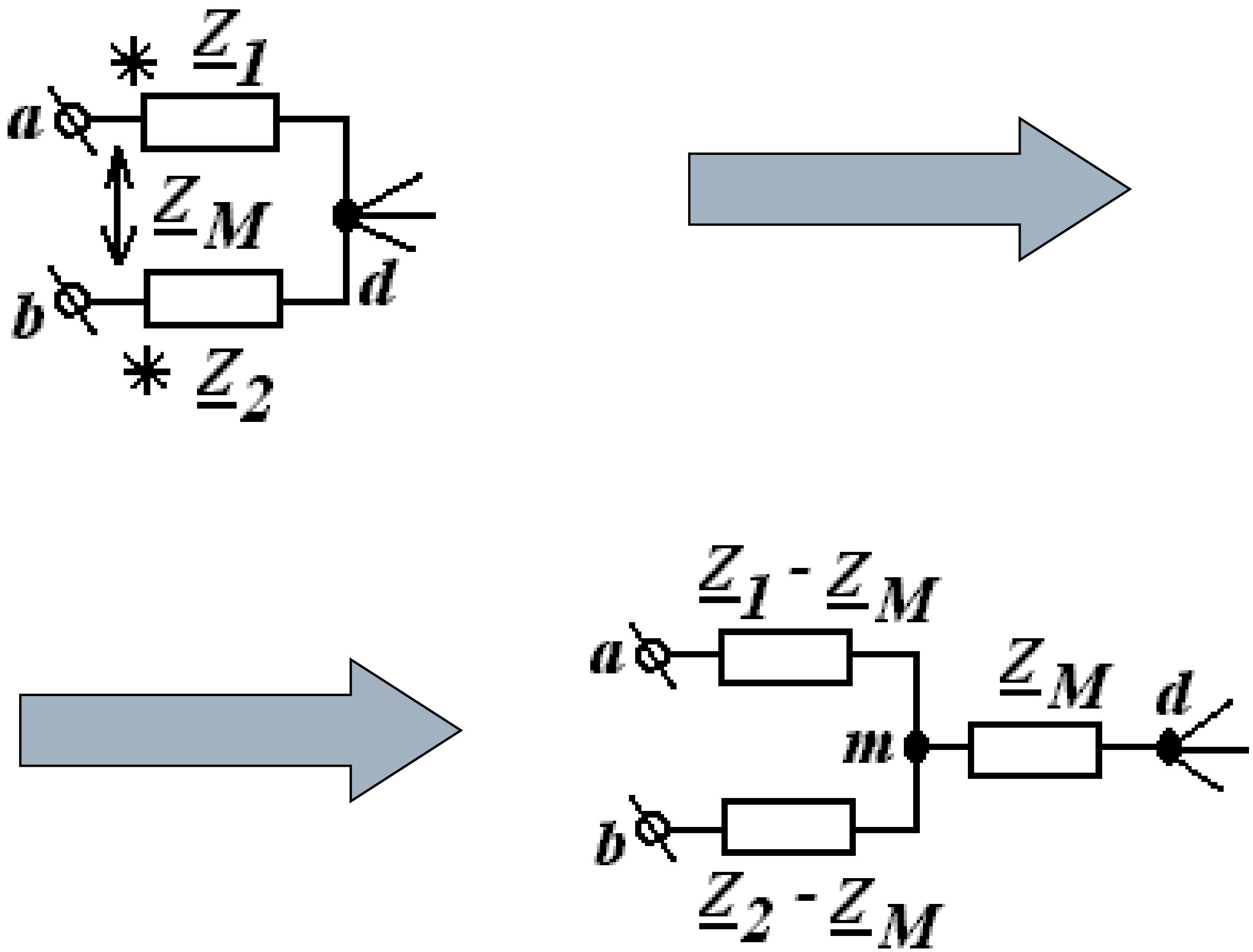
Развязка индуктивной связи. Трансформатор

Лектор: к.т.н., доцент Васильева Ольга Владимировна

Развязка индуктивной связи

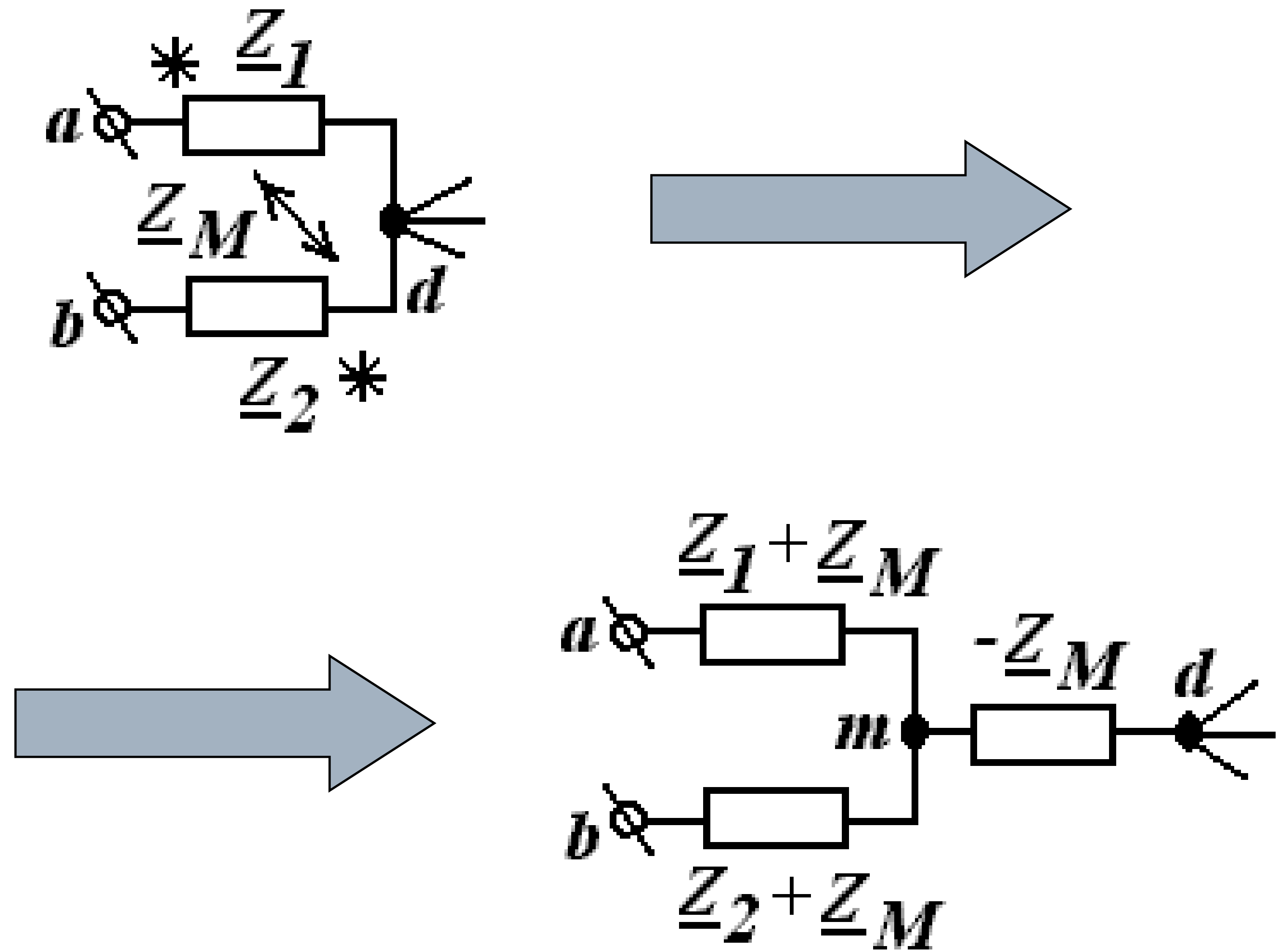
Развязка индуктивной связи применяется для ее исключения с целью упрощения расчетов и может быть доказана при помощи законов Кирхгофа в комплексной форме

1. Два индуктивно связанных комплексных сопротивления подходят одинаковым образом к общему узлу (d)



Z1
a
ZM
d
b
Z2
Z1 - ZM
a
ZM
d
m
b
Z2 - ZM

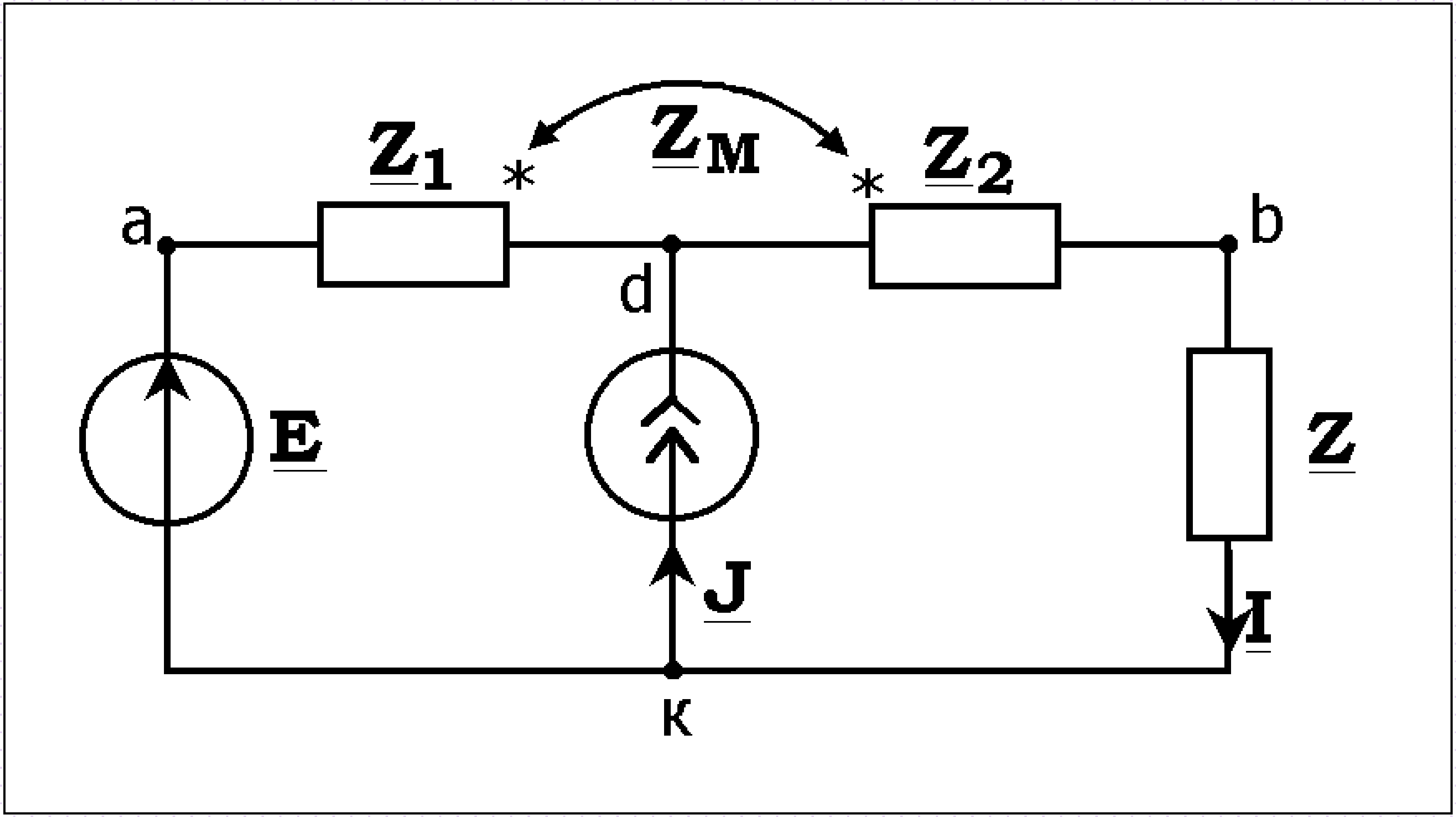
2. Два индуктивно связанных комплексных сопротивления подходят различным образом к общему узлу (d)



$\underline{Z}_1$
a
$\underline{Z}_M$
d
b
$\underline{Z}_2$
$\underline{Z}_1+\underline{Z}_M$
a
$-\underline{Z}_M$
d
m
b
$\underline{Z}_2+\underline{Z}_M$

После развязки индуктивной связи для расчета цепи можно использовать любой известный метод в комплексной форме

Пример



$\underline{Z}_1$
*
$\underline{Z}_M$
*
$\underline{Z}_2$
a
d
b
$\underline{E}$
$\underline{J}$
$\underline{Z}$
$\underline{I}$
к

Дано:

$$\underline{E} = Ee^{j\alpha}$$

$$\underline{J} = Je^{j\beta}$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$$

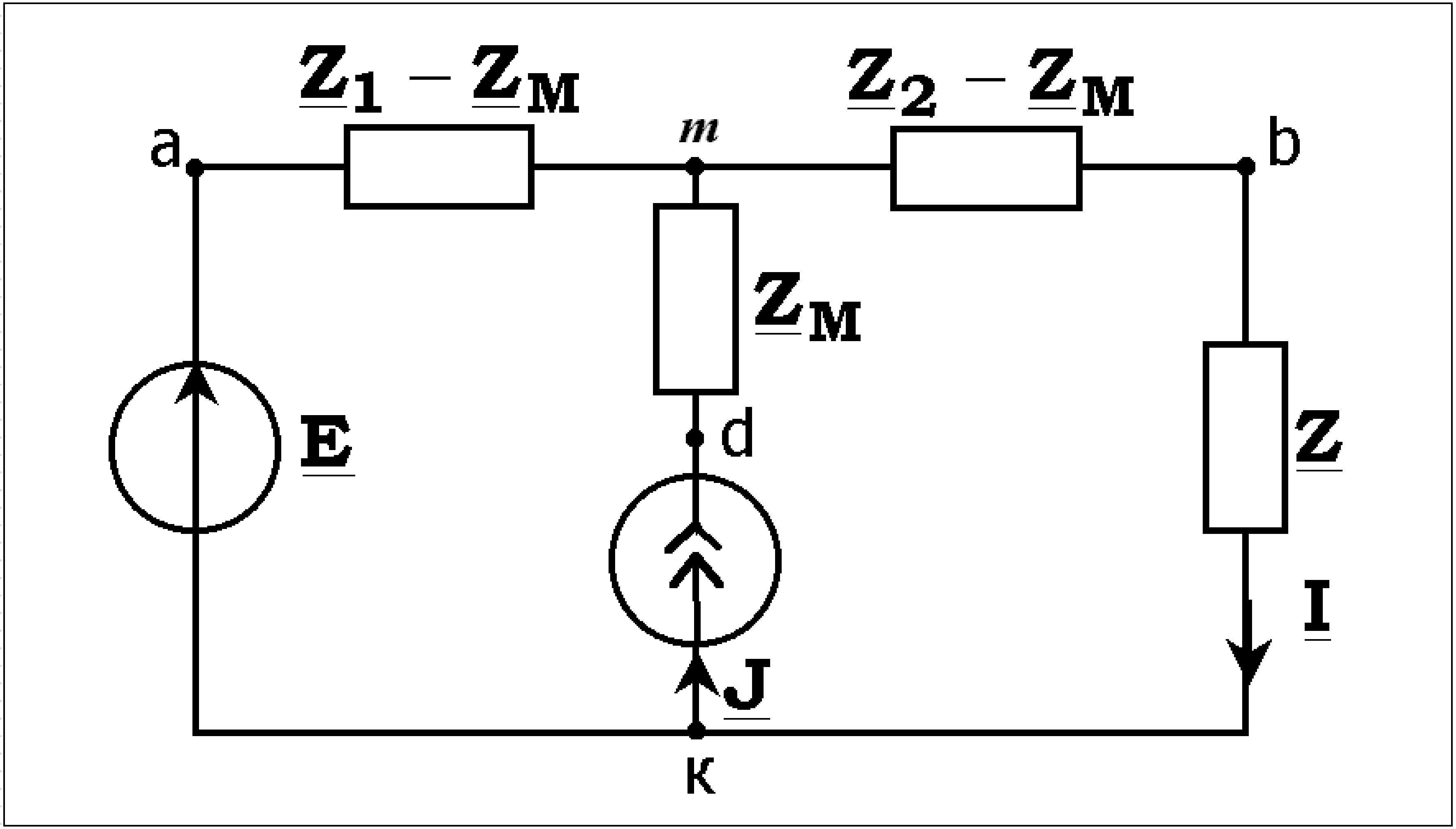
$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_2$$

$$\underline{Z} = R + jX$$

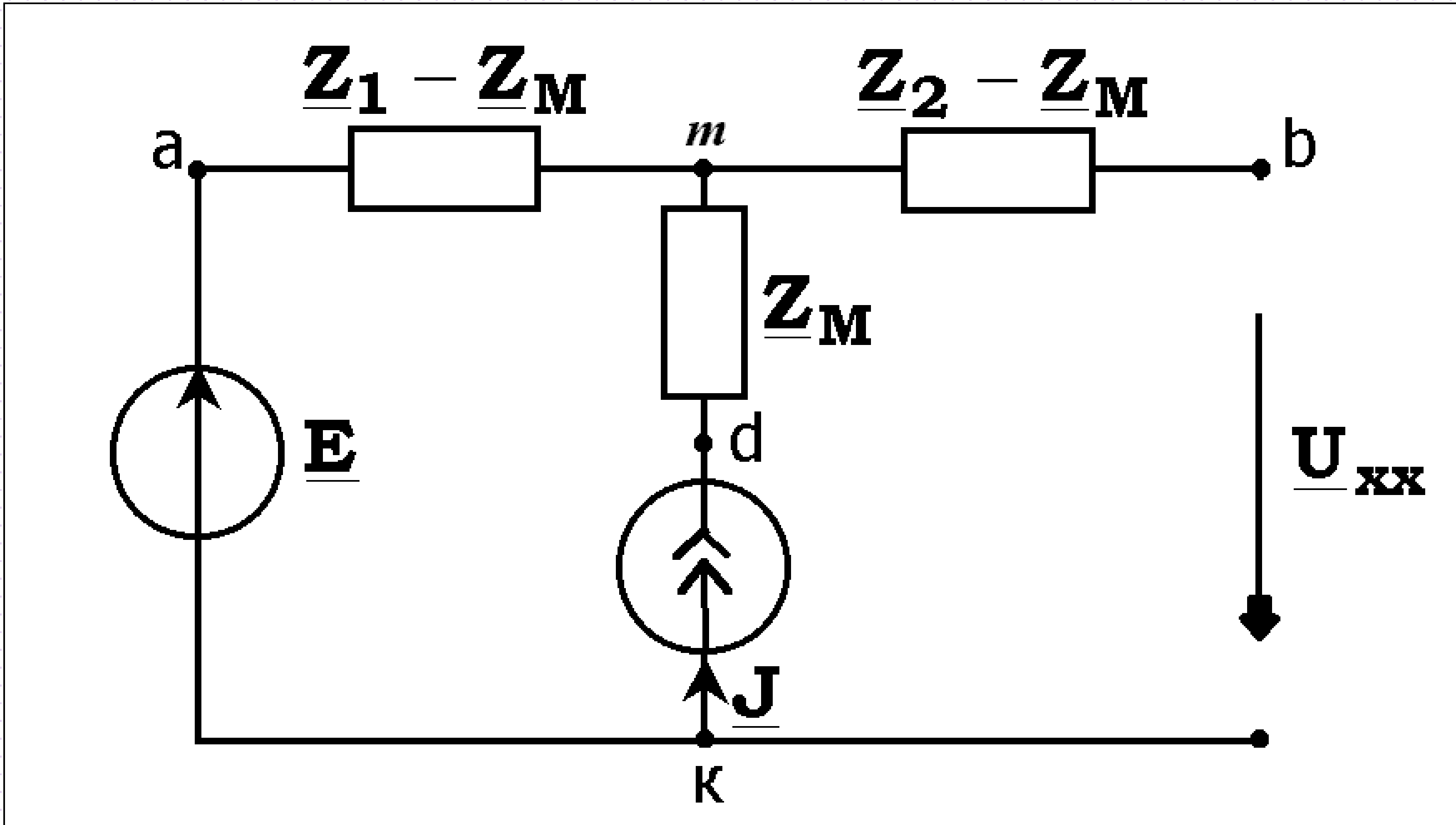
$$\underline{Z}_M = jX_M$$

Определить: $\underline{I} = ?$

После развязки:



Используем метод эквивалентного генератора



$$\underline{E}_{\Gamma} = \underline{U}_{xx} = \underline{E} + \underline{J} \cdot (\underline{Z}_1 - \underline{Z}_M) = E_{\Gamma} e^{j\alpha_{\Gamma}}$$

$$\underline{Z}_{\Gamma} = (\underline{Z}_2 - \underline{Z}_M) + (\underline{Z}_1 - \underline{Z}_M) =$$
$$= R_{\Gamma} + jX_{\Gamma} = Z_{\Gamma} e^{j\varphi_{\Gamma}}$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{E}_{\Gamma}}{\underline{Z}_{\Gamma} + \underline{Z}} = Ie^{j\lambda}$$

Действующее значение тока:

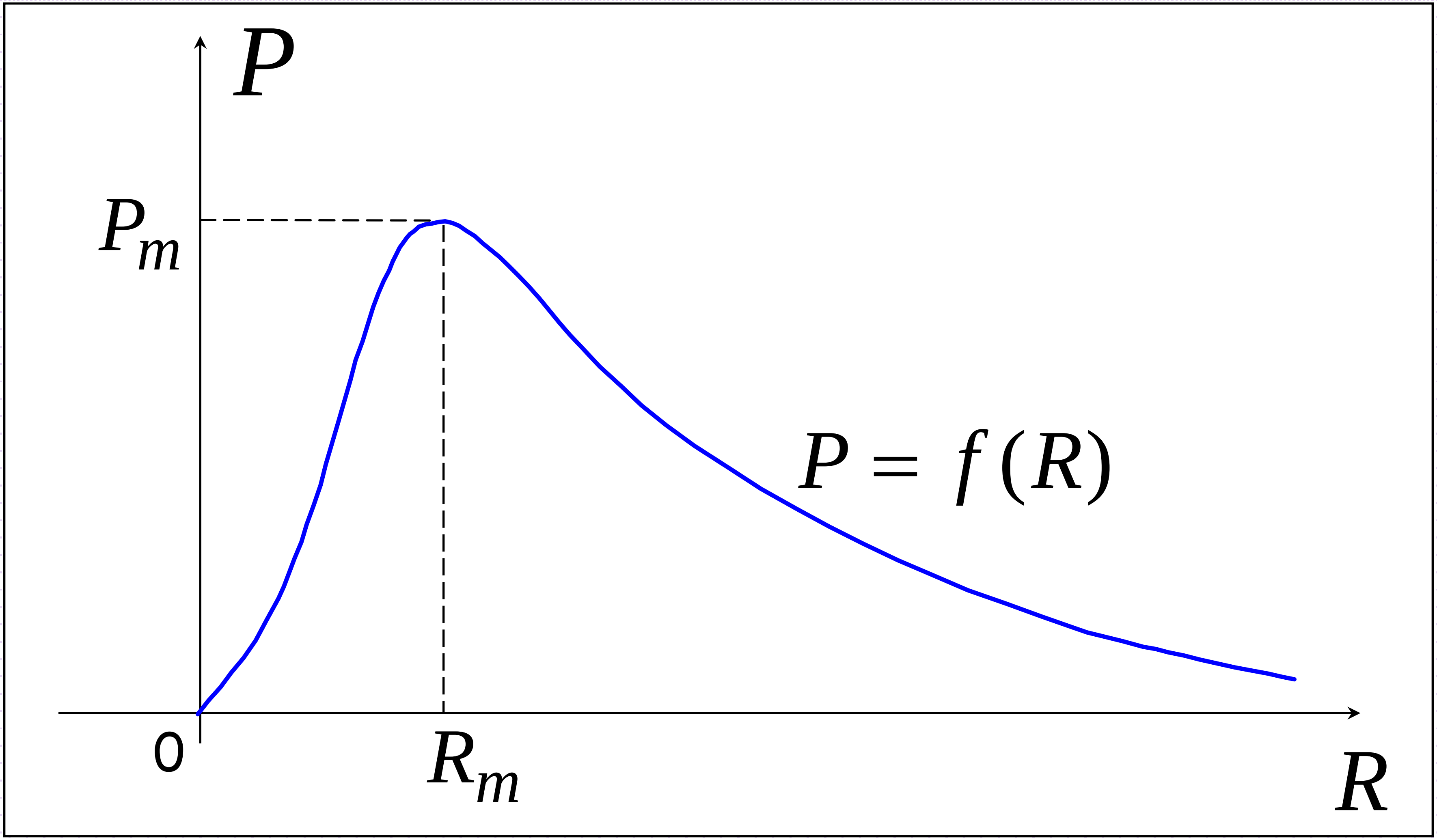
$$I = \frac{E_{\Gamma}}{\sqrt{(R_{\Gamma} + R)^2 + (X_{\Gamma} + X)^2}}$$

Активная мощность нагрузки $\underline{Z}$:

$$P = I^2 R =$$

$$= \frac{E_{\Gamma}^2 R}{(R_{\Gamma} + R)^2 + (X_{\Gamma} + X)^2} =$$

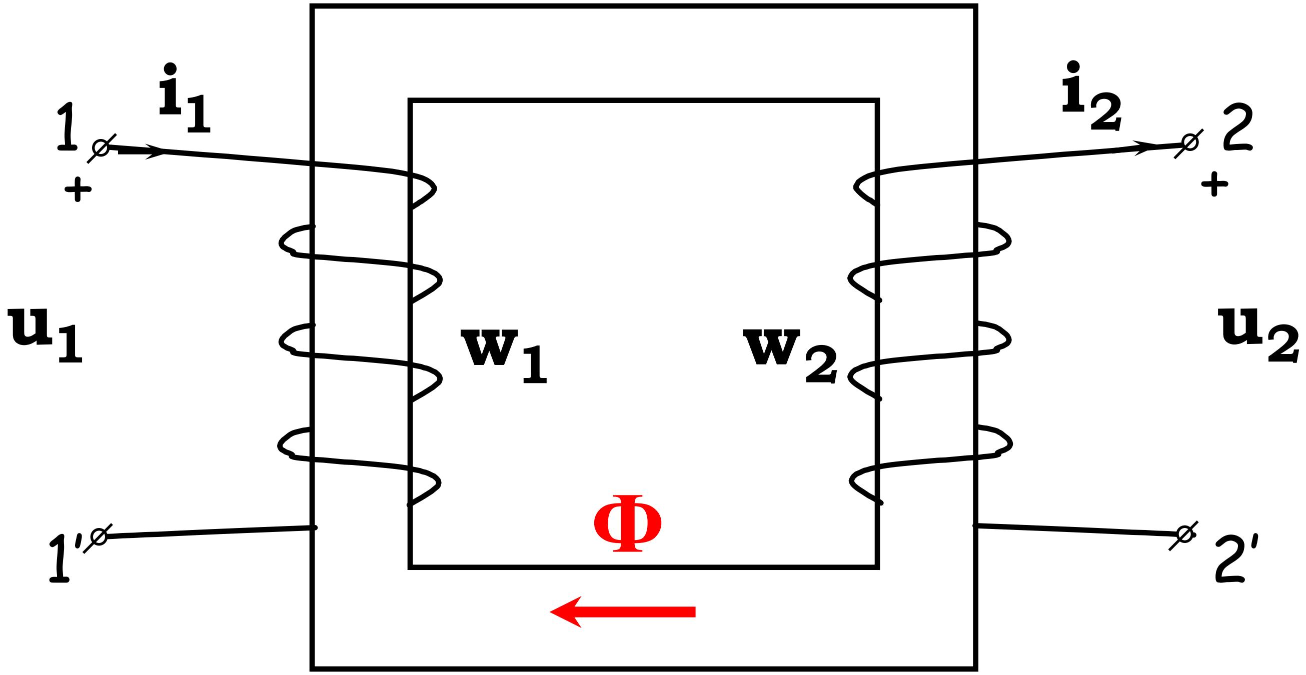
$$= f(R)$$



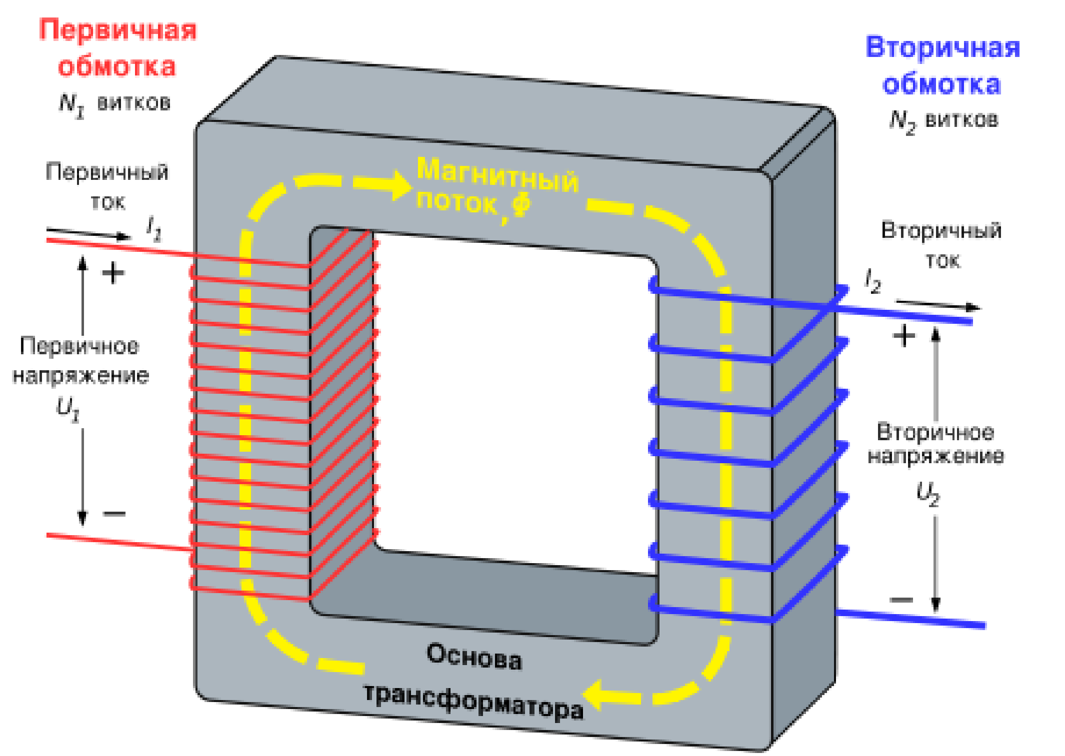
$$R_m = \sqrt{R_\Gamma^2 + (X_\Gamma + X)^2}; \qquad P_m = \frac{E_\Gamma^2}{2(R_m + R_\Gamma)}$$

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)



Ф – магнитный поток, Вб



Обмотка трансформатора, к которой подводится питание, называется первичной, другая обмотка, к которой присоединяется нагрузка, - вторичной.


Transformer
LL1660S/10mA
LUNDAHL
TRANSFORMERS
Sweden


В линейном режиме магнитопровод ненасыщен или отсутствует (воздушный трансформатор)

При этом индуктивности и сопротивления катушек трансформатора постоянны

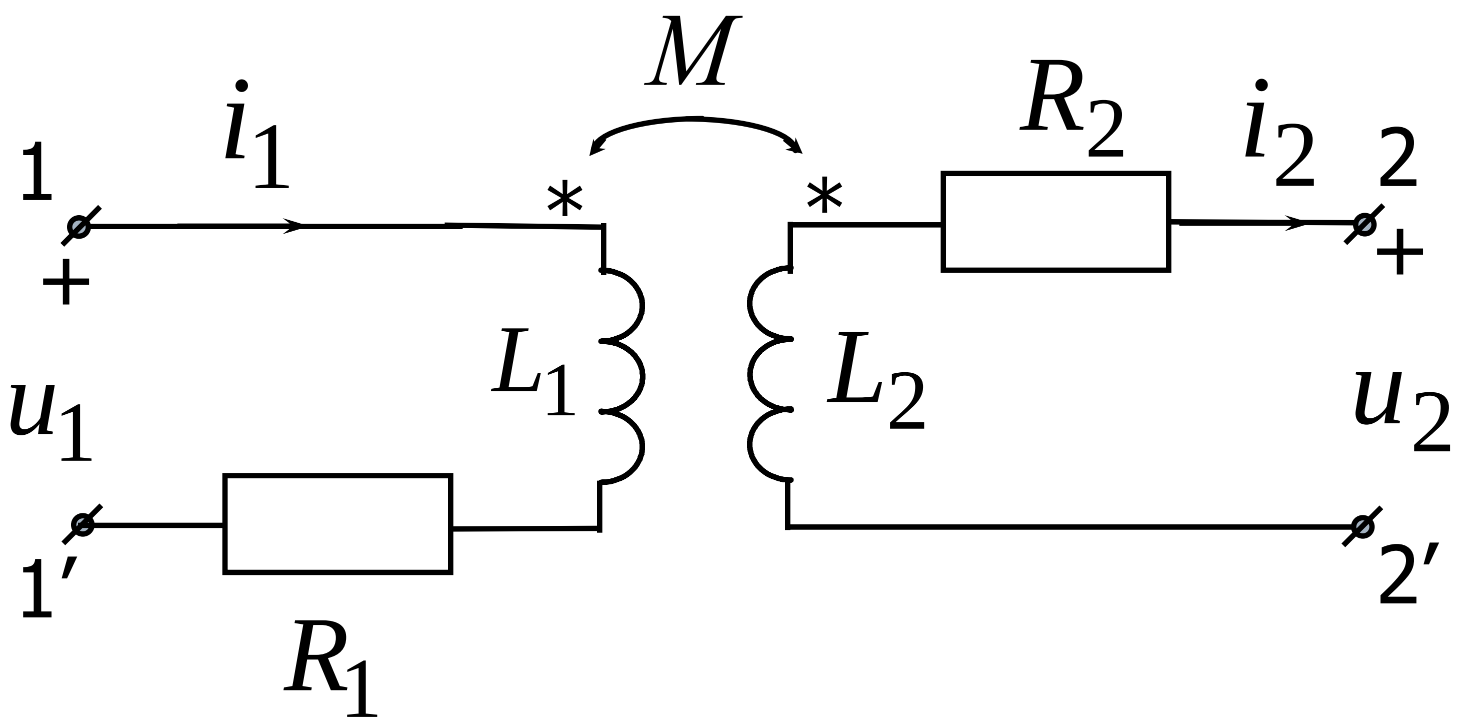
Передача энергии из одной катушки в другую осуществляется за счет взаимной индукции и ток $i_2(t)$ согласно правилу Ленца выбирает такое направление, что катушки будут включенными встречно

Правило Ленца:

Возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует изменению магнитного потока, которым он вызван.

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

Схема замещения:



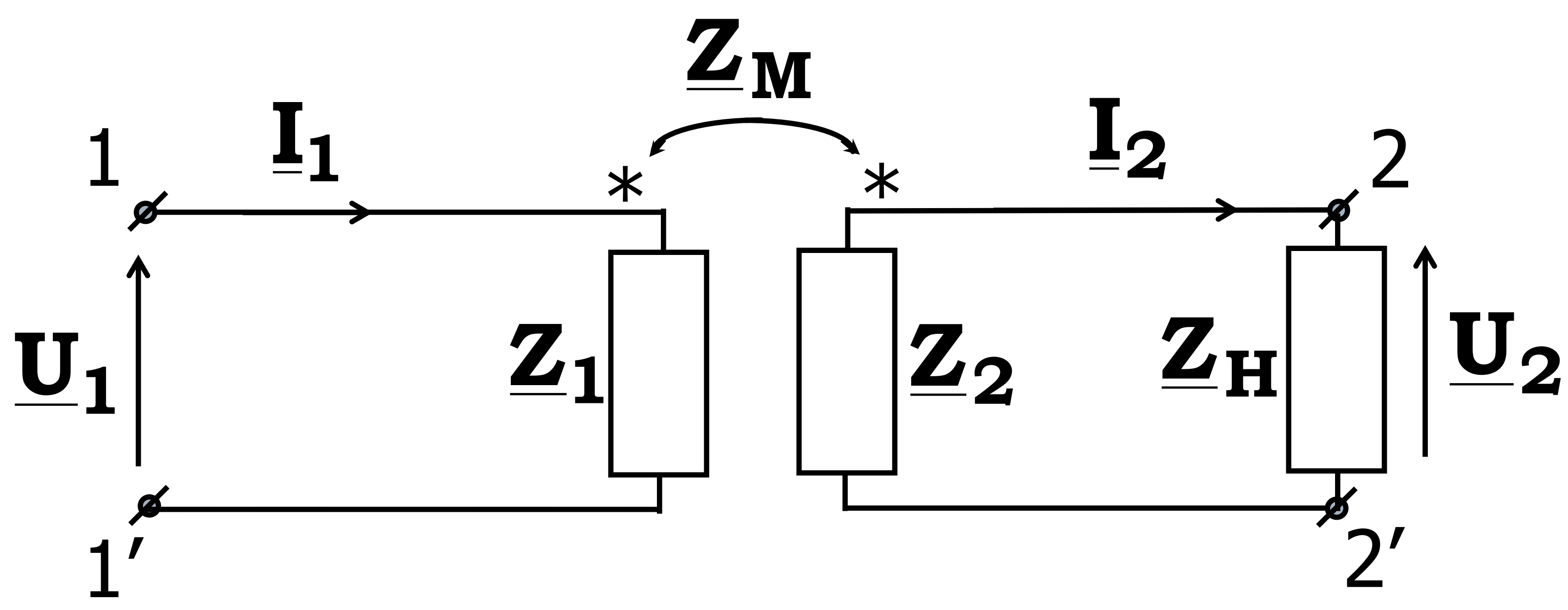
Если u_1 является напряжением источника, а u_2 – напряжением на пассивной нагрузке, то тогда получаем

Уравнения по 2 закону Кирхгофа:

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

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

Комплексная схема замещения:



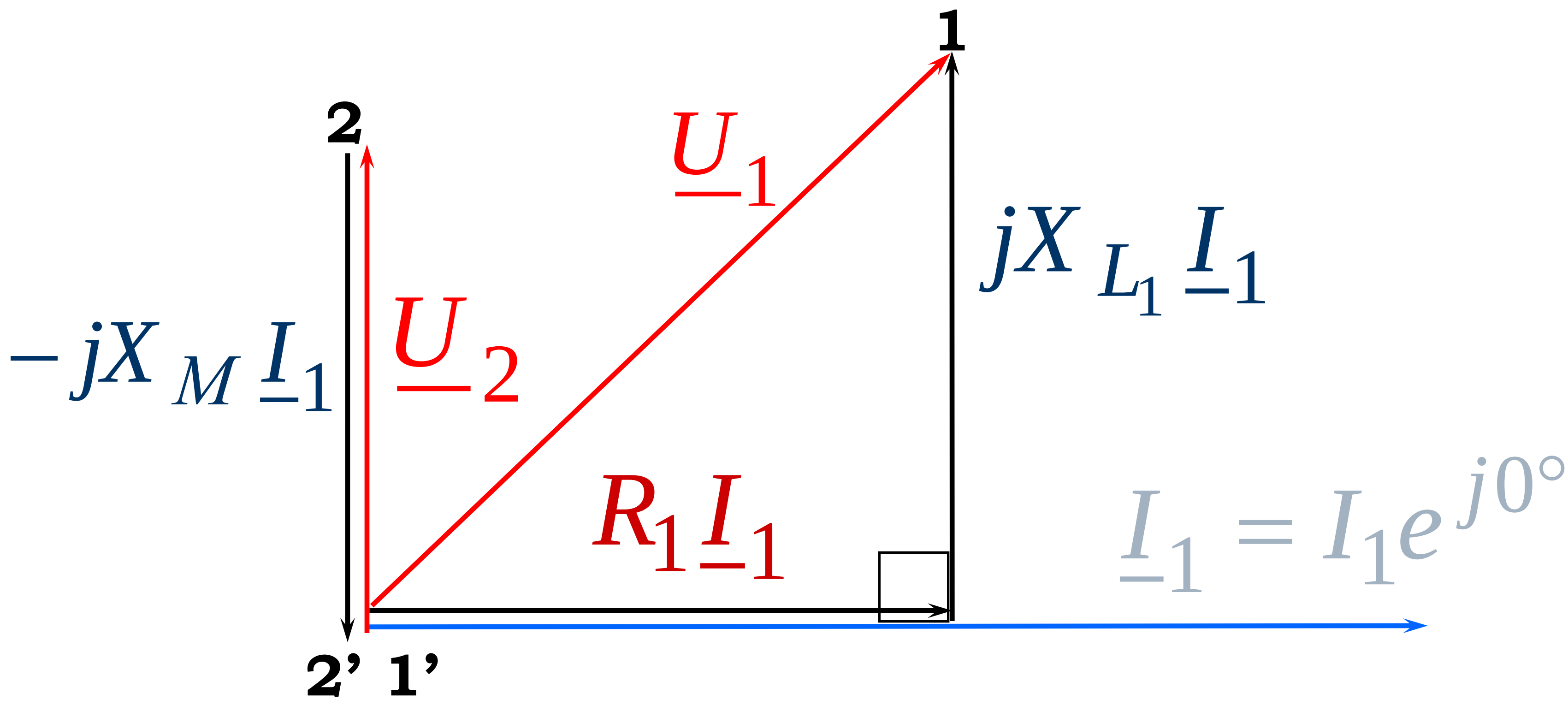
Уравнения по 2 закону Кирхгофа в комплексной форме:

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{Z}_1 \underline{I}_1 - \underline{Z}_M \underline{I}_2 \\ 0 = (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_н)\underline{I}_2 - \underline{Z}_M \underline{I}_1 \end{cases}$$

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

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

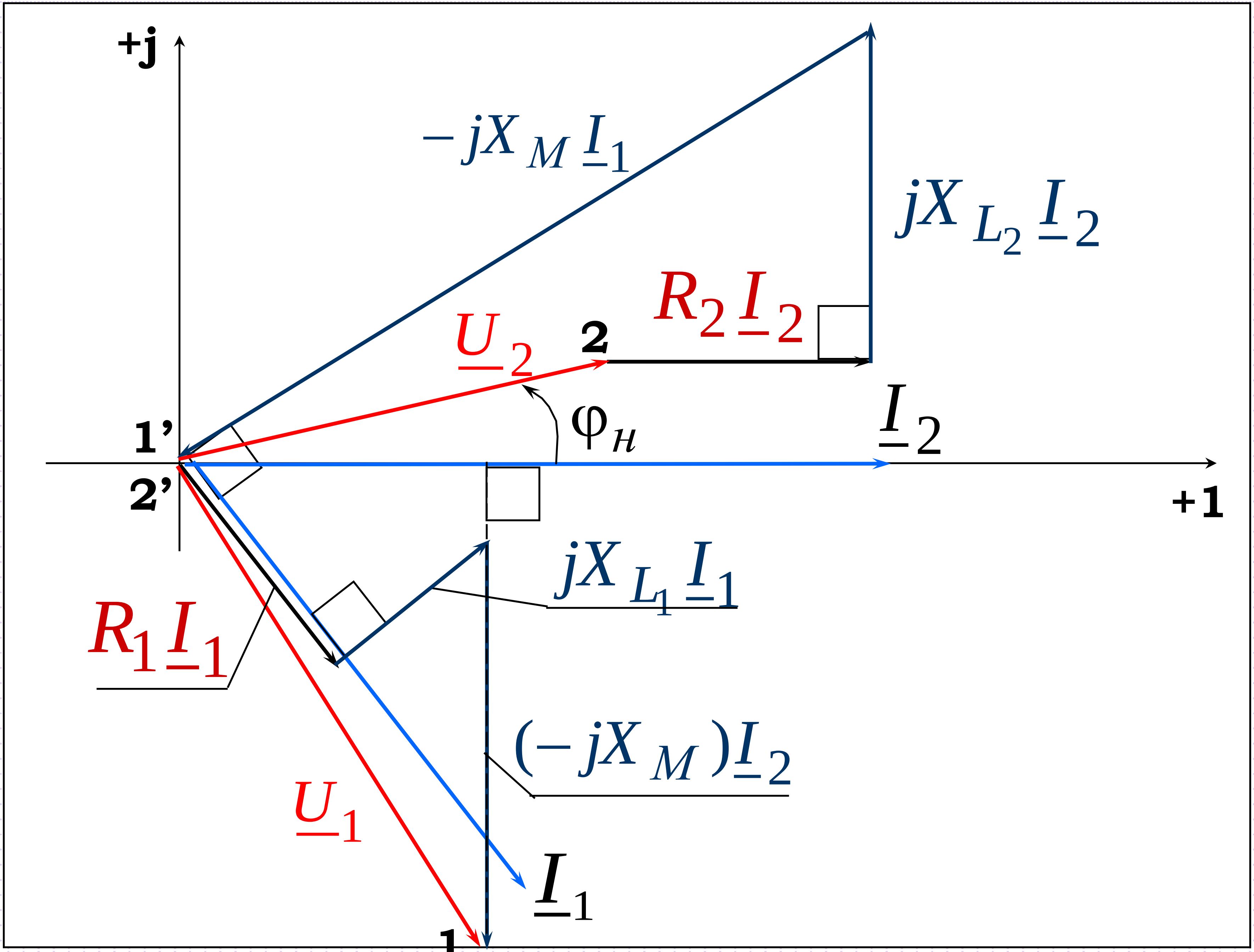
Векторная диаграмма при холостом ходе ($\underline{I}_2$=0):



Векторная диаграмма при сопротивлении нагрузки

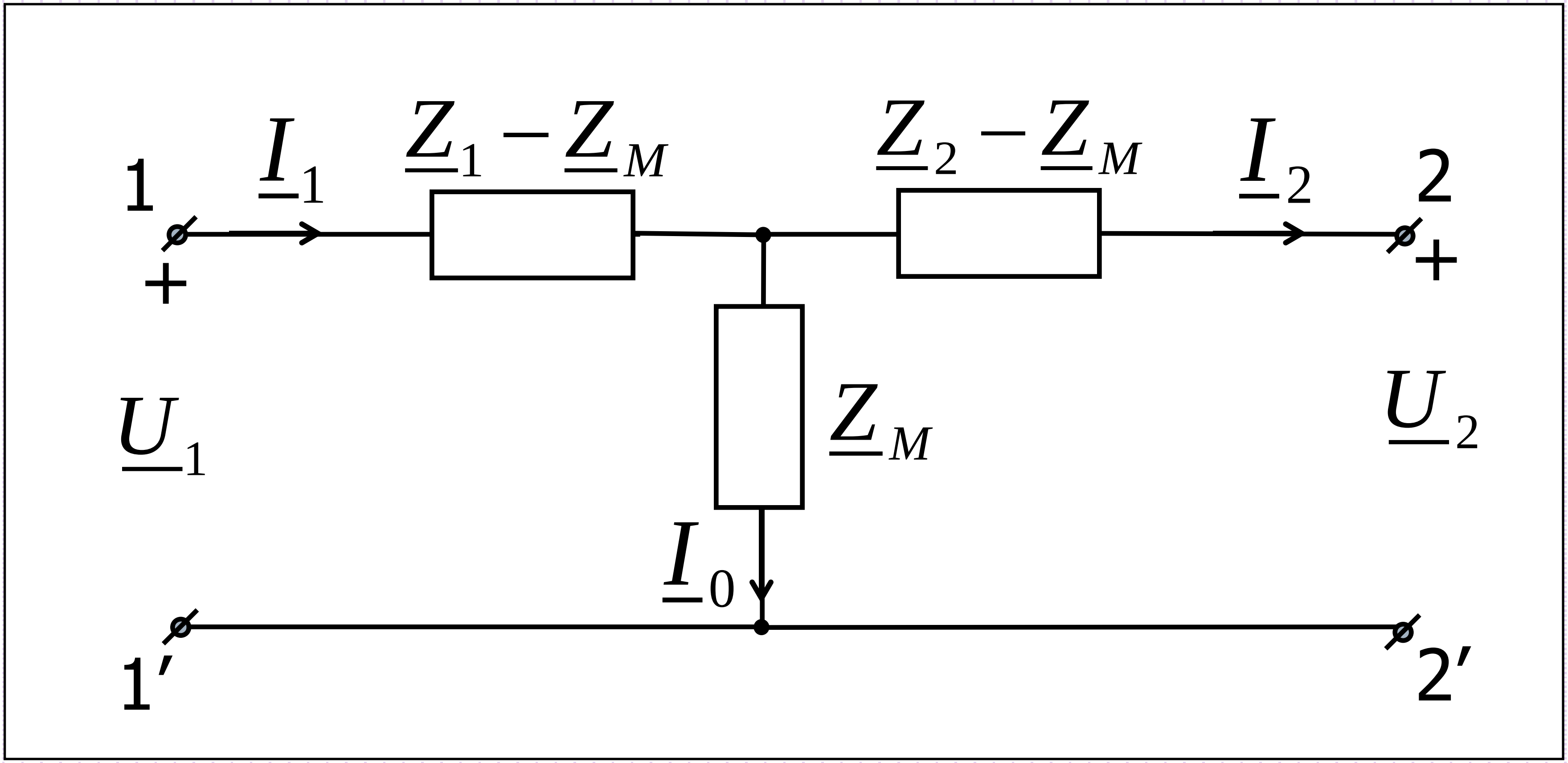
$$\underline{Z}_{H}=Z_{H}e^{j\varphi_{H}}$$

$$\varphi_{H}>0$$



+j
$-jX_M \underline{I}_1$
$jX_{L_2} \underline{I}_2$
$R_2 \underline{I}_2$
$\underline{U}_2$
2
φ_H
$\underline{I}_2$
1'
2'
+1
$jX_{L_1} \underline{I}_1$
$R_1 \underline{I}_1$
$(-jX_M) \underline{I}_2$
$\underline{U}_1$
$\underline{I}_1$
1

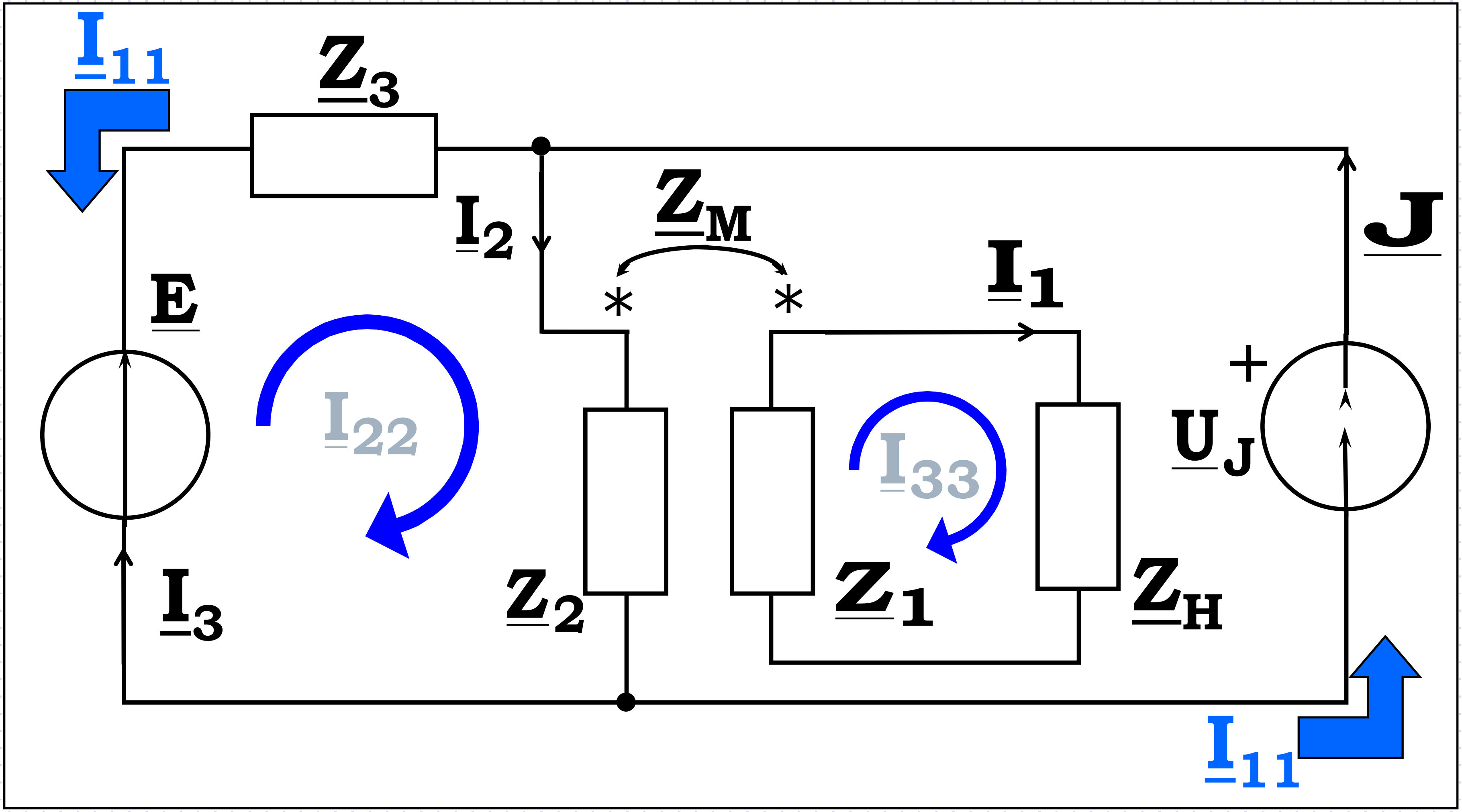
Схема замещения трансформатора без индуктивной связи:



$\underline{\mathbf{I}}_0$ - 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:



$\underline{I}_{11}$
$\underline{Z}_3$
$\underline{I}_2$
$\underline{Z}_M$
*
*
$\underline{J}$
$\underline{I}_1$
$\underline{E}$
+
$\underline{I}_{22}$
$\underline{I}_{33}$
$\underline{U}_J$
$\underline{I}_3$
$\underline{Z}_2$
$\underline{Z}_1$
$\underline{Z}_H$
$\underline{I}_{11}$

Дано:

$\underline{E}$, $\underline{J}$, $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$, $\underline{Z}_н$

Определить:

$\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$, $\underline{I}_3$, $\underline{U}_J$

По методу контурных токов:

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

$$\underline{I}_{22}(\underline{Z}_2+\underline{Z}_3) - \underline{I}_{33}\underline{Z}_{\text{м}} - \underline{I}_{11}\underline{Z}_3 = \underline{E}$$

$$- \underline{I}_{22}\underline{Z}_{\text{м}} + \underline{I}_{33}(\underline{Z}_1+\underline{Z}_{\text{н}}) + \underline{I}_{11}0 = 0$$

Далее находим:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{11} \qquad \underline{I}_2 = \underline{I}_{22} \qquad \underline{I}_3 = \underline{I}_{22} - \underline{I}_{11}$$

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