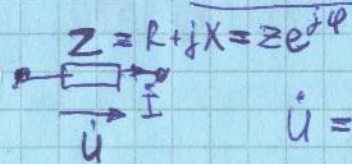


Выражение мощности в

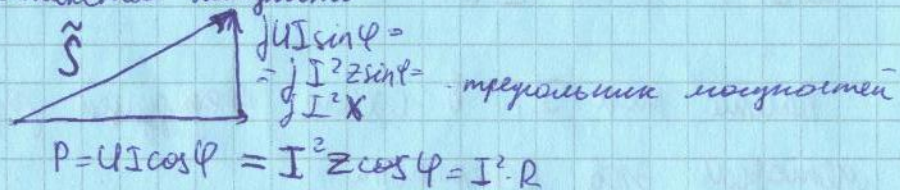
комплексной форме записи



$$\dot{U} = U e^{j\psi_u} \quad \dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{U e^{j\psi_u}}{Z e^{j\varphi}} = \frac{U}{Z} e^{j(\psi_u - \varphi)} = I e^{j\psi_i}$$

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}^* = U e^{j\psi_u} I e^{-j\psi_i} = UI e^{j(\psi_u - \psi_i)} = UI e^{j\varphi} = \underbrace{UI \cos \varphi}_P + j \underbrace{UI \sin \varphi}_Q = P + jQ$$

$\tilde{S}$ - комплексная мощность



Баланс мощностей в

цепях синусоидального тока

Из закона сохранения энергии следует, что

$$\sum P_{\text{ист}} = \sum P_{\text{р}}$$

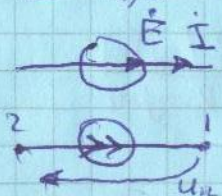
$$P_{\text{р}} = I^2 \cdot R$$

$$\sum Q_{\text{ист}} = \sum Q_{\text{л,с}}$$

$$Q_{\text{л}} = I^2 \cdot X_{\text{л}} = I^2 \omega L$$

$$Q_{\text{с}} = I^2 \cdot X_{\text{с}} = I^2 \frac{1}{\omega C}$$

$$\sum Q_{\text{л,с}} = \sum Q_{\text{л}} - \sum Q_{\text{с}}$$



$$\tilde{S}_{\text{с}} = \dot{E} \dot{I}^* = S e^{j\varphi} = P_{\text{с}} + jQ_{\text{с}}$$

$$\tilde{S}_{\text{л}} = \dot{U}_{\text{л}} \dot{I}^* = S_{\text{л}} e^{j\varphi} = P_{\text{л}} + jQ_{\text{л}}$$

(63)

$$i_1(t) = 27,68 \sqrt{2} \sin(1000t - 56,2^\circ) \text{ A}$$

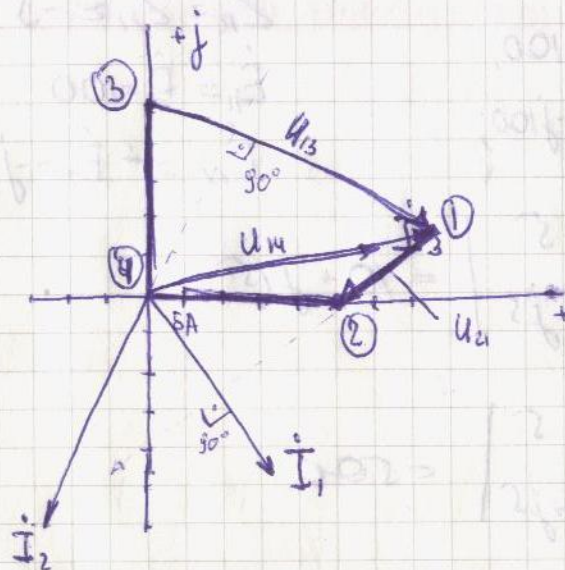
$$i_2(t) = 32,3 \sqrt{2} \sin(1000t - 115,3^\circ) \text{ A}$$

$$i_3(t) = 29,85 \sqrt{2} \sin(1000t + 12^\circ) \text{ A}$$

$$\dot{\psi}_4 = 0, \quad \dot{\psi}_1 = \dot{\psi}_4 + \dot{I}_3 R = (29,2 + j6,2) \cdot 5 = 146 + j31 \text{ В}$$

$$\dot{\psi}_2 = \dot{\psi}_1 + \dot{I}_1 (-j \frac{1}{\omega C}) = \dot{\psi}_4 + \dot{E} = 100$$

$$\dot{\psi}_3 = \dot{\psi}_1 - \dot{I}_2 j \omega L = \dot{\psi}_4 + \dot{E}_2 = j100$$



1 клемма = 5 A

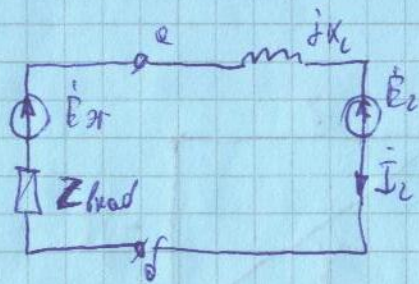
1 клемма = 20 В

Комплексно-сопрет. теорема

2 комплексных числа с одинак. модулями и противополож. по знаку аргументам называются комплексно сопряженными.

$$\dot{I} = I e^{j\psi_i} \quad \dot{I}^* = I e^{-j\psi_i} = I \cos(\psi_i) + jI \sin(-\psi_i) = I' - jI''$$

$$= \frac{5(-j2)}{5-j2} = 0,69 - j1,724$$



$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= \frac{\dot{E}_{2r} - \dot{E}_2}{Z_{load} + jX_L} = \\ &= 32,3 e^{-j115,3^\circ} \end{aligned}$$

Д/ф: решить по ММН

Комплексная проводимость

полюсов и параметров замещения пассивных

функционирования

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + jX = \sqrt{R^2 + X^2} e^{j \arctan \frac{X}{R}} = Z e^{j\varphi} \quad (1)$$

Величина обратная комплексному сопротивлению называется проводимостью $Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{Z e^{j\varphi}} = \frac{1 e^{-j\varphi}}{Z e^{j\varphi}} = \frac{1}{Z} e^{-j\varphi} =$

$$\begin{aligned} &= y e^{-j\varphi} = \frac{1}{R + jX} = \frac{R - jX}{(R + jX)(R - jX)} = \frac{R - jX}{R^2 + X^2} = \\ &= \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2} = g - jb. \quad (2) \end{aligned}$$

Y - комплекс проводимости

g, b - акт и реакт. сост. катт. провод.

(65)

$$\tilde{S}_{E_1} = \dot{E}_1 \dot{I}_1^* = 100 (15,4 + j23) = 1540 + j2300$$

$$\tilde{S}_{E_2} = -\dot{E}_2 \dot{I}_2^* = -j100 \cdot (-13,8 + j29,2) = 2920 + j1380$$

$$\Sigma P_{act} = 1540 + 2920 = 4460 \text{ Вт}$$

$$\Sigma Q_{act} = 2300 + 1380 = 3680 \text{ ВАР}$$

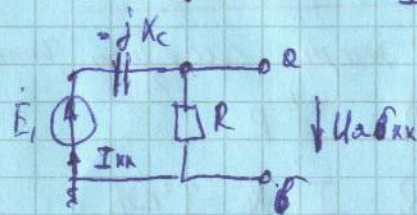
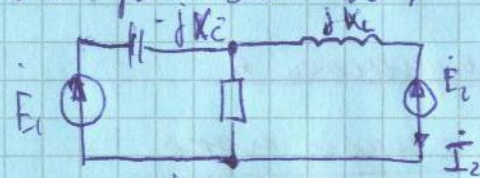
$$P_R = I_2^2 \cdot R = 29,85^2 \cdot 5 = 4455 \text{ Вт}$$

$$Q_L = I_2^2 X_L = 32,3^2 \cdot 5 = 5216 \text{ ВАР}$$

$$Q_C = I_2^2 X_C = 27,68^2 \cdot 2 = 1532 \text{ ВАР}$$

$$\Sigma Q_{L,C} = \Sigma Q_L - \Sigma Q_C = 5216 - 1532 = 3684 \text{ ВАР}$$

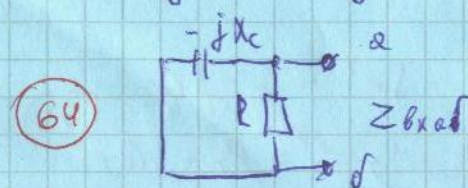
Найти ток I_2 в схеме предпоследней раздачи
методом экв. генератора



$$\dot{I}_{KX} = \frac{\dot{E}_1}{R - jX_C}$$

$$U_{adKX} = \dot{I}_{KX} R =$$

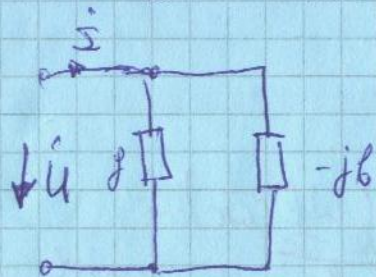
$$= \frac{E_1 R}{R - jX_C} = \frac{100 \cdot 5}{5 - j2} = \frac{500}{5,38 e^{-j21,8}} = 86,2 + j34,5$$



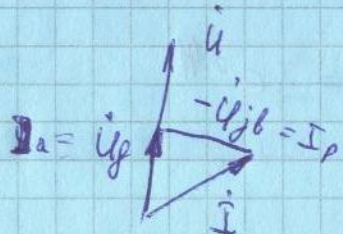
$$Z_{load} = \frac{R(-jX_C)}{R - jX_C} =$$

(64)

состав. схему замещения (параллельную)
пассивного LC-полосника



$$\begin{aligned} \dot{I} &= \frac{\dot{U}}{Z} = \dot{U}Y = \dot{U}(g - jb) = \\ &= \dot{U}g - j\dot{U}b = \dot{I}_a + \dot{I}_p \end{aligned}$$



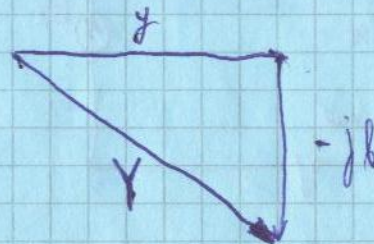
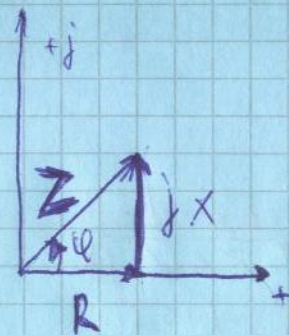
Резонансы в электрических цепях

Явлением резонанса в эл. цепи, содержащей
разнородные накопители энергии называют
такой режим, при кот. напряжения и
ток на входе в цепь совпадают по
фазе.

Резонансы могут возникать в простейших
перехватывающих цепях а в сложных цепях

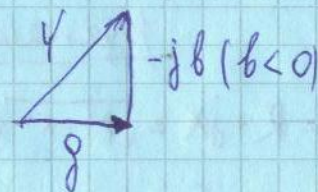
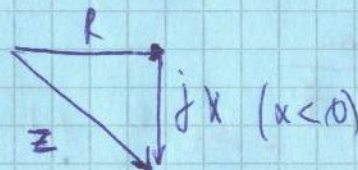
Резонанс послед. RLC цепи
(резонанс напряж.)

(67)

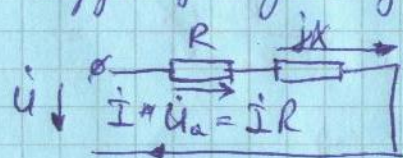


$$X = X_L - X_C \quad X_L > X_C ; X > 0$$

$$x < 0$$



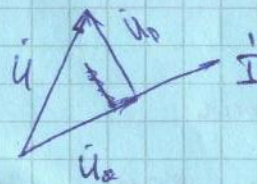
Можно считать, что формуле 1 состав.
следующее замещение пассивного звена.



$$\dot{U}_p = \dot{I}jX$$

$\dot{U}_a$ - активная составляющая
напряжения

$\dot{U}_p$ - реактивная составляющая
напряжения



(66) Формуле 2 можно подставить в

$$U_{Co} = I_o \omega_o L, \quad U_{Co} = I_o \frac{1}{\omega_o C} \quad \frac{U_{Co}}{U} = \frac{I_o \omega_o L}{I_o R} =$$

$$\frac{\omega_o L}{R} \quad \omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} = \rho - \text{характер. сопротивление контура.}$$

$$\frac{U_{Co}}{U} = \frac{I_o \frac{1}{\omega_o C}}{I_o L} = \frac{1}{\omega_o C R} = \frac{\rho}{R} = Q - \text{коэффициент}$$

Q - посыл. в идеальном рез. контуре. во
индуктивности емкостях при резонансе
добыче ω_o

$$U_{Co} = \frac{I_o \omega_o L}{I_o L} = \frac{\omega_o L}{R} = \frac{\rho}{R} = Q \quad \rho = \omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} \quad (4)$$

Зависимости I ; U_R ; U_L ; U_C - от частоты резон.
контура.

$$U_R = I R = \frac{U R}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (5)$$

$$U_L = I \omega L = \frac{U \omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (6)$$

$$U_C = I \frac{1}{\omega C} = \frac{U}{\omega C \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (7)$$

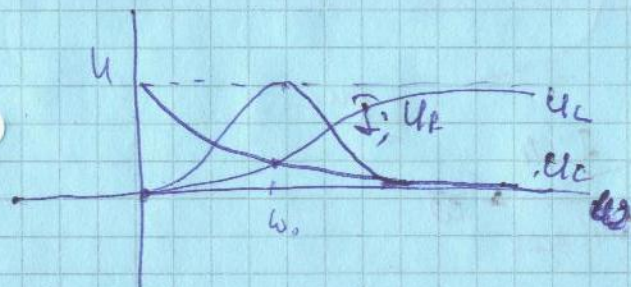
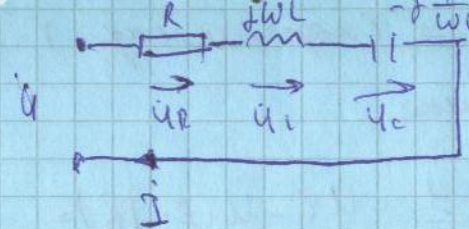


рис 1

(69)



$$Z = R + j \omega L - j \frac{1}{\omega C} = R + j (\omega L - \frac{1}{\omega C}) =$$

$$= \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} e^{j \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}} = Z e^{j \varphi}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U e^{j \varphi_1}}{Z e^{j \varphi}} = \frac{U}{Z} e^{j (\varphi_1 - \varphi)} = I e^{j \varphi}$$

$$\varphi_1 \rightarrow \varphi_1 = \varphi \Rightarrow \varphi = 0$$

$$Z_o = Z = R$$

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (1) - \text{условие резонанса}$$

Резонанс может быть достигнут изменением частоты или комбинацией этих элементов.

Если менять частоту ω , то резонанс возникает при резон. частоте $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

При резонансе сопротивление Z принимает минимальное значение

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (3) \Rightarrow I - \text{макс.}$$

из всех возможных

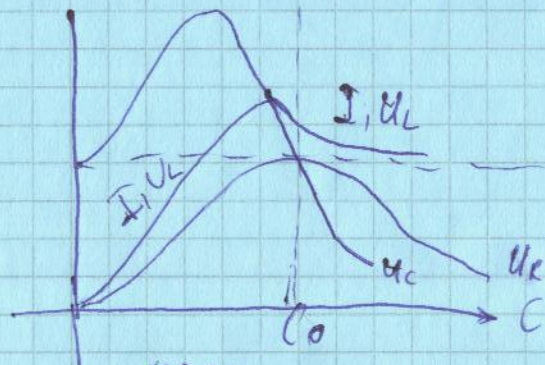
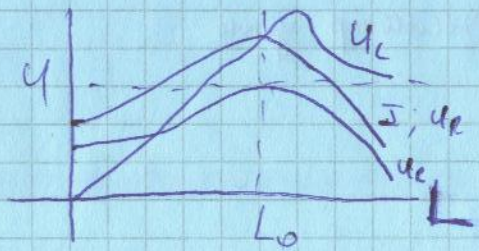
U_{Ro} - напряжение на R в резонансе.

$$U_{Ro} = I_o R = \frac{U}{R} R = U$$

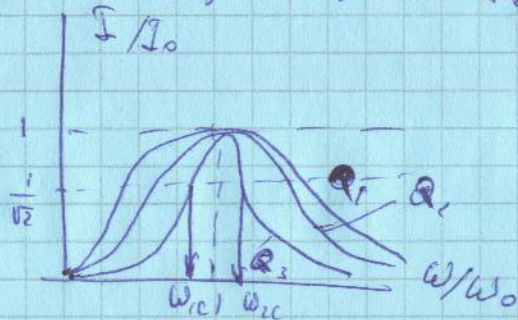
(68)

рисунк 1 и 3 схем резонансных характеристик

Если в схеме менять не катушку, а конденсатор C , то зависимости 3, 6, 7, 8 примет вид:



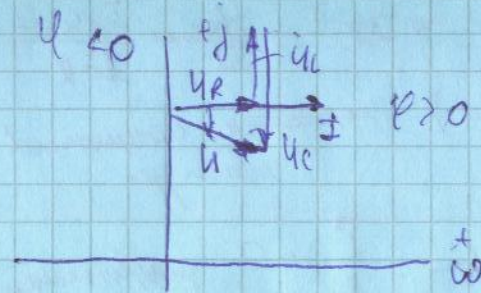
Для контуров с одной добротностью Q равен, для всех: $\frac{I}{I_0} = f(\frac{\omega}{\omega_0}) = f(\eta)$



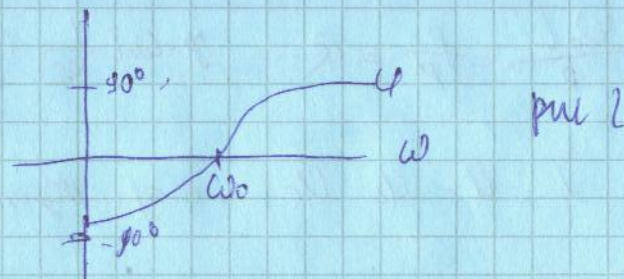
$$Q_3 > Q_2 > Q_1$$

можно показать, что резонанс самая острая

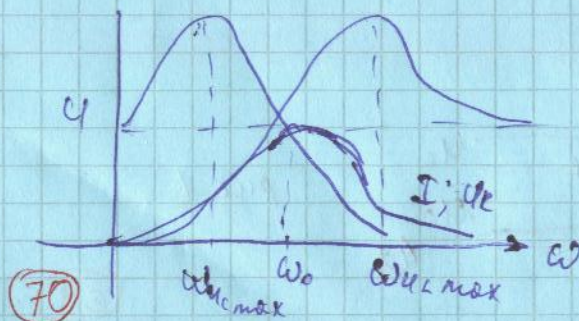
(71)



$$U_R = UI$$



Убедившись тем методом можно показать, что зависимость $Q < \frac{1}{\sqrt{2}}$; если $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$ резонанс

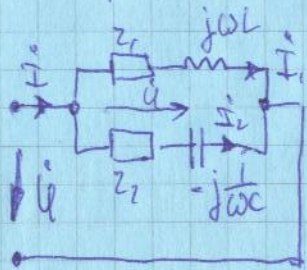


(70)

рис 3

Резонанс токов

Явление резонанса в схеме, образующие параллельные ветви с резистор. реакт. сопротив.



$$I_1 = \dot{U} Y_1 = \dot{U} (g_1 - j b_1)$$

$$I_2 = \dot{U} Y_2 = \dot{U} (g_2 - j b_2)$$

$$\underline{\underline{I = I_1 + I_2 = \underline{\underline{U}} (g_1 + g_2) - j \dot{U} (b_1 + b_2)}}$$

$$b_1 + b_2 = 0$$

генерация резонанса

$$b_1 = \frac{\omega L}{Z_1^2 + \omega^2 L^2}$$

$$b_2 = \frac{-\frac{1}{\omega C}}{Z_2^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

$$\boxed{\frac{\omega L}{Z_1^2 + \omega^2 L^2} = \frac{1}{\omega C} \frac{1}{Z_2^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

(1)

Из (1) показ, что рез. в схеме может быть достигнут изменением ω, C, L, Z_1 , или Z_2 или каких-то из величин в комбинации

Две примера проанализ. возмоз. колеб. резонанса при изменении ω , для этого

(1) решаем относительно ω .

Здесь выберем св-воим по отношению к токам резонанс частот. Эти из св-ва

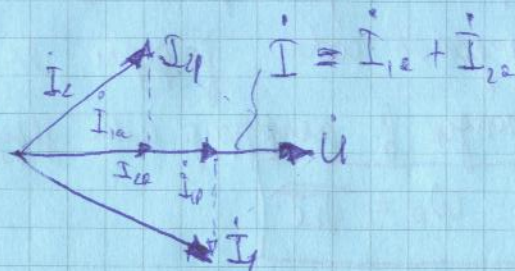
ω_{1c} и ω_{2c} - частоты среза

$\omega_{1c} \div \omega_{2c}$ - полоса пропускания

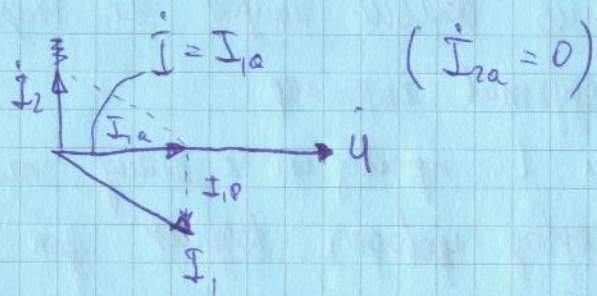
$d = \frac{1}{Q}$ - затухание резонанс. цепи

в рассматр. схеме возм. на мод. резонансе

PROFF



Рассмотрим частоту угла $\varphi_{22} = 0$
 $\Rightarrow \varphi(2) \quad \omega_{PT} = \omega_0 \sqrt{\frac{p^2 - z_1^2}{p^2}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{p^2 - z_1^2}{p^2}} = \frac{1}{L} \sqrt{p^2 - z_1^2}$



2) $z_2 = 0$ и $z_1 \approx 0$ ($z_1 \ll \omega L$)

$$\omega_{PT} = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Z_1 = j\omega_0 L = j \sqrt{\frac{L}{C}} = j \cdot p$$

$$Z_2 = -j \frac{1}{\omega_0 C} = -j \frac{1}{\sqrt{LC} C} = -j \frac{1}{pC}$$

$$= -j p \quad ; \quad \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{Z_1} = \frac{\dot{U}}{j p} = -j \frac{\dot{U}}{p}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{Z_2} = \frac{\dot{U}}{-j p} = j \frac{\dot{U}}{p}$$

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0$$

В последней схеме в резонансе рез.

$$\frac{1}{\frac{1}{\omega C} + \frac{1}{\frac{1}{\omega L} + j}} = \frac{\omega C}{1 + z_1^2 \cdot \omega^2 \cdot C^2}$$

$$\frac{\omega L}{z_1^2 + \omega^2 L^2} = \frac{\omega C}{1 + z_1^2 \omega^2 C^2}$$

$$L + z_1^2 \omega^2 C L = z_1^2 C + \omega^2 L^2 C$$

$$\omega^2 (z_1^2 C L - L^2 C) = z_1^2 C - L$$

$$\omega = \sqrt{\frac{z_1^2 C - L}{z_1^2 C L - L^2 C}} = \sqrt{\frac{z_1^2 C - L}{LC(z_1^2 C - L)}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{z_1 - \frac{L}{C}}{z_1^2 - \frac{L}{C}}} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \quad \Leftrightarrow \omega_0 \sqrt{\frac{p^2 - z_1^2}{p^2}} \quad (2)$$

$$p = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{1}{\sqrt{LC}} L = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Итак, получив 2 уравнения к фазе, что возможно 4 случая 1) $p > z_1$; $p > z_2$

2) $p < z_1$; $p < z_2$

3) $\frac{1}{z_1} = z_2 \neq p \quad \omega_{PT} = \omega_0$

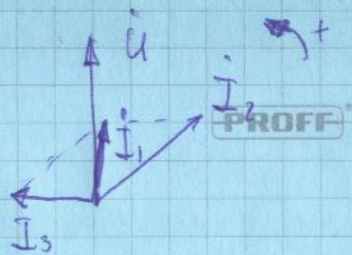
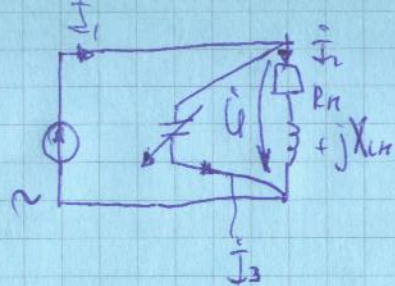
4) $\frac{1}{z_1} = z_2 = p \quad \frac{\omega}{\omega_0} = ?$

74

Частота нагретая велика неопред.

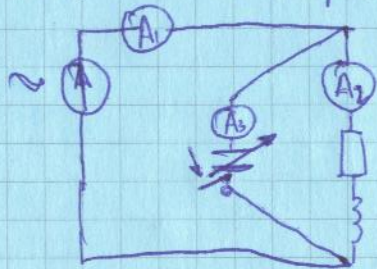
Далее, это означает, что рез. может

содержит
рез. элемент
резон. конт.



Обычно угол между I_1 и U равен до такой величины, чтобы $\cos \varphi \approx 0,95 \div 0,98$

Компенсация сдвига фаз особ. важна для энергетик. потреб. (заводы, заводы, предприятия)



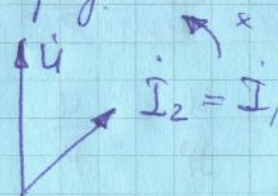
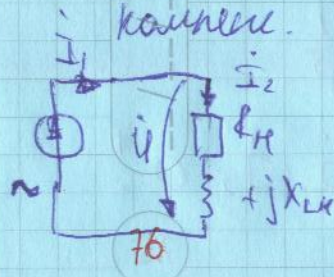
мохов, в вера и муча. Семьи пролет. моги I_1 и I_2 , а суммарный $I = 0$, указ. устройство предметов собой задерж. эл. фильтр (не пропускает в нагрузку или задерж. сигнал) частота

$$\omega_{PT} = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Коэффициент угла сдвига

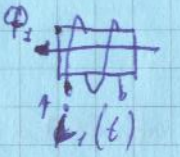
РФ
Возможное сопротивление больше, чем энерг. имеет актив - индуктив характер.

Качество нагрузки L приводит к тому, что в чертах и поворот проводов возник. дон. потери энерг. Для уменьш. потерь, параллельно приёмнику энерг. помех. Сами же компенси. Уменьш. угол сдвига фаз между напряж. на приём. и ток, поступающ. от генератора, пог. компенси. сдвига фаз.



Цепи синусоидального тока, содержащие магнитно-связ (индукт-связ. Эле-менты)

1. Самоиндукция (повторение):

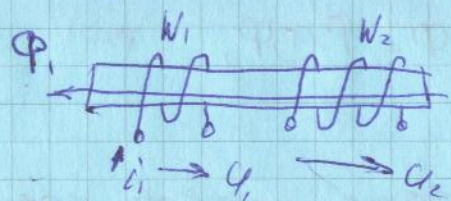


$i_1 \rightarrow \Phi_1 \rightarrow \Psi_{11} = \Phi_1 \cdot W_1 \rightarrow e_L = - \frac{d\Psi_{11}}{dt}$
 (здесь самоиндукция)
 (магн. в 1-й обмотке)
 $U = -e$
 $L_1 = \frac{\Psi_{11}}{i_1} \quad (1)$
 $U = L_1 \frac{di_1}{dt} \leftarrow (U = \frac{d\Psi_{11}}{dt})$

Магнитный поток Φ_1 , пронизывающий обмотку W_1 , являющееся для нее поток самоиндукции (т.к. физический ток, протекающий в сам. обмотке).

Этот поток наводит e_L (ЭДС, с. самоинд.), что возр. в явлении U_1 на зажимах этой обмотки.

2. Взамоиндукция



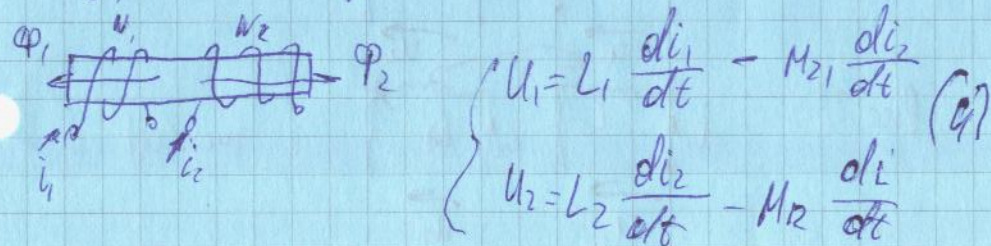
Случай а) $i_2 = 0$

PROFF

выз. или ЭДС само и взаим инд. и
 при расчётах U_1 и U_2 исл. формулы

$$\begin{cases} U_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{12} \frac{di_2}{dt} \\ U_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M_{12} \frac{di_1}{dt} \end{cases} \quad (3)$$

$L_2; M_{12}$ — опред аналог L_1 и M_{12}

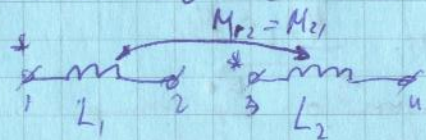


Изучая 1 состав состав. взаим. индукции,
 рис 2. — взаим. индукция

(Φ_1 и Φ_2 — взаимно, ЭДС взаим) при
 расчёте исл. форму (4)

Одноименные катушки.

Для упрощения магнит. схем. введём понятие одноим.
 катушек и исл. след. упрощ. упрощ.



$$\rightarrow u_1 = \frac{d\Phi_{11}}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

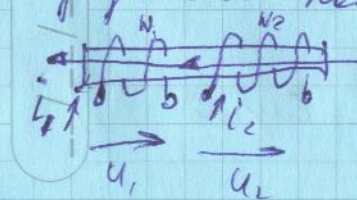
$$\text{PROFF } u_2 = \frac{d\Phi_{12}}{dt} = M_{12} \frac{di_1}{dt}$$

$$M_{12} = \frac{\Phi_{12}}{i_1} \quad (2) \quad \text{— поворотем флеме}$$

Магн. поток Φ_1 , вызв. током i_1 является для
 катушки W_2 поток взаим индукт, ок поворит в
 этой катушке e_2 (ЭДС взаим индукт),

Сигнал e_2 $i_2 \neq 0$

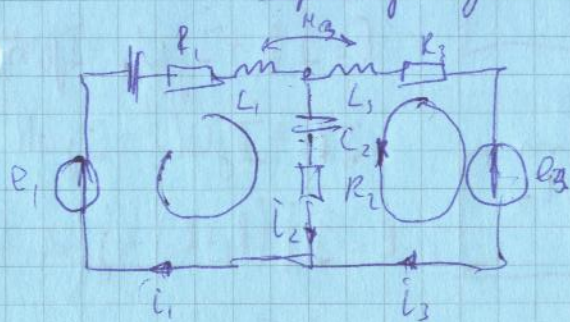
Если и во втор катушке протек ток, необход
 уметь согласен или встречн. напр. потока
 само и взаим индукт, как следств. сумм
 или вычит в катр из осн. ЭДС, само
 и взаим индукт и выров. напрет.
 Для этого надо знать напр. катуш.
 и заданные напр. напрет. тока в них.



$$\Phi = \Phi_1 \oplus \Phi_2 \quad \text{рис 1}$$

80 При заданных напр. токов потоки
 само и взаим индукт. склад, склад

Составление уравнений по законам Кирхгофа для цепи с взаимной индукцией



$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$E_1 = \frac{1}{C_2} \int I_2 dt + R_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} + M_{13} \frac{dI_3}{dt} + \frac{1}{C_2} \int I_2 dt + R_2 I_2$$

$$-E_3 = -I_3 R_3 - L_3 \frac{dI_3}{dt} - M_{13} \frac{dI_1}{dt} + \frac{1}{C_2} \int I_2 dt + R_2 I_2$$

Или, инв. метод можно использовать для цепи I_1, I_2, I_3 , в соответствии с законами Кирхгофа (с учетом взаимной индукции). В этом случае составление уравнений будет:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ E_1 = I_1(-jX_{C2}) + I_1 R_1 + I_1 jX_{L1} + I_3 jX_{M13} + I_2(-jX_{C2}) + I_2 R_2 \\ E_3 = -I_3 R_3 - I_3 jX_{L3} - I_1 jX_{M13} + I_2(-jX_{C2}) + I_2 R_2 \end{cases}$$

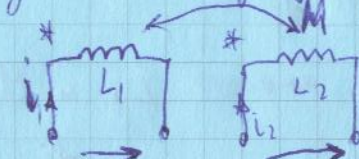
($X_{L1} = \omega L_1$) $X_{M13} = \omega M_{13}$

Пример. составление уравнений по законам Кирхгофа

83

Замкнем 1 и 3 нпж. относительно друг друга. Если при этом возникнет ток, то он будет равен нулю, так как ток не может возникнуть в замкнутом контуре. Это означает, что ток равен нулю.

Рис 1'



уравн. (2), (3)

Рис 2'

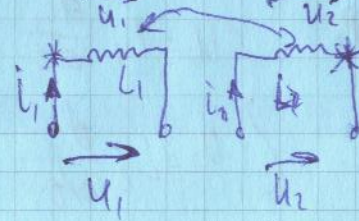
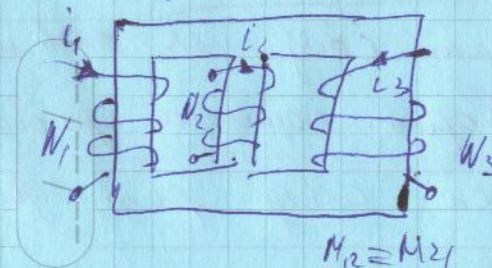


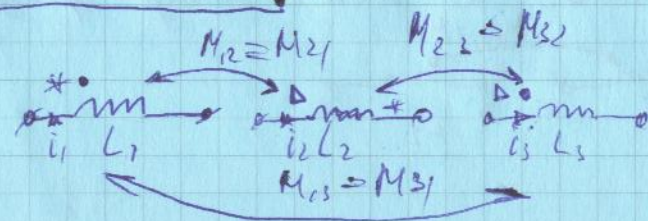
рис (4)

Применение $M_{12} = M_{21} \Rightarrow K = \frac{M_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{M_{21}}{\sqrt{L_1 L_2}}$

Если имеется несколько пар индуктивно связанных ветвей, то вводятся все пары взаимной индукции, которые учтены в уравнениях цепи.



82



$$Z_{\text{всп}} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2} - 2X_M)^2} e^{j \arctg \frac{X_{L1} + X_{L2} - 2X_M}{R_1 + R_2}} \quad (6)$$

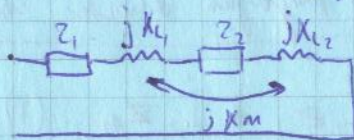


Записка ономии равний

$Z_{\text{всп}} < Z_{\text{кор}}$ при подкюзе 2-х мотк
черз катушки по послед схеме ~~то~~
ономии и тому же напря ток

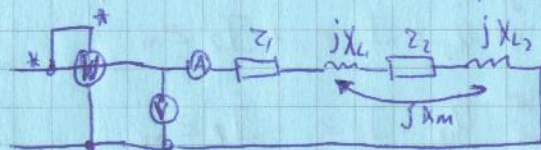
Определ. бранны. индукт. ономии

пример



$$Z_{\text{кор}} = \sqrt{(Z_1 + Z_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2} + 2X_M)^2}$$

$$Z_{\text{всп}} = \sqrt{(Z_1 + Z_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2} - 2X_M)^2}$$



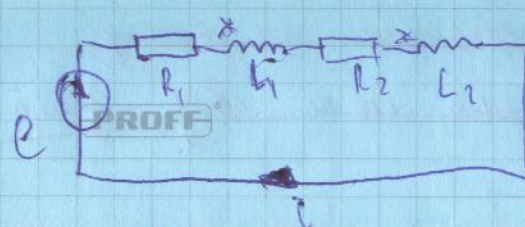
$$P = I^2(Z_1 + Z_2) \rightarrow (Z_1 + Z_2) \text{ мотк}$$

$$Z_{\text{кор}} = \frac{U}{I} \rightarrow X_{\text{кор}} = (X_{L1} + X_{L2} + 2X_M) = \sqrt{Z_{\text{кор}}^2 - (Z_1 + Z_2)^2}$$

$$X_{\text{кор}} - X_{\text{всп}} = 4X_M = 4\omega M$$

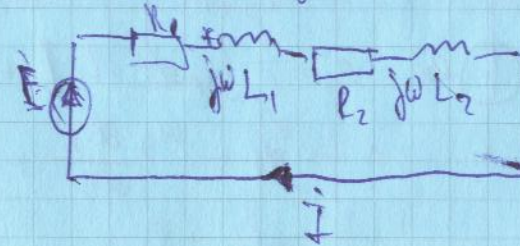
$$Z_{\text{всп}} = \frac{U}{I} \rightarrow X_{\text{всп}} = (X_{L1} + X_{L2} - 2X_M) =$$

85



пр 3

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \dot{I}R_1 + \dot{I}j\omega L_1 + \dot{I}j\omega M_{12} + \\ &+ \dot{I}R_2 + \dot{I}j\omega L_2 + \dot{I}j\omega M \end{aligned}$$

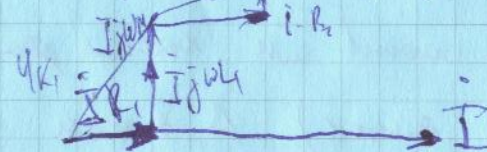


$$\dot{E} = \dot{I}[(R_1 + R_2) + j(\omega L_1 + \omega L_2 +$$

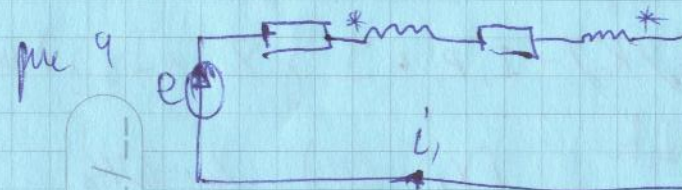
$$+ 2\omega M)] =$$

$$= \dot{I}[(R_1 + R_2) + jX] = \dot{I}Z_{\text{кор}}$$

$$Z_{\text{кор}} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2} + 2X_M)^2} e^{j \arctg \frac{X_{L1} + X_{L2} + 2X_M}{R_1 + R_2}} \quad (5)$$



Вспомогат. построение



пр 4

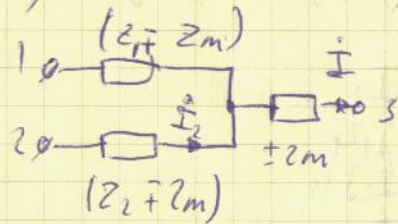
$$\begin{aligned} \dot{E} &= \dot{I}R_1 + \dot{I}j\omega L_1 - \dot{I}j\omega M_{12} + \dot{I}R_2 + \dot{I}j\omega L_2 - \\ &- \dot{I}j\omega M \end{aligned}$$

84

$$\dot{E} = \dot{I}[(R_1 + R_2) + j(X_{L1} + X_{L2} - 2X_M)] = \dot{I}Z_{\text{всп}}$$

$$(1) = \dot{I}_1 z_1 + (\dot{I} - \dot{I}_1) z_m = \dot{I}_1 (z_1 + z_m) + \dot{I} z_m$$

$$(2) = \dot{I}_2 z_2 + (\dot{I} - \dot{I}_2) z_m = \dot{I}_2 (z_2 + z_m) + \dot{I} z_m$$



Трансформатор

Истощающее (не созд. потерь в нем) устройство, суть для: 1) преобраз. переменных напр. ток по величине; 2) преобразование по 3) для эквив. разл. эл. цепей.

Наиболее распростран. разновидность трансф. одноконт. к кот. подклюз нагрузка - вторич. обмотка, подклю к питанию - первич. Число витков трансф. работает по ψ зак. кривой намагн.

След. справедливо для возм. трансформатора

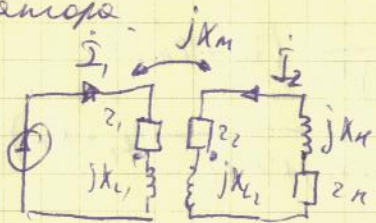
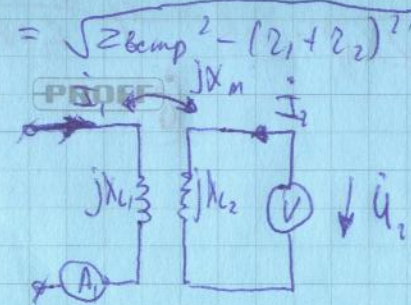


Рис 1



$$M = \frac{X_{\text{соед}} - X_{\text{контр}}}{4\omega}$$

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

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 jX_{L2} + \dot{I}_1 jX_m$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_1 jX_m \rightarrow \dot{U}_2 = \dot{I}_1 X_m =$$

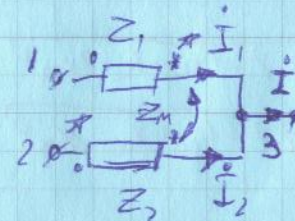
$$= \dot{I}_1 \omega M ; \quad M = \frac{U_2}{\dot{I}_1 \omega}$$

Замена участка цепи, содержит.

мощ. без эл-тов.

элв. участком, не созд. мощ.

связей (разброс мощ. без?)



$$\dot{U}_{13} = \dot{I}_1 z_1 + \dot{I}_2 z_m \quad (1)$$

$$\dot{U}_{13} = \dot{I}_1 z_1 + \dot{I}_2 z_m$$

$$\dot{U}_{13} = \dot{I}_1 z_1 - \dot{I}_2 z_m$$

$$\dot{U}_{13} = \dot{I}_2 z_2 + \dot{I}_1 z_m \quad (2)$$

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I} - \dot{I}_2$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I} - \dot{I}_1$$

Формула (2) (Вопрос схема замещения трансформатора)
используем.

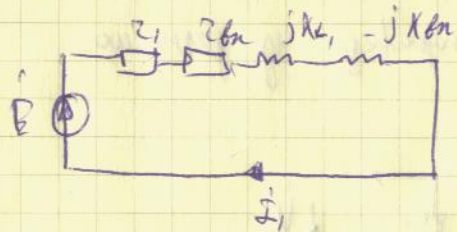


Рис 2.

Учитывая при расчете трансформатора, еще одну (Т-образную) схему замещения трансформатора, где сопротивление идеального трансформатора, для этого идеального трансформатора.

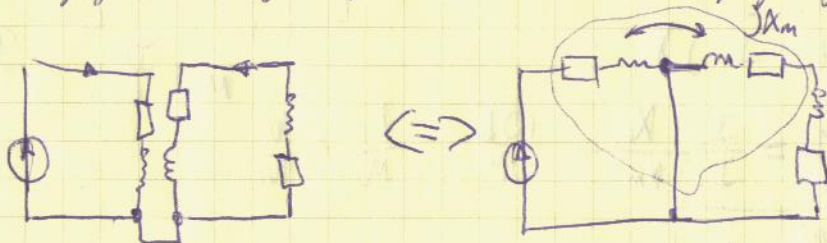
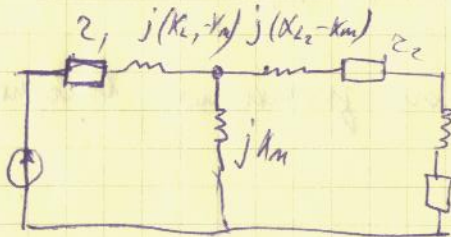


Рис 3.

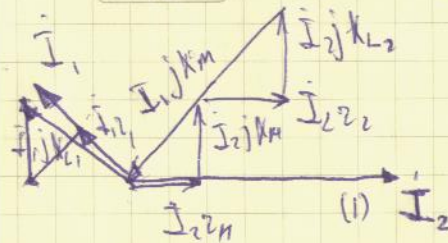


Идеальный трансформатор

Трансформатор идеального без потерь энергии, если: 1) активное сопротивление обмоток и поток рассеяния пренебрежимо мал.

2) сердечник выполнен из высоко

$$(3) \begin{cases} \dot{I}_1 z_1 + \dot{I}_1 j X_{k1} + \dot{I}_2 j X_m = \dot{E} \\ \dot{I}_2 z_2 + \dot{I}_2 j X_{k2} + \dot{I}_2 j X_m = 0 \end{cases}$$



$\dot{I}_2$
 $\dot{I}_1 z_1$
 $\dot{I}_2 j X_{k1}$
 $\dot{I}_2 z_2$
 $\dot{I}_2 j X_{k2}$
 $\dot{I}_1 j X_m$
 $\dot{I}_1$
 $\dot{I}_1 z_1$
 $\dot{I}_1 j X_{k1}$

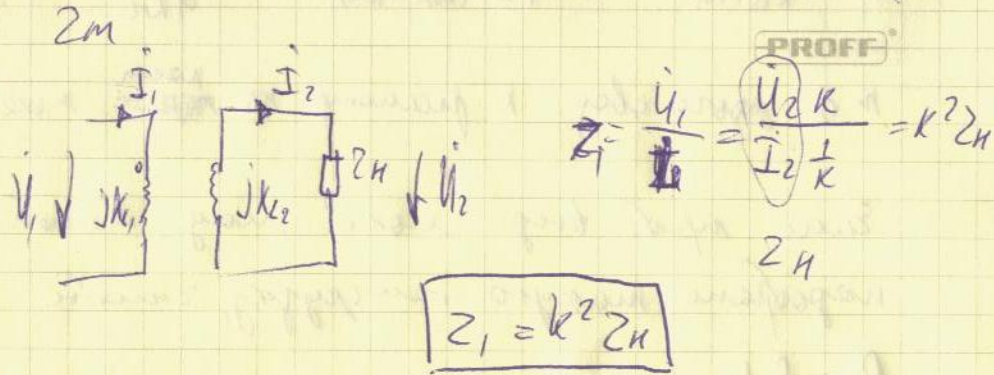
Взяв сумму (1) отнесем $\dot{I}_1$ можно получить
 $\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{z_1 + z_2 + j(X_{L1} - X_{k1})}$ (2), где z_{bn} и X_{bn} -

входное сопротивление, которое необходимо ввести в первичную цепь, чтобы

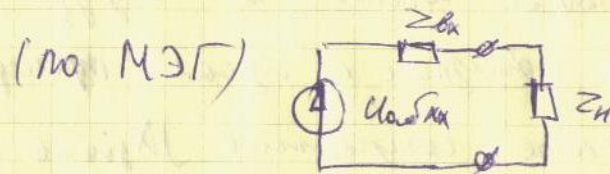
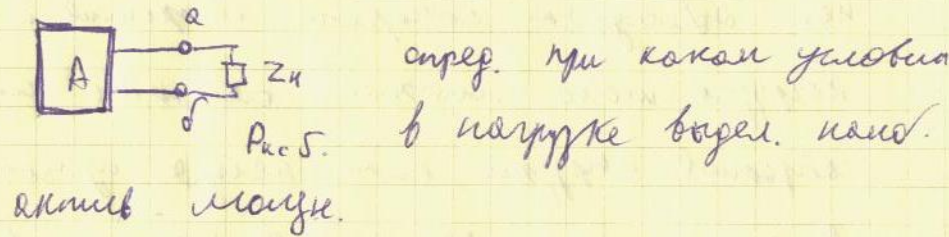
$$z_{bn} = \frac{\omega^2 M^2}{(z_1 + z_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2})^2} (z_2 + z_1)$$

$$X_{bn} = \frac{\omega^2 M^2}{(z_1 + z_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2})^2} (X_{L1} + X_{L2})$$

режим работы трансф. по нагрузке



Передаточная функция от входного напряжения к нагрузке



$Z_{вх}$ — входное сопротивление трансформатора, Z_H — нагрузка.

$$Z_{вх} = R_{вх} + jX_{вх}$$

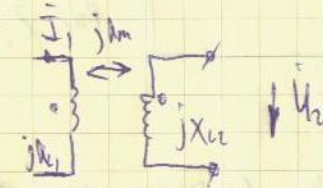
$$Z_H = R_H + jX_H$$

$$I = \frac{U_{эф}}{(R_{вх} + R_H) + j(X_{вх} + X_H)}$$

$$I_{max} = \frac{U_{эф}}{X_{вх} + X_H}$$

режим короткого замыкания трансформатора.

Известно, что трансформатор работает в режиме короткого замыкания.



$$I_2 = 0$$

$$U_2 = I_1 jX_m$$

$$U_1 = I_1 jX_L$$

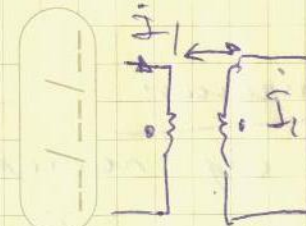
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1 jX_L}{I_1 jX_m} = \frac{\omega L_1}{\omega M} = \frac{L_1}{M} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$L_1 = \frac{\Psi_{11}}{I_1} = \frac{\Phi_1 W_1}{l_1}$$

$$M = \frac{\Psi_{12}}{I_1} = \frac{\Phi_1 W_2}{l_1}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = k - \text{коэффициент трансформации}$$

Известно, что трансформатор работает в режиме короткого замыкания.



$$I_2 jX_{L2} - I_1 jX_m = 0$$

$$I_1 jX_m = I_2 jX_{L2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{X_{L2}}{X_m} = \frac{W_2}{W_1}$$

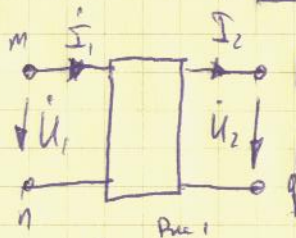
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{1}{k}$$

преобразователь, имеет схема - пример.

Если внутри цепи сор. некая пропорция энергии, то он активный, если их нет, то он пассивный.



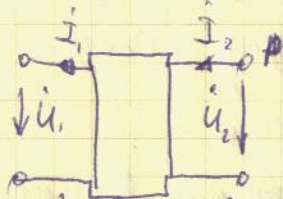
Иметь форму записи др-е четырехполюсника



$$\begin{cases} U_1 = A_{11} \cdot U_2 + A_{12} \cdot I_2 \\ I_1 = A_{21} \cdot U_2 + A_{22} \cdot I_2 \end{cases}$$

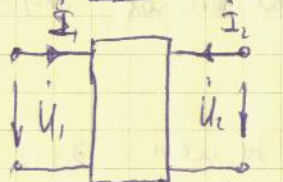
форма A

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad [A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$$



$$\begin{cases} U_2 = B_{11} \cdot U_1 + B_{12} \cdot I_1 \\ I_2 = B_{21} \cdot U_1 + B_{22} \cdot I_1 \end{cases}$$

форма B



$$\begin{cases} I_1 = Y_{11} \cdot U_1 + Y_{12} \cdot U_2 \\ I_2 = Y_{21} \cdot U_1 + Y_{22} \cdot U_2 \end{cases}$$

формы Y

$$\begin{cases} U_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ U_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [H] \begin{bmatrix} U_2 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

93

$$\begin{bmatrix} U_2 \\ I_1 \end{bmatrix} = [G] \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$I = \frac{U}{R_{Lx} + R_H}$$

$$P = \frac{U^2}{(R_{Lx} + R_H)^2} R_H - \frac{dP}{dR_H} = 0$$

PROFF

т.о. задана связ. к расчету по ~~формуле~~ ^{коэф} мере

Если пред. вид. мере. могу. жесть преобразить такую нагрузку, чтобы

$$R_H = R_{Lx}$$

Смешанная пример.

Тем самым, нагрузку устройства - ант. упрощен. обладает конкрет. сопротив. Z_{Lx} , нагрузка тоже может обладать конкрет. сопротив. нагрузки, как келюда изменить. В этом случае соглас. с нагруз. с формул. иет. близким к идеал. трансформ. и равновесное сопротив. Z_{Lx} и Z_{Hx} .

Пассивные, безынные четырехполюсники

Четные, эл. схема, сор. 2 входных и 2 выходных термина.

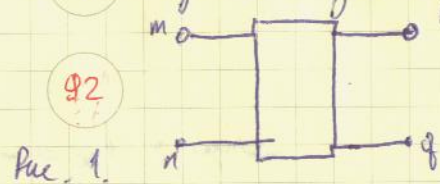


Рис. 1.

92

в режиме передат. звена между нагрузкой и источником.

форма А мн. при переносе энергии от источника (H, u), и нагрузке (P, f)



по пер. коллем. нагрузке можно представить
на ЭДС, $U_2 = I_2 Z_{HT}$ $E_2 = U_2 = I_2 Z_{HT}$

$$\begin{aligned} (9.1) \quad I_1 &= Y_{11} E_1 - Y_{12} E_2 \\ (9.2) \quad I_2 &= Y_{21} E_1 - Y_{22} E_2 \end{aligned}$$

$$E_1 = \frac{Y_{22}}{Y_{21}} E_2 + \frac{1}{Y_{21}} I_2 \quad (10)$$

$$I_1 = \frac{Y_{11} Y_{22}}{Y_{21}} E_2 + \frac{Y_{11}}{Y_{21}} I_2 - Y_{12} E_2 =$$

$$= \frac{Y_{11} \cdot Y_{22} - Y_{12} \cdot Y_{21}}{Y_{21}} E_2 + \frac{Y_{11}}{Y_{21}} I_2 \quad (11)$$

$$A_{11} = \frac{Y_{22}}{Y_{21}} \quad ; \quad A_{12} = \frac{1}{Y_{21}} \quad ; \quad A_{21} = \frac{Y_{11} Y_{22} - Y_{12} Y_{21}}{Y_{21}} \quad (12.1) \quad (12.2) \quad (12.3)$$

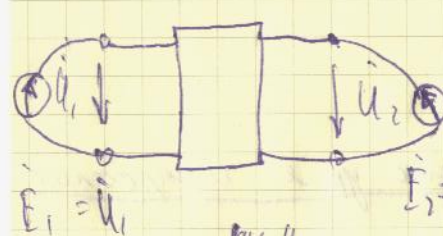
$$A_{22} = \frac{Y_{11}}{Y_{21}} \quad (12.4)$$

$$A_{11} A_{22} - A_{12} A_{21} = \frac{Y_{22}}{Y_{21}} \cdot \frac{Y_{11}}{Y_{21}} - \frac{1}{Y_{21}} \cdot \frac{Y_{11} Y_{22} - Y_{12} Y_{21}}{Y_{21}} = 1 \quad (13)$$

А форма - основная, аналогичная при соединении в разомкнутой цепи.

Определение Y-коэф. четырехполюс.

Воспользуемся схемой рис. 3.



U_1 и U_2 можно представить в виде ЭДС.

рис. 4.

$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11} E_1 + Y_{12} E_2 \\ I_2 &= Y_{21} E_1 + Y_{22} E_2 \end{aligned} \quad (7)$$

Сравнивая ур-е (7) и (3) можно сделать вывод, что Y-коэф. ввод в формулу, если базисные и выходные проводимости.

Для схем, не соед. между собой, справедливы принципы взаимности.

(8) $Y_{12} = Y_{21}$, взаимное не соед. между собой. взаимности.