

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Лектор:

к.ф.-м.н. Алимгазинова Назгуль Шакаримовна

СВЯЗАННЫЕ ЦЕПИ

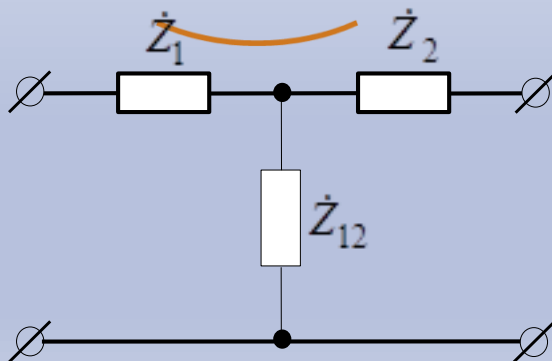
Электрические цепи называют **связанными**, если при изменениях параметров и физических величин в одной цепи возникает изменение физических величин в другой цепи.

$$k = \sqrt{k_1 k_2}$$

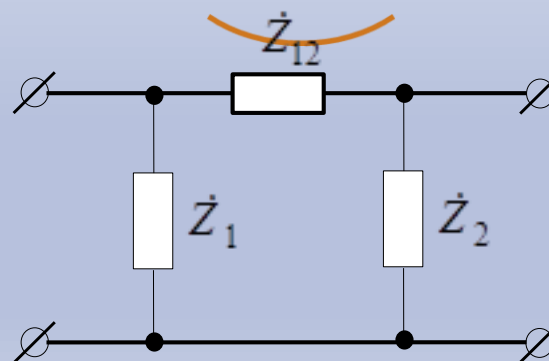
Коэффициент связи

По виду связи

Внутренняя



Внешняя



*По виду
используемого
элемента связи*

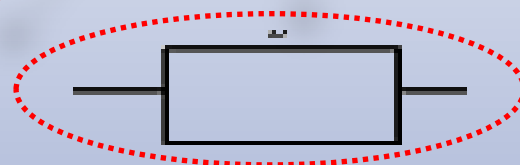
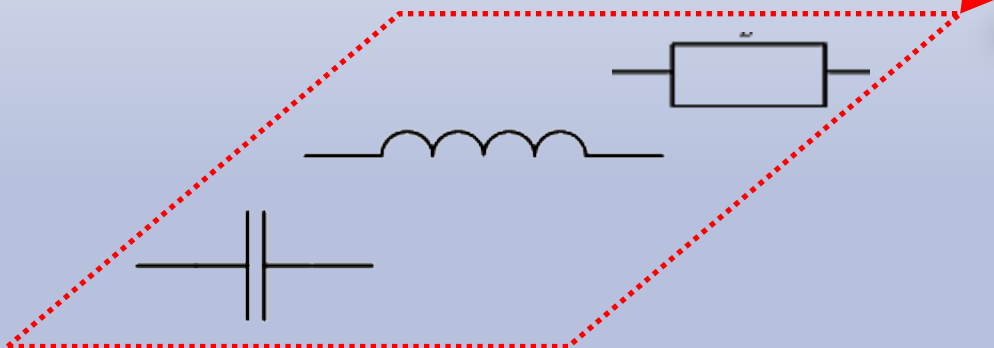
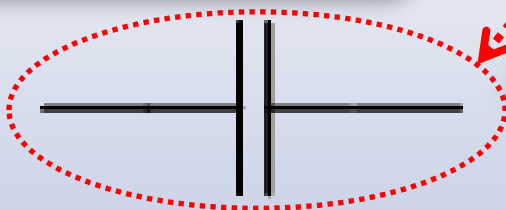
магнитная



электрическая

комбинированная

гальваническая



МАГНИТНАЯ СВЯЗЬ

Две или более индуктивных катушек будут связанными, если изменения тока одной из катушек вызывает появление ЭДС в остальных.

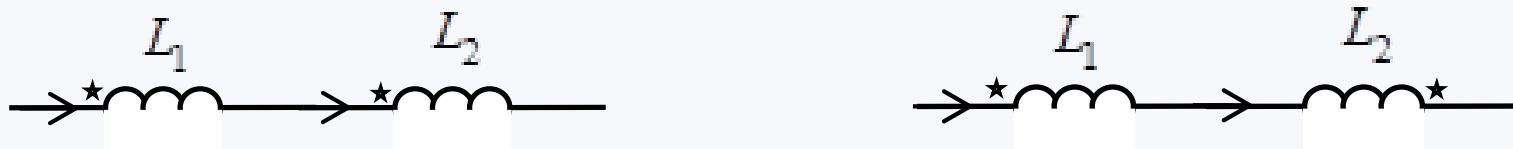
$$u_2 = -e_2 = M \frac{di_1}{dt},$$

где i_1 - ток первой индуктивной катушки, u_2 - наводимое напряжение второй индуктивной катушки, e_2 - наведенная ЭДС второй индуктивной катушки, M - коэффициент пропорциональности.

*Явление наведения ЭДС в какой-либо индуктивной катушке при изменении тока другой индуктивной катушки называется **взаимоиндукцией**, а наведенная ЭДС – ЭДС **взаимоиндукции**. В расчётах чаще используется напряжение, компенсирующее эту ЭДС.*

*Коэффициент пропорциональности между током, протекающим по одной индуктивной катушке и магнитным потоком, сцепленным с витками другой индуктивной катушки называется **взаимной индуктивностью** M . Единица измерения [Гн]. Значение взаимной индуктивности зависит от направления магнитных потоков. Направление магнитного потока в свою очередь зависит от направления намотки катушки, поэтому в схемах следует отмечать разметку начала и концов обмотки (*, Δ, ☆).*

Если токи в обеих обмотках индуктивных катушек (первой и второй) направлены относительно помеченных зажимов одноименно, то такое включение катушек называется согласным, при этом магнитные потоки самоиндукции и взаимной индукции складываются, а $M > 0$



Если токи в обеих обмотках индуктивных катушек (первой и второй) направлены навстречу друг к другу, то такое включение катушек называется встречным, при этом $M < 0$.

$$k_1 = \frac{(U_{L2})_{XX}}{U_{L1}}$$

$$k_2 = \frac{(U_{L1})_{XX}}{U_{L2}}$$

Коэффициент
связи

$$k = \sqrt{k_1 k_2}$$

Поток рассеяния

$$\sigma = 1 - k^2$$

Полная связь

$$k = 1$$

$$\sigma = 0$$

Нет связи

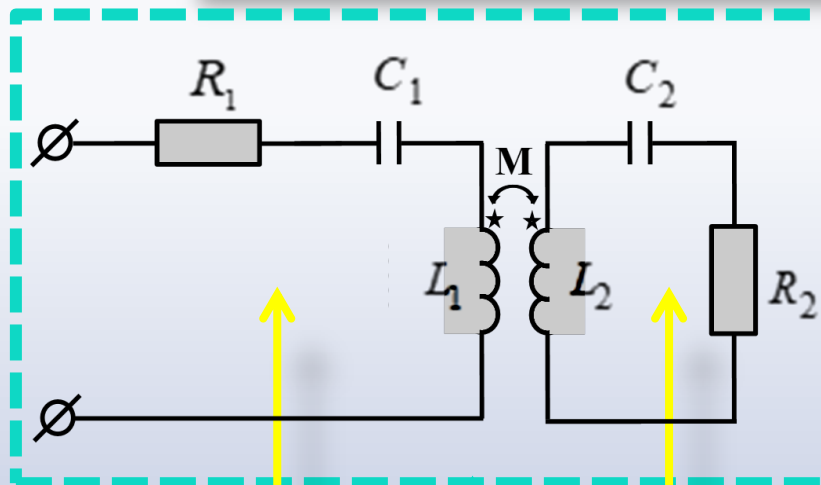
$$k = 0$$

$$\sigma = 1$$

Магнитная связь

*индуктивная
(трансформаторная)*

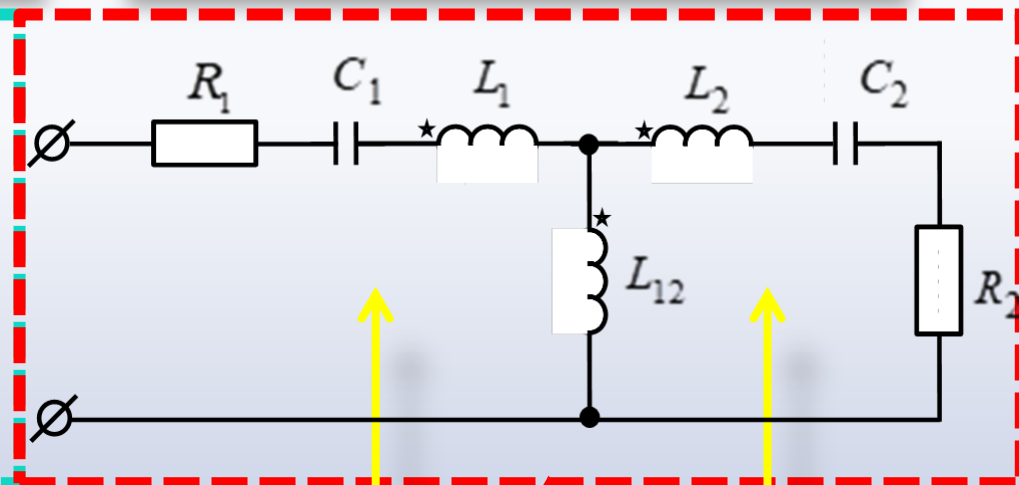
*кондуктивная
(автотрансформаторная)*



$$k_1 = \frac{M}{L_1}$$

$$k_2 = \frac{M}{L_2}$$

$$k = \sqrt{k_1 k_2} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$



$$k_1 = \frac{L_{12}}{L_1 + L_{12}}$$

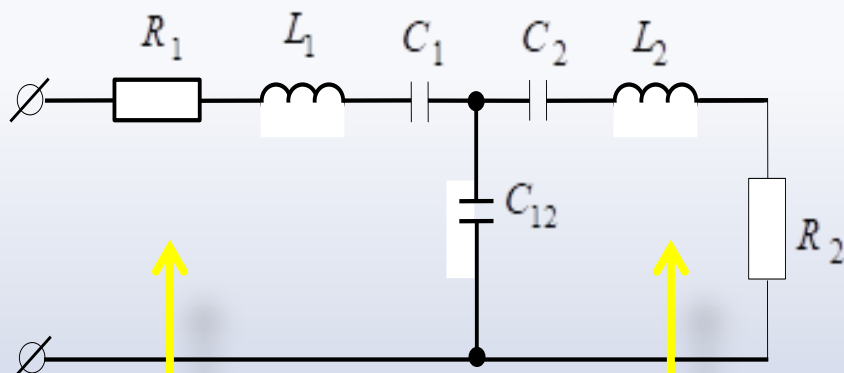
$$k_2 = \frac{L_{12}}{L_2 + L_{12}}$$

$$k = \sqrt{k_1 k_2} = \frac{L_{12}}{\sqrt{(L_1 + L_{12})(L_2 + L_{12})}}.$$

Электрическая связь

Емкостная внутренняя

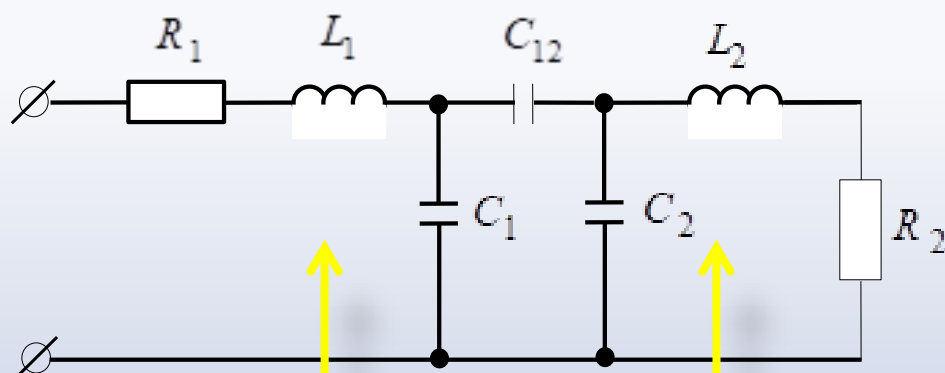
Емкостная внешняя



$$k_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_{12}}$$

$$k_2 = \frac{C_2}{C_2 + C_{12}}$$

$$k = \frac{\sqrt{C_1 C_2}}{\sqrt{(C_1 + C_{12})(C_2 + C_{12})}}$$



$$k_1 = \frac{C_{12}}{C_1 + C_{12}}$$

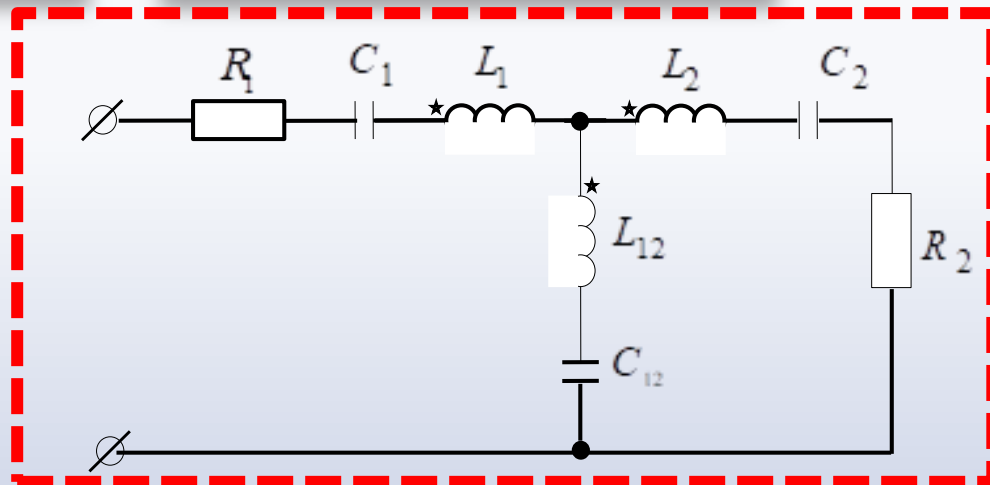
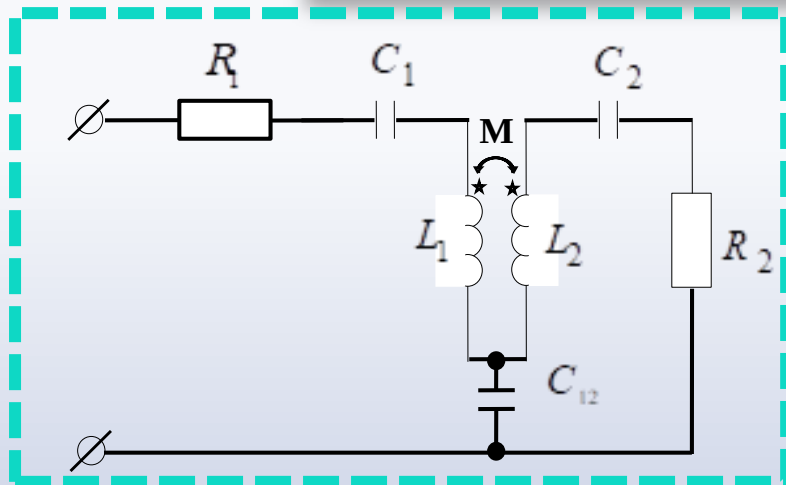
$$k_2 = \frac{C_{12}}{C_2 + C_{12}}$$

$$k = \sqrt{k_1 k_2} = \frac{C_{12}}{\sqrt{(C_1 + C_{12})(C_2 + C_{12})}}$$

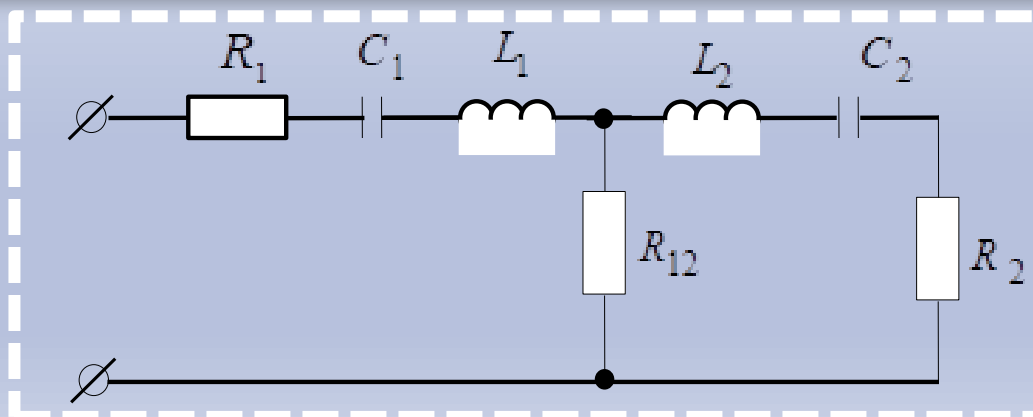
Комбинированная связь

индуктивно-емкостная

кондуктивно-емкостная

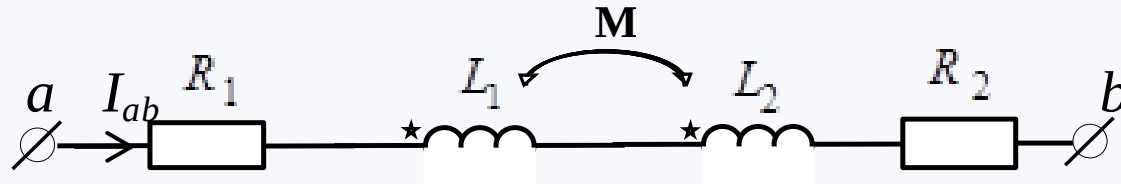


Гальваническая связь



МАГНИТНАЯ СВЯЗЬ.

Последовательное соединение индуктивно-связанных элементов



$$u = u_{R1} + u_{L1} + u_{12} + u_{21} + u_{L2} + u_{R2}$$

$$u_{R1} = iR_1$$

$$u_{L1} = L_1 \frac{di}{dt}$$

$$u_{12} = M_{12} \frac{di}{dt}$$

$$u_{21} = M_{21} \frac{di}{dt}$$

$$u_{L2} = L_2 \frac{di}{dt}$$

$$u_{R2} = iR_2$$

$$M_{12} = M_{21} = M$$

$$u = i(R_1 + R_2) + \frac{di}{dt} (L_1 + L_2 \pm 2M).$$

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2, \quad L_{\text{экв}} = L_1 + L_2 \pm 2M.$$

$$\dot{U} = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{L1} + \dot{U}_{12} + \dot{U}_{21} + \dot{U}_{L2} + \dot{U}_{R2},$$

$$\dot{U}_{R1} = iR_1, \quad \dot{U}_{L1} = \dot{I} \cdot j\omega L_1, \quad \dot{U}_{12} = \dot{I} \cdot j\omega M,$$

$$\dot{U}_{R2} = iR_2, \quad \dot{U}_{L2} = \dot{I} \cdot j\omega L_2, \quad \dot{U}_{21} = \dot{I} \cdot j\omega M,$$

$$\dot{X}_{L1} = j\omega L_1, \quad \dot{X}_{L2} = j\omega L_2 \quad \boxed{\dot{Z}_M = j\omega M.}$$

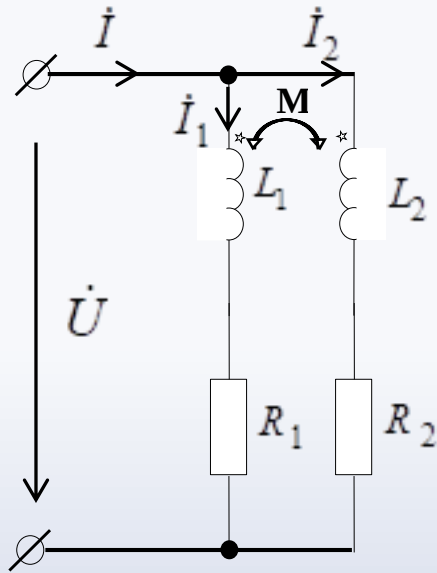
$$\boxed{\dot{U} = \dot{I}[(R_1 + R_2) + j\omega(L_1 + L_2 \pm 2M)]}$$

$$\dot{Z} = (R_1 + R_2) + j\omega(L_1 + L_2 \pm 2M) = R_{\text{экв}} + j\omega L_{\text{экв}} = R_{\text{экв}} + jX_{\text{экв}}.$$

$$L_{\text{согласное}} = L_1 + L_2 + 2M, \quad L_{\text{встречное}} = L_1 + L_2 - 2M$$

$$M = \frac{L_{\text{согласное}} - L_{\text{встречное}}}{4}.$$

Параллельное соединение индуктивно-связанных элементов



$$\begin{cases} \dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2, \\ \dot{U} = \dot{I}_1 \dot{Z}_1 + \dot{I}_2 \dot{Z}_M, \\ \dot{U} = \dot{I}_2 \dot{Z}_2 + \dot{I}_1 \dot{Z}_M. \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 &= R_1 + jX_{L1} = R_1 + j\omega L_1, \\ \dot{Z}_2 &= R_2 + jX_{L2} = R_2 + j\omega L_2, \\ \dot{Z}_M &= j\omega M. \end{aligned}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}(\dot{Z}_2 - \dot{Z}_M)}{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2 - \dot{Z}_M^2}, \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}(\dot{Z}_1 - \dot{Z}_M)}{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2 - \dot{Z}_M^2}$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2 - \dot{Z}_M^2} (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 - 2\dot{Z}_M).$$

$$R_1 = R_2 = 0$$

$$L_{\text{экв}} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \mp 2M}.$$