

проб; стам дналь напавку подучим

конденсатор с
внешне идеального между обкладками,
внешне проводимости
увеличенная вязанности добротность
идеальной дналь
днов $L_{\text{доб}}$ $\Rightarrow \pi C, \text{ но с } \pi R$

идеальное сопротивление:

$$\begin{aligned} R &\rightarrow \bar{I}(t) \quad \bar{U}(t) = Z_R \cdot \bar{I}(t) \rightarrow \\ \bar{U}_R e^{j\omega t} &= Z_R \bar{I} e^{j\omega t} \rightarrow \end{aligned}$$

$\rightarrow U_R = Z_R \bar{I}; Z_R = R$ (напряжение меньше)

$$\begin{aligned} L &\rightarrow \bar{I}(t) \quad \bar{U}_L(t) = L \frac{d\bar{I}(t)}{dt} \rightarrow \\ \bar{U}_L e^{j\omega t} &= j\omega L \bar{I} e^{j\omega t} \rightarrow \end{aligned}$$

$$U_L = Z_L \bar{I}; Z_L = j\omega L = j\omega L; X_L = \omega L$$

$$U_C(t) = \frac{1}{C} \int \bar{I} e^{j\omega t} dt \rightarrow$$

$$\bar{U}_C e^{j\omega t} = \frac{1}{j\omega C} \bar{I} e^{j\omega t} \rightarrow \bar{U}_C = Z_C \cdot \bar{I}$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} = jX_C; X_C = -\frac{1}{\omega C}$$

X_L и X_C - реактивности разнозначны.

$$Z = R + jX$$

комплексная проводимость:

$$Y = \frac{1}{Z} = G + jB = \frac{I \cdot (R - jX)}{(R + jX)(R - jX)} \Rightarrow G = \frac{R}{R^2 + X^2}, B = \frac{-X}{R^2 + X^2}$$

$$Z = |Z| \cdot e^{j\varphi_Z}; |Z| = \sqrt{R^2 + X^2}; \varphi_Z = \arctg \frac{X}{R}$$

$$Y = |Y| e^{j\varphi_Y} = \frac{1}{Z} = \frac{1}{|Z|} e^{-j\varphi_Z}; |Y| = \frac{1}{|Z|}; \varphi_Y = -\varphi_Z$$

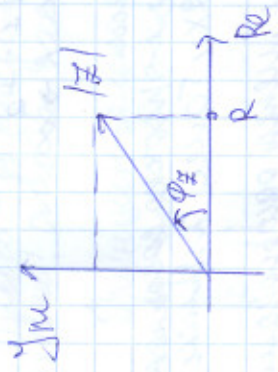
Примеры: $Z_R = R + j \cdot 0$

$$Z_L = 0 + j\omega L$$

$$Z_C = 0 + \frac{1}{j\omega C}$$

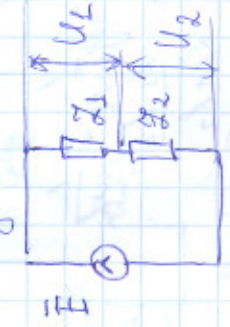
$$Z_R = R \cdot e^{j \cdot 0} // \varphi = \arctg \frac{0}{R}$$

$$Z_L = \omega L e^{j\frac{\pi}{2}}; Z_C = \frac{1}{\omega C} e^{-j\frac{\pi}{2}}$$



Соединения элементов

1. Последовательное:



$$Z = Z_1 + Z_2$$

при условии отсутствия взаимной индукции

Е не влияет на сопротивление

$$\bar{E} = \bar{U}_1 + \bar{U}_2; \bar{I} = \bar{I}_1 = \bar{I}_2; - \text{генератор}$$

Z складывается по правилу Кирхгофа.

$Z = Z_1 + Z_2$

$$Z = Z_1 + Z_2$$

12

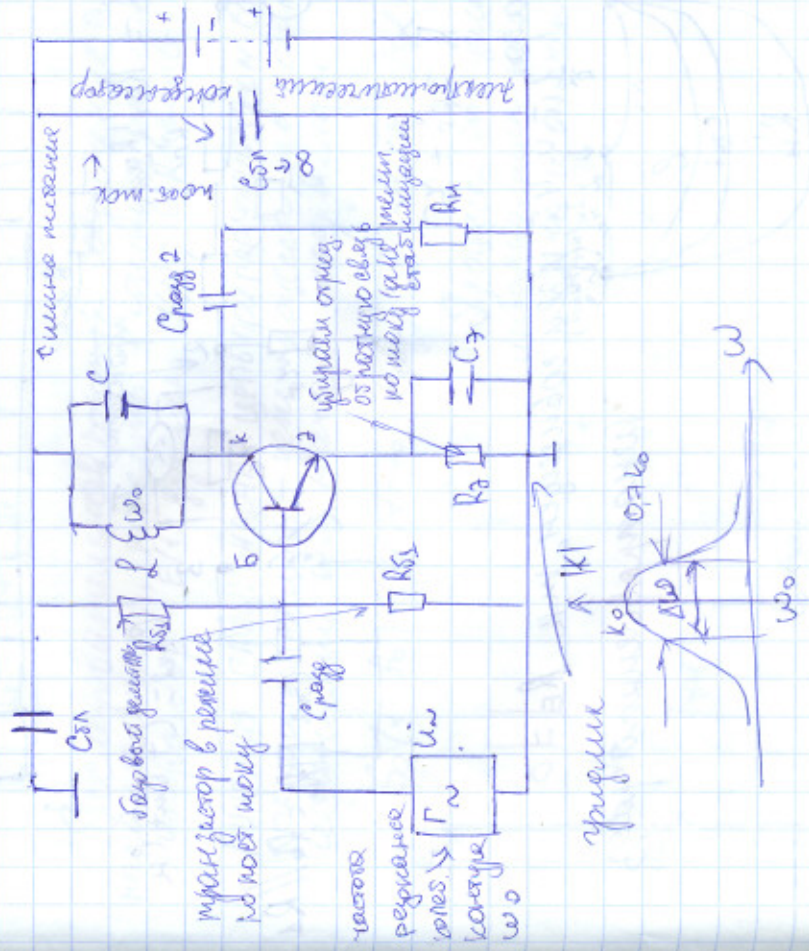
СХЕМЫ

СХЕМА - графическое изображение электрической цепи.

существует несколько разновидностей:

- Принципиальная - электрическая - реальное соединение равнозначных элементов (радиоэлементов)
- Эквивалентная схема - рисуется на основе принципиальной, но с некоторыми упрощениями для электрического анализа
- Граф - в первую очередь схемная принципиальная схема, отображается только содержанием (топология)

Принципиальная электрическая схема электрической цепи



$$\frac{1}{j\omega C} \rightarrow -j \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{j\omega C} + \frac{1}{j\omega C} \Rightarrow C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Самые важные при анализе цепей.

М-модели для всех элементов

$$E = U_1 + U_2; \quad Z \rightarrow Z = Z_1 + Z_2 //$$

$$\frac{E_1}{E_2} \rightarrow \frac{E}{E} = E_1 + E_2$$

$$\frac{I_1}{I_2}, \text{ кроме } I_1 = I_2 \text{ м.к. } R \rightarrow \infty$$

Параллельное соединение
Уд-модель соединения
Уд-модель соединения
Уд-модель соединения - безразмерный.

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{j\omega L} = \frac{1}{j\omega L_1 + j\omega L_2} \rightarrow L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

$$j\omega C = j\omega C_1 + j\omega C_2 \quad C = C_1 + C_2$$

$$I = I_1 + I_2 \quad \text{кроме } E_1 = E_2 = E$$

ивольтная схема:

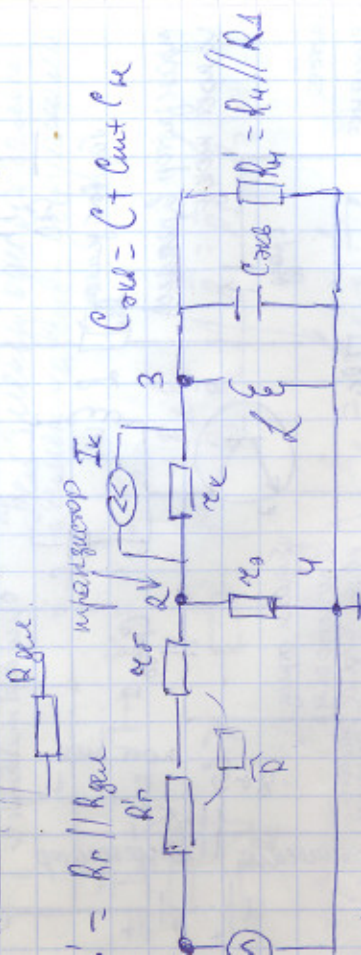
Учитая полярность переменному сигналу! $\ll U_0$ и малую емкость, амплитуду которого $\ll U_0$

$\ll U_0 \Rightarrow$ биполярный транзистор, будем считать линейным.

$X_c = \frac{1}{\omega C}$, если $C_{\pi 1}, C_{\pi 2}, C_{\mu 1}, C_{\mu 2}$ очень велики, то

Х с этих элементов $\rightarrow 0$

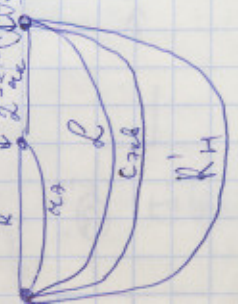
переменному току конденсаторы заменяем короткими замыканиями.



$\hat{R} = R_0' + R_0$

ар. $\frac{1}{R}$ и $\frac{1}{C}$ и $\frac{1}{L}$ совмещен, т.к. $R_E = 0$

неразрывный фаз



А ЧАСТНЫЕ ЦРП:

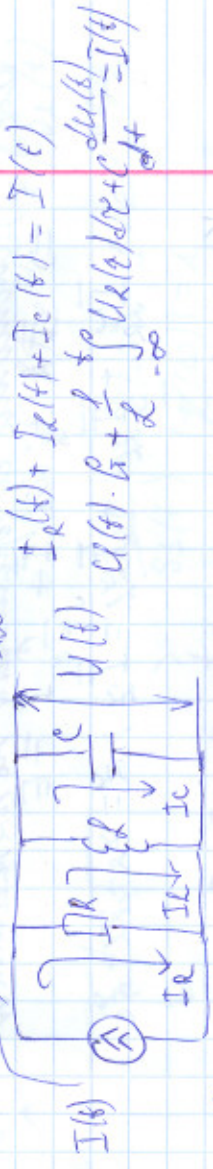
Процесс отсоединения отключенных математических уравнений одной цепи

помеховый контур
контур



Формы контуров: $U_R(t) + U_L(t) + U_C(t) = E(t)$

$$\bar{I}(t) \cdot R + L \frac{dI(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t I(\tau) d\tau = E(t)$$

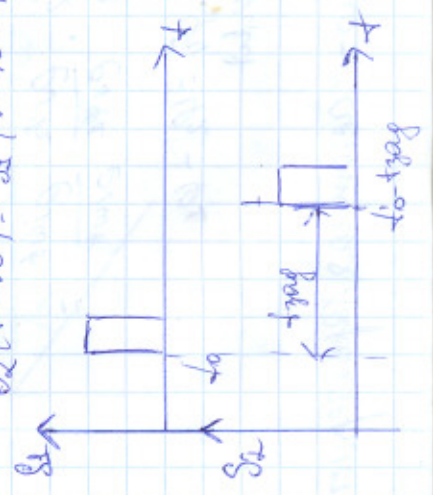


Долговременный контур - соединяет далеко находясь, может контур разрыв цепи, генератор $E(t)$ дуаль $I(t)$; $R \rightarrow G$; $L \rightarrow C$; $C \rightarrow L$

Линейная стационарная цепь при парном источнике воздействия. Стационарная цепь - цепь, процесс в которой не зависит от начала координат

$S_2(t-t_0) = S_2(t-t_0-t_{\text{зад}})$ вычисляется при $t=t_0$

Процесс стационарного изменения по отношению к началу отсчета



твуют линейные цепи, которые описываются уравнениями, зависящими от времени. Такие цепи называются цепями с постоянными параметрами.



$$U(t)R + L \frac{dI(t)}{dt} = U(t)$$

обобщаемся от временного импульса к импульсу со временем не меняем

$$\bar{I}R + j\omega L \bar{I} = \bar{U}$$

$$\bar{I}Z_R + \bar{I}Z_L = \bar{I}Z; Z = Z_R + Z_L$$

процессенты передачи линейной цепи

$\bar{S}_1, \bar{S}_2$ - гармонические сигналы, дающие вводит корректирующий передатчик, но если $\bar{S}_1$ и $\bar{S}_2$ не коррелируют, то в итоге введем

$$\bar{K}(\omega) = \frac{\bar{S}_2(t)}{\bar{S}_1(t)}$$

$$\bar{S}(t) = U_1(t), \bar{S}(t) = U_2(t)$$

$$\bar{K}_u(\omega) = \frac{\bar{U}_2(\omega)}{\bar{U}_1(\omega)} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{e^{j\varphi_2}}{e^{j\varphi_1}} = \frac{e^{j\varphi_2}}{e^{j\varphi_1}}$$

$$|\bar{K}(\omega)| = e^{j(\varphi_2 - \varphi_1)} \Rightarrow \varphi_2 = \varphi_1 - \varphi_1$$

$$\bar{K}_u(\omega) = |\bar{K}(\omega)| \cdot e^{j\varphi(\omega)}$$

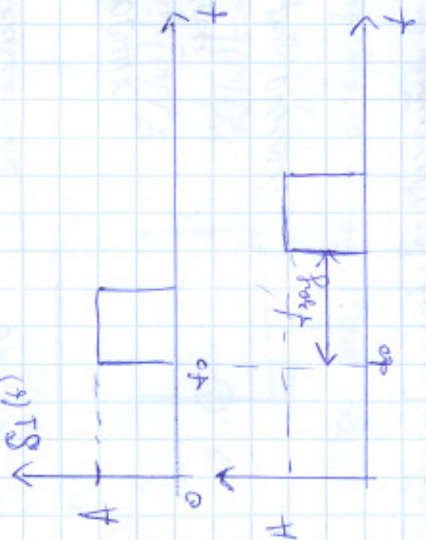
$|\bar{K}_u(\omega)|$ - амплитудно-частотная характеристика

$\varphi_0(\omega)$ - фазо-частотная характеристика

$$\bar{K}_I = |\bar{K}_I(\omega)| e^{j\varphi_I(\omega)}$$

Работают в основном с корректирующей передачей напряжения и обозначают $\bar{K}_u(\omega) = \bar{K}(\omega)$

ПРИКАЖАЮЩИЕ ЦЕПИ



Получаем отклик через время + задержка

$$\bar{S}_2(t) = \bar{S}_1(t - t_{заг})$$

$$\bar{S}_2(t) = \bar{S}_1(t) \cdot e^{-j\omega t_{заг}} / \bar{S}_1(t)$$

$$\frac{\bar{S}_2(t)}{\bar{S}_1(t)} = \bar{K}(\omega) = 1 \cdot e^{-j\omega t_{заг}}$$

$$|\bar{K}(\omega)| = 1$$

Вывод: для того, чтобы цепь была идеальной она должна иметь амплитудно-частотную характеристику $|\bar{K}(\omega)| = 1$ и фазо-частотную $\varphi(\omega) = -\omega t_{заг}$

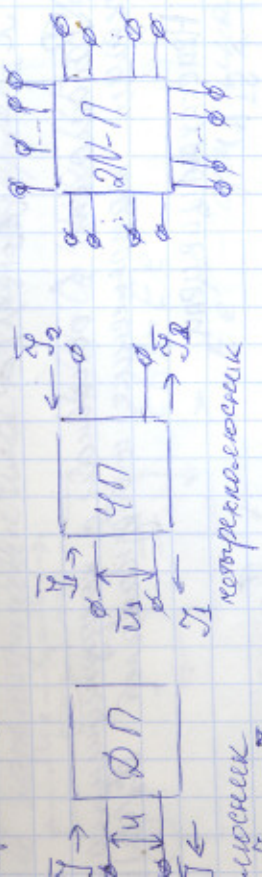
$$|\bar{K}| \propto \varphi(\omega)$$

$$t_{заг} = -\frac{\varphi}{\omega}$$

Идеальная цепь имеет амплитудную характеристику $|\bar{K}(\omega)| = 1$ и фазо-частотную $\varphi(\omega) = -\omega t_{заг}$



исю контактов или выводов при помощи
 торых цепь соединяется с внешними центральными



Автоматический

имеющей/мембранной

интерференционной/бездифракционной

мимикет/наименьшей

среди коррекционных передач для двухнаправленного
 $\bar{U} = \frac{U}{Z} \cdot \bar{Y}$ - в тангенциальной
 $\bar{S}_2 = \bar{K}(\omega) \cdot \bar{S}_1$ - комплексный коэффициент передачи

$Z(\omega) = R + jX; Y(\omega) = 1/Z(\omega) = 1/(R + jX) = e^{j\varphi_Z(\omega)}$

$|Z(\omega)| = \sqrt{R^2 + X^2} - A_{UX}; \varphi_Z(\omega) = \arctan \frac{X}{R} - \varphi_{UX}$

$U = \text{const}; \begin{cases} \bar{Y} = Y \\ \bar{S}_2 = \bar{K}(\omega) \bar{S}_1 \end{cases}$

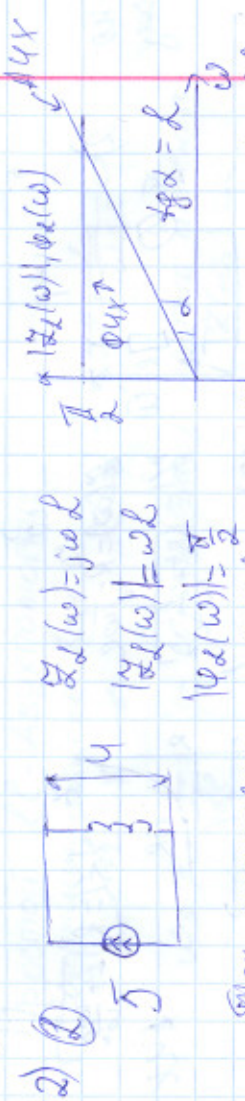
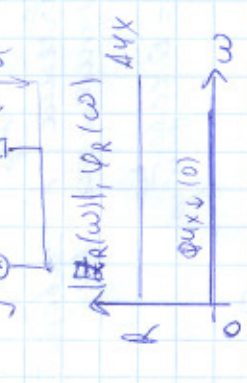
$Y(\omega) = |Y(\omega)| e^{j\varphi_Y(\omega)}$

$|Y(\omega)| = \sqrt{G^2 + B^2} - A_{UY}; \varphi_Y(\omega) = \arctan \frac{B}{G} - \varphi_{UY}$

$\omega) = \frac{1}{Z(\omega)} = \frac{1}{e^{j\varphi_Z(\omega)}} \cdot |Y(\omega)| = \frac{1}{|Z(\omega)|}; \varphi_Y(\omega) = -\varphi_Z(\omega)$

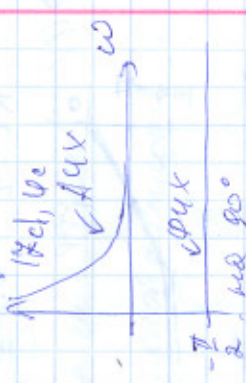
параллельные элементы цепи как
 (последовательные элементы)

3) $Z_R(\omega) = R + 0 \cdot j; A_{UX}: |Z_R(\omega)| = R; \varphi_{UX}(\omega) = 0$



Фазовый сдвиг от напряжения на 90°

3) $Z_C(\omega) = -j/\omega C; |Z_C(\omega)| = 1/\omega C; \varphi_C(\omega) = -\pi/2$



Напряжение отстает от тока на 90°

Простые двухполюсники:

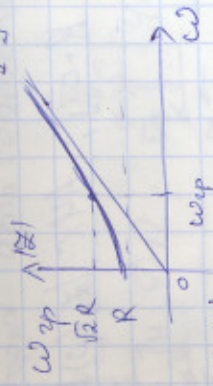
Простыми функциями можно описать любые
 содержащий только один вид реактивности (либо L, либо C)
 Реальная часть и мнимая часть с реальными сопротивлениями



$Z(\omega) = R + j\omega L; |Z| = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} A_{UX}; \varphi(\omega) = \arctan \frac{\omega L}{R} \varphi_{UX}$

$\frac{L}{R} = \tau$ - постоянная времени
 $\omega \tau = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{\tau}$ - граничная частота

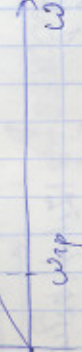
миссия $Q = \frac{\omega L}{R} \frac{\frac{1}{2} \sqrt{2}}{\frac{1}{2} \sqrt{2}} = \frac{2\pi \omega_{max}}{T} = 2\pi \frac{\omega_{max}}{\omega_{рассеив}}$



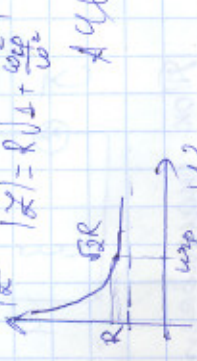
$|Z| = R \sqrt{1 + \frac{\omega^2}{\omega_p^2}}$ АЧХ

Напряжение R миссия к нелинейности АЧХ

$\varphi(\omega) = \arctan \frac{\omega}{\omega_p}$

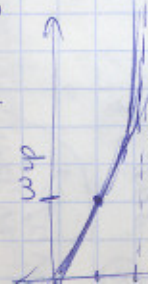


$Z(\omega) = R - j\omega C$
 $|Z| = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$ АЧХ



$\varphi(\omega) = -\arctan \frac{1}{\omega RC}$
 $C = R; \omega_p = \frac{1}{R}; Q = \frac{1}{R} \frac{1}{\omega RC}$

$\varphi(\omega) = -\arctan \frac{\omega_p}{\omega}$



$Z(\omega) = \frac{R(j\omega L(R-j\omega L))}{(R+j\omega L)(R-j\omega L)} = \frac{R^2 j\omega L + R\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}$



$= \frac{R\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} + \frac{R^2 \omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} = \frac{R\omega L \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}{R^2 + \omega^2 L^2}$

$|Z(\omega)| = \sqrt{\frac{R^2 \omega^2 L^2 + R^2 \omega^2 L^2}{(R^2 + \omega^2 L^2)^2}} = \frac{R\omega L \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}{R^2 + \omega^2 L^2}$

Простой LC-двухполюсник
 содержит только L и C
 $Z(\omega) = j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = 0$

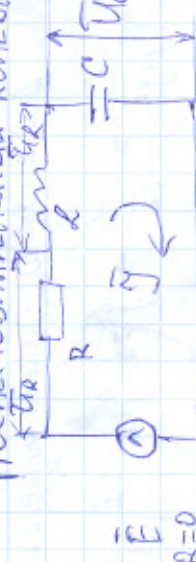
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — собственная частота системы
 $Z(\omega_0) = 0$

$Z(\omega) = j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) = j\sqrt{L/C}(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})$

$f = \sqrt{L/C}$ — характеристическое сопротивление [Ом]
 $f = \sqrt{L/C} = \omega_0 L = \frac{L}{\omega_0 C}$ — на резонансной частоте

$Z(\omega) = jf(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})$

Последовательный колебательный контур



Комплексный коэффициент передачи будет пропорционален $\bar{I} = Y(\omega) \bar{E}; \bar{E} = \cos \omega t$

$Y(\omega) = \frac{1}{Z(\omega)} = \frac{1}{R + jf(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})} = \frac{1}{R(1 + jQ(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}))}$ $\Rightarrow$

$I = Q(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})$; $Q = \frac{f}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ — добротность
 $f = \sqrt{L/C}$ — характеристическое сопротивление

$$|G(\omega)| = \frac{1}{R\sqrt{1+g^2}}; \quad \varphi(\omega) = -\arctan g$$

и полагая

$$G(\omega) = \frac{R(1-jg)}{R^2(1+jg)(1-jg)} = \frac{1}{R(1+g^2)} - j \frac{g}{R(1+g^2)}$$

$$\varphi(\omega) = \arctan g, \quad \frac{Im}{Re} = -\arctan g$$

$$AUX: |G(\omega)| = \frac{1}{R\sqrt{1+g^2}}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctan g$$

$$\bar{I}(\omega) = Y(\omega) \cdot \bar{E};$$

$$\bar{E} = const$$

$$|\bar{I}(\omega)| = \frac{|\bar{E}|}{R\sqrt{1+g^2}}$$

при резонансе

$$\omega = \omega_0; \quad g(\omega_0) = 0; \quad I_{res} = \frac{|\bar{E}|}{R} = I_{max}$$

нормированная функция

$$|Y, I(\omega)| = \frac{|\bar{I}(\omega)|}{I_{res}} = \frac{1}{\sqrt{1+g^2}}$$

AUX:

$$\Delta\omega = \omega_B - \omega_H - \text{полоса пропускания}$$

$$\frac{1}{\sqrt{1+g^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow g^2 = 1; \quad g_{1,2} = \pm 1$$

$$g = \pm 1 - \text{норм. частота}; \quad g = \pm 1 - \text{верх. и ниж. част.}$$

$$Q \left(\frac{\omega_H}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_H} \right) = -1;$$

$$\frac{\omega_H}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_H} + \frac{1}{Q} = 0; \quad \frac{\omega_H}{\omega_0} \Rightarrow \left(\frac{\omega_H}{\omega_0} \right)^2 + \left(\frac{\omega_H}{\omega_0} \right) \frac{1}{Q} - 1 = 0$$



$$\frac{\omega_H}{\omega_0} = -\frac{1}{2Q} + \sqrt{\frac{1}{4Q^2} - 1} \quad (g = -1) \text{ берем только } +, \text{ т.к. } \text{нашего положительное}$$

$$\frac{\omega_B}{\omega_0} = \frac{1}{2Q} + \sqrt{\frac{1}{4Q^2} - 1} \quad (g = 1)$$

$$\frac{\omega_B}{\omega_0} - \frac{\omega_H}{\omega_0} = \frac{1}{Q} \rightarrow \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{Q} \Rightarrow Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$$

добротность как инерционный параметр.

$$\varphi_V(\omega) = -\arctan g$$

В механике идее пружинного

$$\varphi(\omega) = -\omega t_{lag}$$

$$\tan \alpha = t_{lag}$$

$$t_{lag} = -\frac{d\varphi}{d\omega} \rightarrow -\frac{d}{d\omega} \left[-\arctan g \right] = \frac{1}{1+g^2} \cdot \frac{dg}{d\omega}$$

$$= -\frac{1}{1+g^2} \left[g \cdot \frac{d}{d\omega} \left(\frac{Q}{\omega} - \frac{\omega}{Q} \right) \right] = -\frac{Q}{\omega_0} + \frac{Q\omega}{(-\omega_0^2)} = -2 \frac{Q}{\omega_0}$$

$$t_{lag} = -\frac{2Q}{\omega_0}; \quad t_{lag} = \tan \alpha; \quad Q \rightarrow \infty$$

Вывод: Скорость роста между емкостью и индуктивностью, т.е. при нахождении в резонансе старается и компенсирует друг друга.

Можно построить ЧП, который будет выбирать/выбегать из резонанса (будет перестраиваться)



$$k(\omega) = \frac{|Z|}{|Z| + R_{сери}} = \frac{1}{1 + R_{сери}}$$

СОДАНЕ НАПРЯЖЕНИЙ

именная часть = 0, падение напряжения не реалт. элемент
 приближенный, частотный генератор к соединению
 твое наблюдение увеличение административа
 имитирует эквивалент (резонанс напряжения)
 , $\omega = \omega_0$ напряжение в Q раз больше напряжения
 генератора

алон китора: $\bar{U}_R + \bar{U}_C = \bar{E} : \omega = \omega_0$

$$\bar{I}_{рез} = \frac{|\bar{E}|}{R} + X_L \frac{\bar{E}}{R} + X_C \frac{\bar{E}}{R} = \bar{E}$$

$$+ \frac{\omega_0 L}{R} \bar{E} - \frac{1}{\omega_0 R} \bar{E} = \bar{E}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

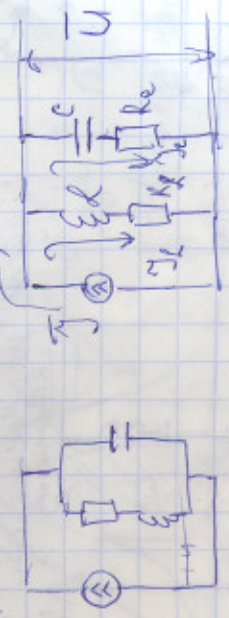
$$+ \frac{L}{R} |\bar{E}| - \frac{R}{L} |\bar{E}| = \bar{E}$$

тох через конденсатор определяется π

ток через катушку определяется на π
 он: π напряжение направлено вправо отсюда,
 резонанс компенсирует друг друга $\Rightarrow$ все падение на R

и больших мощностях пробой конденсатора,
 повреждение катушки.
 и малых позволяет использовать только малые колебания

АДРЕМНЫЙ КОМПЕНСАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР



$$Z(\omega) \cdot \bar{I} = \bar{E} = const$$

$$Z(\omega) = \frac{(R_L + j\omega L)(R_C + j\omega C)}{R_L + R_C + j\omega(R_L C + R_C L)} ; Z(\omega) \approx \frac{R}{1+j\omega RC}$$

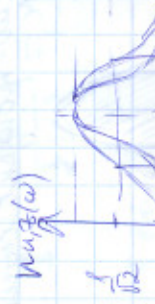
$$Z_{пар}(\omega) = \frac{R^2}{Z_{ном}(\omega)} \leftarrow \text{причем формула}$$

допущение: $Q \gg 1$ (допущение контур); $R_C \ll \omega L$; $R_L \ll \frac{1}{\omega C}$
 $Z(\omega) \approx \frac{R}{1+j\omega RC}$; при резонансной частоте $\omega = \omega_0$; $Y=0$

$Z_{рез}(\omega_0) = \rho Q$, на резонансной частоте сопротивление
 контура максимально

$$|U(\omega)| = |Z(\omega)| \cdot |\bar{I}|$$

$$|U_X| : |U_X| = \frac{\rho Q}{1+j\omega RC} \cdot |\bar{I}|$$



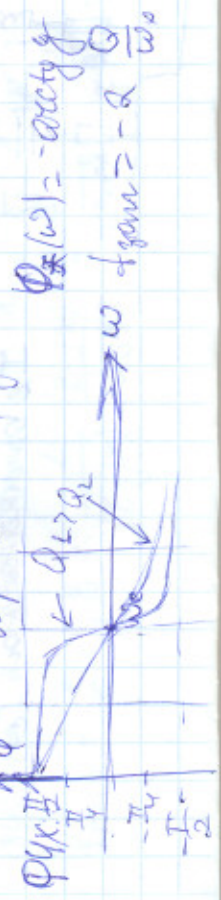
$U_{рез} = \rho Q |\bar{I}|$; $U_{н, рез}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+j\omega RC}}$
 при резонансе не надо писать 1 !
 $U_{н, рез}(\omega) = \frac{|Z(\omega)|}{Z_{рез}}$; $Z_{рез} = Z(\omega_0) = \rho Q$

$$\omega = \frac{\omega_0}{Q} ; Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} \text{ (при } Q \gg 1 \text{)}$$

при малом Q частота максимума будет увеличиваться
 относительно собственных колебаний (при $Q \gg 1$ и наоборот)

$$\omega_{рез} \approx \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} ; Q = 1 : \omega_{рез} = \frac{\omega_0}{\sqrt{2}}$$

$Q = 2\pi \frac{W_{запас}}{W_{расе}}$; при $Q=1$ $W_{запас} < W_{расе}$
 резонанс $\omega \rightarrow 0$

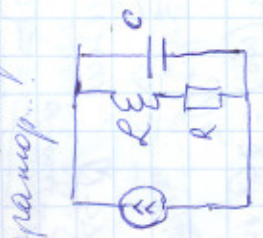


$$\phi(\omega) = -\arctan \frac{\omega}{\omega_0}$$

$$\phi_{ам} = -2 \frac{Q}{\omega_0}$$

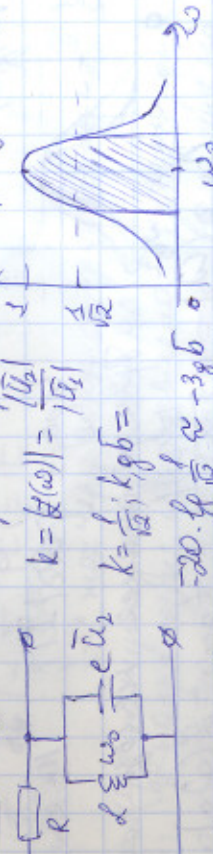
$$|I| = \frac{pQ}{\sqrt{1+\xi^2}}$$

Обычно по известным
вспомогательным $R_L \gg R_c$
можно построить упрощенный
генератор.



формации уменьшения добротности R_L
относительно R_c
увеличение Q и увеличение частоты колебаний
параллельного контура в неограниченно резонаторе.

резонанс: Полосовый фильтр, маломощный



$$k = |H(\omega)| = \frac{|U_2|}{|U_1|} = \frac{1}{\sqrt{1+\xi^2}}$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{1+\xi^2}}; k_{dB} = -20 \cdot \lg \frac{1}{\sqrt{1+\xi^2}} \approx -3.8 \text{ dB}$$

уровень помехи незначителен.

ОПАСНОСТЬ

опасность: увеличение тока внутри
контура при уменьшении частоты генератора
собственной частоты колебаний. При резонансе $\omega = \omega_0$
внутренний контур в Q раз, ток во внешней цепи.

I_c опережает на 90° , I_L отстает на 90°
от напряжения $U \Rightarrow$
 I_L отстает на π от I_c



векторная диаграмма.

идеальный источник,
ток во внешней цепи $= 0$



связан по фазе, $R_c \ll R_L$
 $I = I_c + I_L$; $I_c = \frac{U}{R_c}$ $I_L = \frac{U}{\omega L}$
учитывая фазу I_c и I_L
 $I_c = \frac{U}{R_c} = -i\omega C U$

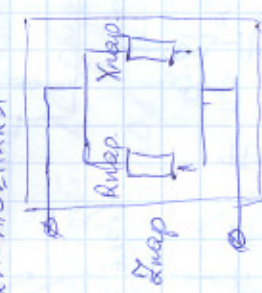
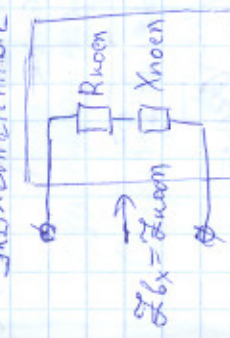
$$I = \frac{U}{Z(\omega)} \Rightarrow Z(\omega) = pQ; \frac{I_L}{I} = pQ \frac{1}{\omega L} = Q$$

$$\frac{I_L}{I} = pQ \frac{1}{\omega L} = Q$$

Вывод:

последовательный контур - резонанс напряжений (ПРНК)
параллельный контур - резонанс токов (ПРТ)

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ Выходные



$$Z_{пар} = \frac{R_{пар} X_{пар}}{R_{пар} + X_{пар}}$$

$Z_{конт} = R_{конт} + X_{конт}$ Если $Z_{конт} = Z_{пар}$, то ПРНК

$$R_{конт} = R; X_{конт} = X; X_{пар} = X$$

$$Y_{пар} = \frac{1}{R + jX} = \frac{1}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2}$$

$$\frac{x}{x^2+x^2}; B = -\frac{x}{x^2+x^2} \Rightarrow Q = \frac{x}{x} \Rightarrow x(1+Q^2);$$

$$x = \frac{x^2+x^2}{x} = x(1+\frac{x^2}{x^2})$$

$$Q > 1 \Rightarrow R \approx xQ^2$$

$$x_{\text{пар}} = \frac{x^2+x^2}{x} = x(1+\frac{x^2}{x^2}) = x(1+Q^2)$$

$$x \approx x \text{ при } Q > 1$$

Преобразование превращает действительное число

$$Q = R; \text{ для контура:}$$

$$R \approx x \cdot \frac{L^2}{C^2}; L \approx \frac{L^2}{x}; x = x$$



линия попротивления генератора и сопротивлений
изки на абсорбцию колебательного контура

После преобразования колебательный контур

$Q = \frac{L}{R}$; можно нормиро-
вать к единице $\Rightarrow$ уменьшаем масштабы
преобразования



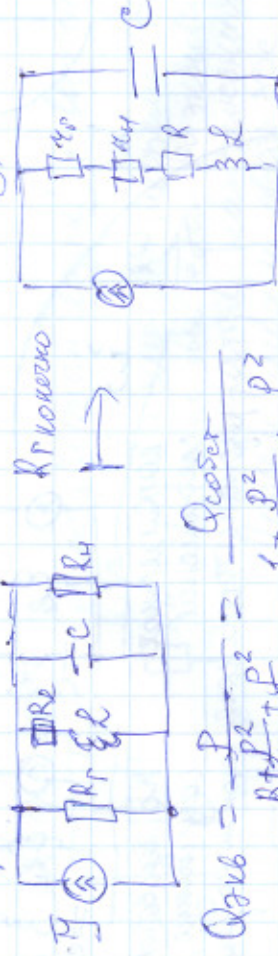
$$Q_{\text{нв}} = \frac{Q}{Q_{\text{осст}} + R_0 + \frac{P^2}{R_H}} =$$

$$= \frac{x_H - \frac{P^2}{R_H}}{1 + \frac{R_0}{R} + \frac{P^2}{R_H R}}$$

$$\text{при } R_H \rightarrow \infty; Q \rightarrow 0$$

тогда: где можно, имеем $Q_{\text{нв}} \rightarrow Q_{\text{осст}}$
необходимо $R_H \rightarrow \infty$, а $R_0 \rightarrow 0$

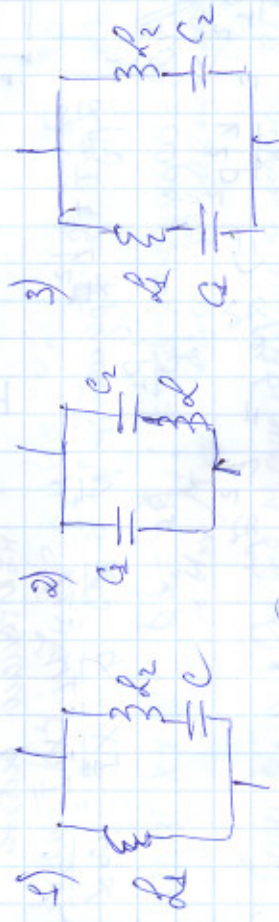
2) Параллельный колебательный контур.



$$Q_{\text{нв}} = \frac{P}{R + \frac{P^2}{R_H}} = \frac{Q_{\text{осст}}}{1 + \frac{P^2}{R \cdot R_H} + \frac{P^2}{R_H R}}$$

Если $R_0 \rightarrow \infty$, то $Q_{\text{нв}} \rightarrow Q_{\text{осст}}$
Если $R_H \rightarrow \infty$, то $Q_{\text{нв}} \rightarrow Q_{\text{осст}}$.

Сложный LC-двухполюсник



Свойство: Напряжения в резонансе: при последовательном
и при параллельном подключении генератора.

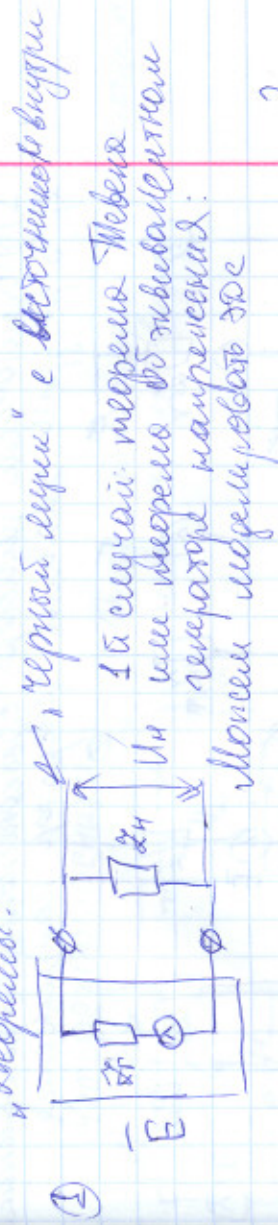
Рассмотрим первый LC-двухполюсник

$$\text{Сопротивление } Z(\omega) = j\omega L_1 \frac{j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L_1 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega L_1}{\omega^2 L_1 L_2 - 1} = \frac{j\omega L_1}{\omega^2 L_1 L_2 - 1}$$

$$= j\omega L_1 \frac{L_2(\omega^2 - \omega_0^2)}{\omega^2 L_1 L_2 - 1} = j\omega L_1 \frac{L_2}{L_1 + L_2} \frac{(\omega^2 - \omega_0^2)}{(\omega^2 - \omega_0^2)}$$

Активные А В У П О Л Н О Г И К И

Теорема:



Поток, который протекает через нагрузку:

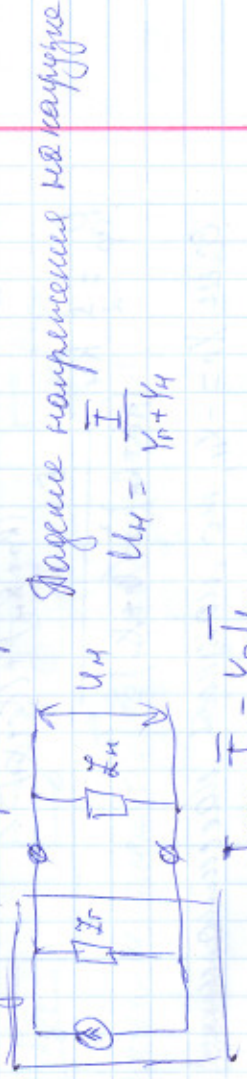
$$I_H = \frac{E}{Z_r + Z_H}; U_H = E - I_H Z_r$$

Отсюда к.з.: $Z_H = 0; U_H = 0; I_H = \frac{E}{Z_r}$

Отсюда к.з.: $U_{H,к.з.} = E; I_{H,к.з.} = \frac{E}{Z_r}$ $\Rightarrow Z_r = \frac{E}{I_{H,к.з.}}$

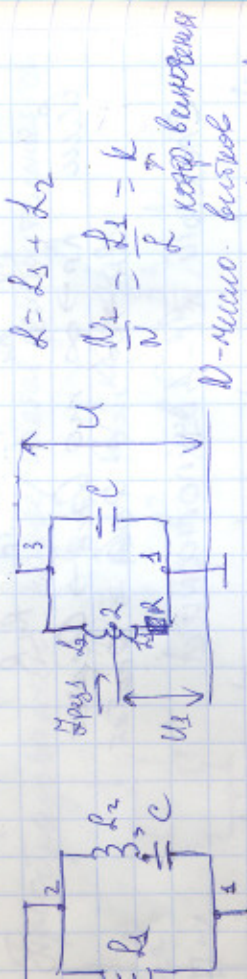
Если $Z_r \sim \infty$ Ом, то протекает ток в генераторе.

2) Теорема Нортмана



$$I_H = I - Y_r U_H$$

Отсюда к.з.: $U_H = 0; I_H = I; Y_r = \frac{I}{U_{H,к.з.}}$



$$Z_{p1} = \frac{L^2 \omega^2 \mu_0}{R}; Z_{p2} = \frac{L^2 \omega^2 \mu_0}{R}$$

Отсюда: $\frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_{p1}}{Z_{p2}} = \frac{L_1}{L_2} = k$

В цепи контур сохраняется энергия, но в контуре вращаются заряды, в контуре вращаются заряды, в контуре вращаются заряды.

