МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Курс лекций

«Основы электротехники»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Курс лекций

«Основы электротехники»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Курс лекций «Основы электротехники» / Коллектив авторов –
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 61 с.: ил.

В курсе лекций рассмотрены основные этапы курса «Основы электротехники».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

АННОТАЦИЯ

В курсе лекций рассмотрены основные темы курса «Основы электротехники» такие как: виды измерительных приборов, предназначенных для измерения геометрических величин, приборы и способы измерения номиналов электронной радио аппаратуры на примере резисторов, законы распределения погрешностей и зависимость точности измерения погрешности от количества измерений.

ANNOTATION

The course of lectures addressed the main themes of the course "Metrology and measurement technology in the production of ES 'such as: types of measuring instruments for measuring geometric quantities, instruments and methods of measuring radio ratings electronic equipment for example resistors, the laws of distribution of errors and the dependence of the accuracy of the measurement error of number of measurements.

СОДЕРЖАНИЕ

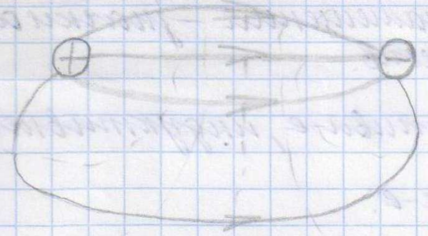
ВВЕДЕНИЕ

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Барановым Е. Н. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Основы электротехники».

1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Основы электротехники (лек)

Осн понятия теории эл. цепей 07.09.07.



не явл-ся эл. цепью, а эл. объектов.

цепь: проводящие тела им. малое попереч. сеч-е и большую длину, окруженн изолятором (воздухом).

линии тока

эквипотенц. пов-ти (равного потенциала)

Длина линий тока = длине проводника

Потенциал — работа сил поля по переносу ед. зар. из 1й (·) в другую, потенциал к-й = 0

$\varphi_1 \cdot 1$

$\varphi_1 - \varphi_2$ — -"- ед. зар. из точки 1 в точку 2.

$\varphi_1 - \varphi_2 = U$

$dA = U \cdot dq$

элементарн работа

$\varphi_2 \cdot 2$

$U = \frac{dA}{q} \left[\frac{Дж}{Кл}\right] = [В]$

$i = \frac{dq}{dt} \left[\frac{Кл}{с}\right] = [А]$

$P = \frac{dA}{dt} = \frac{U \cdot dq}{dt} = U \cdot i \quad \left[\frac{Дж}{с}\right] = [В \cdot А] = [Вт]$

мощность — скорость измен. энергии

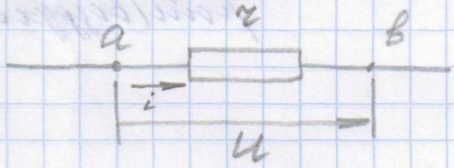
Пассивные параметры эл. цепей

а) принципиальные схемы – схемы, где показаны в упрощ. виде технич. эл. цепей и порядок соед-я.

б) расчетные схемы замещения – значки обознач. параметры устройств.

пассив. пар-ры: сопротивл-е, индуктивность, емкость.

сопротивл-е:



$$U = i \cdot r$$

$$r = \frac{U}{i} \quad \left[\frac{В}{А}\right] = [Ом]$$

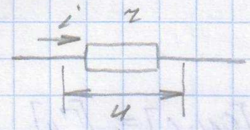
r – коэф-т пропорц-ти м/у U и i при том непременном условии, что энергетически на этом участке не происх. ничего др., кроме преобраз. эл. энергии в тепло.

	ρ
Серебро	0,015
Медь	0,0175
Алюминий	0,027
Сталь	0,25
Нихром	1,05

$$r = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

$$\rho \left[\frac{Ом \cdot мм^2}{м}\right]$$

<u>13.09.07.</u>



$$r_{t_2} = r_{t_1}[1 + \alpha(t_2 - t_1)$$

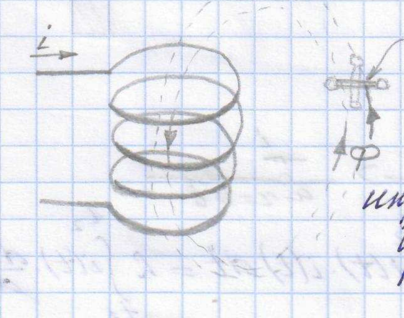
$$\alpha_{меди} = 0,004$$

$$A = \int_{t_1}^{t_2} p(t)\,dt = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot i(t)\,dt = \int_{t_1}^{t_2} i^2(t) \cdot r$$

$$u(t) = i(t) \cdot r$$

Энергия и мощность на участке r всегда „+" что явл-ся признаком потребителя энергии.

З-н электромагн. индукции.

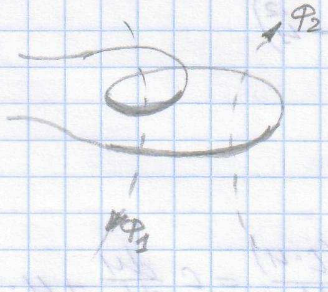


Φ – магнитн. поток

$$\boxed{e = -\frac{d\Psi}{dt}} \qquad u = -e$$

ЭДС

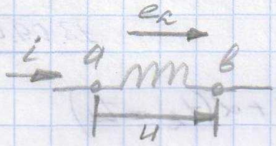
индуктир. ЭДС = скорости изменения потока сцепления контура



$$\Psi = 2\Phi_1 - \Phi_2$$

Самоиндукция.

$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt}$$



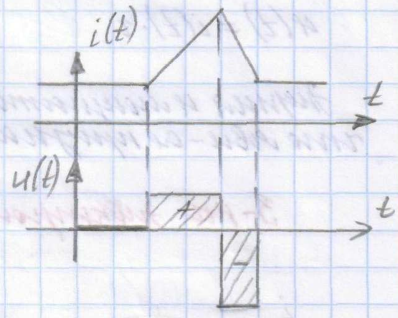
$$L = \frac{\Psi}{i} \quad \left[\frac{Вб}{A}\right] = \left[\frac{B \cdot c}{A}\right] = [Ом \cdot c] = [Гн]$$

$$u = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{d[L \cdot i]}{dt} = L\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{dt}$$

Если $L = const$, то

$$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

$$i(t) = \frac{1}{L}\int u(t)dt$$

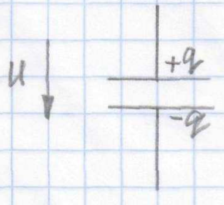


Если $i = const$, то

$$A = \int_{t_1}^{t_2} p(t)\,dt = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot i(t)\,dt = L\int_{t_1}^{t_2} i(t) \cdot \frac{di(t)}{\cancel{dt}}\cancel{dt} =$$

$$= L\int_{i_1}^{i_2} i(t) \cdot di(t) = \frac{1}{2}L(i_2^2 - i_1^2)$$

Конденсатор.



$$C = \frac{q}{u}$$

$$i = \frac{dq}{dt}$$

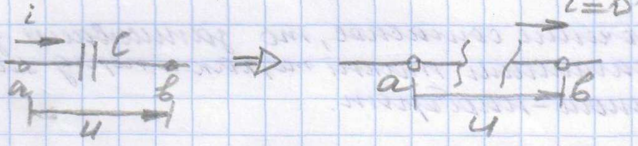
$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(C \cdot u)}{dt} = C\frac{du}{dt} + u \cdot \frac{dC}{dt}$$

Если $c = const$; то

$$i(t) = c\cdot\frac{du(t)}{dt}$$

$$u(t) = \frac{1}{c}\int i(t)dt$$

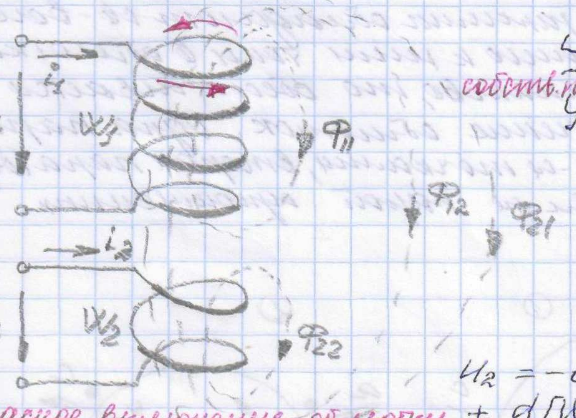
Если $u = const$, то



$$A = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} u(t)\cdot i(t)dt = c\int_{t_1}^{t_2} u(t)\cdot\frac{du(t)}{dt}dt =$$

$$= c\int_{u_1}^{u_2} u(t)du = \frac{1}{2}c(u_2^2 - u_1^2)$$

21.09.07.



поток взаимоиндукции

$$\Psi_1 = W_1(\Phi_{11}+\Phi_{12}\pm\Phi_{21})$$

собств. поток 1й обмотки

$$\Psi_2 = W_2(\Phi_{22}+\Phi_{21}\pm\Phi_{12})$$

$$u_1 = -e_1 = \frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{d[W_1(\Phi_{11}+\Phi_{12})]}{dt} \pm \frac{d[W_1\Phi_{21}]}{dt}$$

$$u_2 = -e_2 = \frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{d[W_2(\Phi_{22}+\Phi_{21})]}{dt} \pm \frac{d[W_2\Phi_{12}]}{dt}$$

Согласное включение обмотки

Φ_{11}, Φ_{22} – потоки рассеяния

Φ_{12} – поток, созд. 1й катушкой, сцепляющийся со 2й.

Φ_{12}, Φ_{21} – потоки взаимоиндукции (созданы одним, сцепляются со 2м)

Введем обозначения: $L_1 = \frac{W_1(\Phi_{11}+\Phi_{12})}{i_1}$

индуктивность – коэф-т самоиндукции

$$L_2 = \frac{W_2(\Phi_{22}+\Phi_{21})}{i_2}$$

$$M_{21} = \frac{W_1 \; \Phi_{21}}{i_2} \qquad M_{12} = \frac{W_2 \Phi_{12}}{i_1}$$

коэф-т взаимоиндукции

$$\boxed{M_{12} = M_{21}}$$ для лин. цепей

$$u_1 = \pm L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} \pm M_{21} \cdot \frac{di_2}{dt} \qquad u_2 = \pm L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M_{12} \cdot \frac{di_1}{dt}$$

знак опр-ся совпад. или несовп. направл. тока с напр. обхода.

Если включение согласное, то записываем знак перед 2-м слагаемым такой же, как и перед 1-м.

При встречном — наоборот.

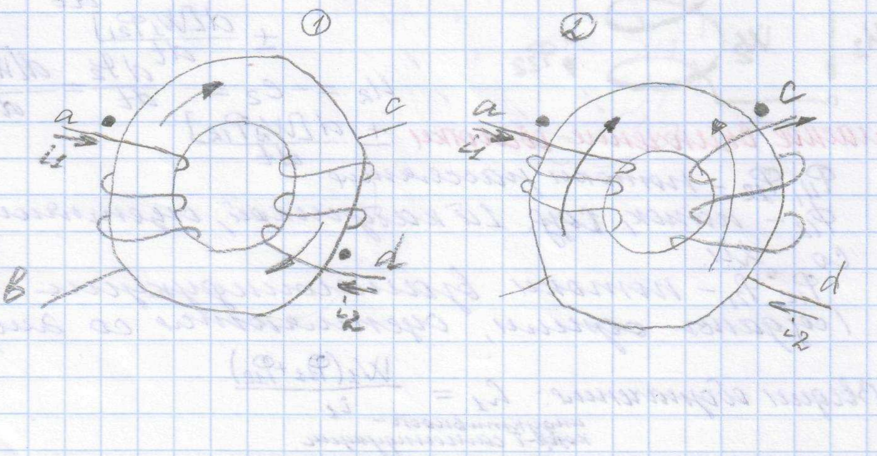
Показатель степени магнитной связи.

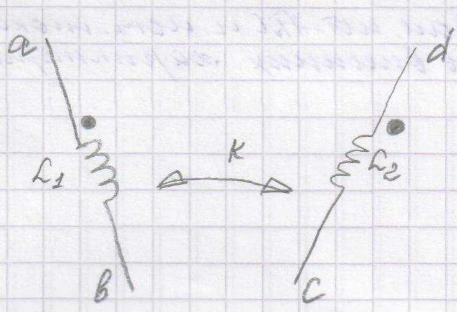
$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \qquad K^2 = \frac{M_{12} \cdot M_{21}}{L_1 L_2} = \frac{\Phi_{12} \cdot \Phi_{21}}{(\Phi_{11}+\Phi_{12})(\Phi_{22}+\Phi_{21})}$$

$$0 \le K \le 1$$

Понятие об одноименных зажимах индуктивно связанных обмоток

Одноименные зажимы обладают св-вом: если по отношению к ним токи в обмотках направлены одинаково, то обеспечивается согласное включение обмоток. Одна пара одноименных зажимов обознач-ся точками, вторая пара (без обозначений) также явл-ся парой одноименных зажимов.

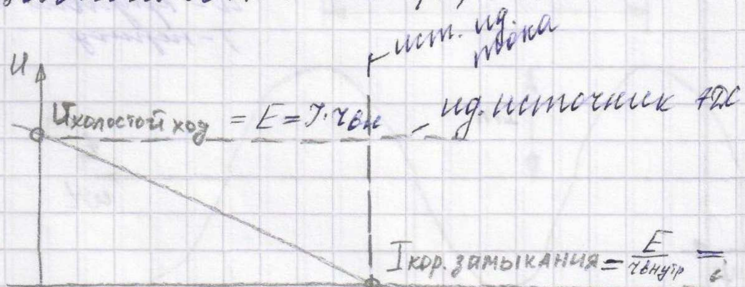


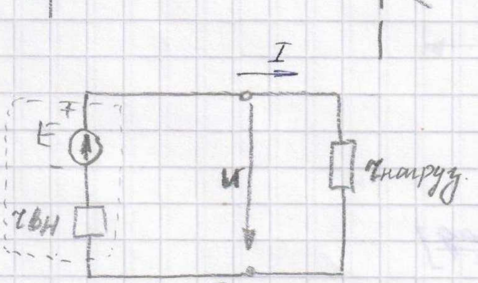


Активные элементы эл. цепи
Источник ЭДС. Источник тока

Внешняя характеристика источника эл. энергии.

зависимость $u = f(i)$ от тока.

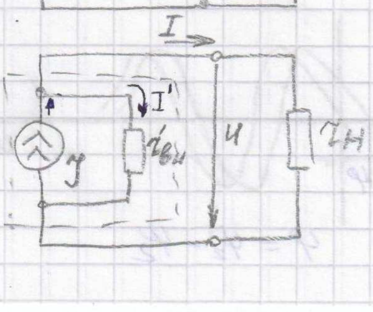




источник ЭДС

$$E = U + I r_н$$

$$\boxed{U = E - I \cdot r_н}$$



источник тока

$$J = I' + I = \frac{U}{r'_{вн}} + I$$

$$J \cdot r'_{вн} = U + I \cdot r'_{вн}$$

$$\boxed{U = J \cdot r'_{вн} - I\, r'_{вн}}$$

Условие эквивал. ист. ЭДС и ист. тока:
идентичность внешних характеристик.

$$\boxed{r_{вн} = r'_{вн}}$$

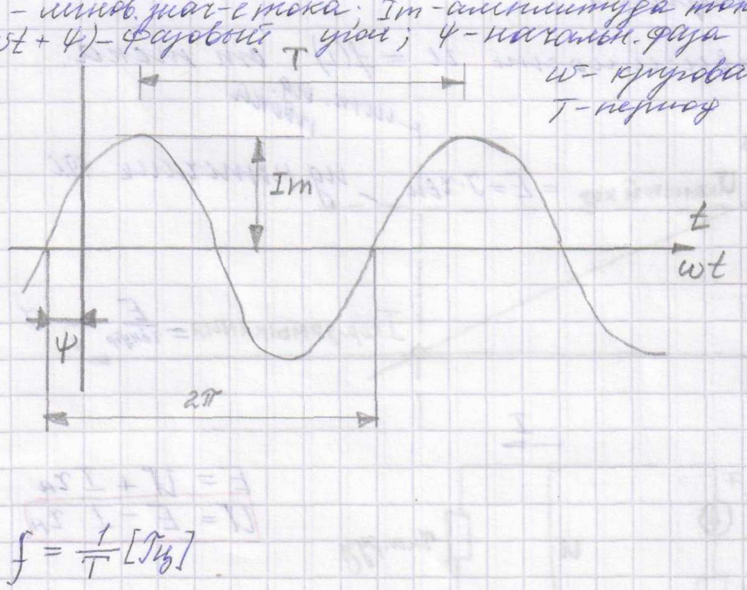
$$E = J \cdot r_{вн}$$

$$\boxed{J = \frac{E}{r_{вн}}}$$

28.09.07. **Электрич. цепи переменного синусоидального тока.**

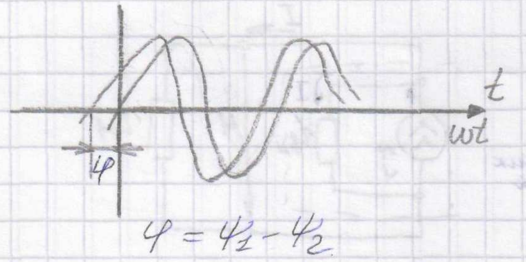
$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

i – мгнов. знач-е тока; I_m – амплитуда тока
$(\omega t + \psi)$ – фазовый угол; ψ – начальн. фаза
ω – круговая частота
T – период



$$f = \frac{1}{T} [Гц]$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \left[\frac{рад}{с}\right]$$



$$\varphi = \psi_1 - \psi_2$$

$$\boxed{I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I_m^2 \sin^2\omega t\cdot dt}$$

$$\int_0^T \sin^2\omega t\cdot dt = \int_0^T \frac{1}{2}dt + \underbrace{\int_0^T \frac{1}{2}\cos 2\omega t\,dt}_{=0} = \frac{T}{2};$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\cdot I_m^2\cdot\frac{T}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

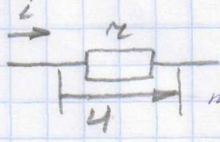
$$\boxed{I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}}$$

Действующее значение переменного тока I.

Среднее квадратич. или эффективное значение

I_m – амплитудное значение.

Определим энергию, выделяемую в виде тепла в сопротивлении R за от переменного тока за время T.



$$A_{\sim} = \int_0^T p(t)\,dt = \int_0^T i^2(t)\cdot r\,dt = r\int_0^T i^2(t)\,dt = r\cdot I_m^2\cdot\frac{T}{2}$$

переменный ток

За то же время, но при постоянном токе

$$A_{=} = \int p(t)\,dt = \int_0^T I_n^2\cdot r\,dt = I_n^2\cdot r\cdot T$$

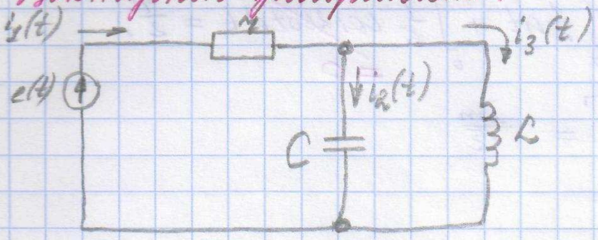
постоянный ток   постоянный ток

$$r I_m^2\frac{T}{2} = r I_n^2\cdot T$$

$$I_n^2 = \frac{I_m^2}{2}$$

$$\boxed{I_n = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = I}$$ – с точки зрения энергии.

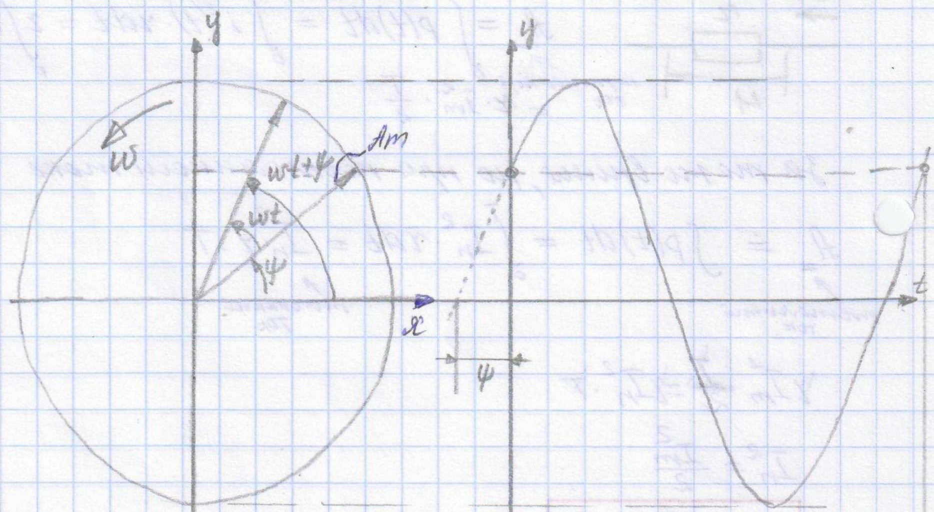
Представление синусоидально изменяющихся величин с помощью вращающихся векторов. Векторные диаграммы.



$$e(t) = E_m \cdot \sin(\omega t + \psi)$$

$$\begin{cases} i_1(t) = i_2(t) + i_3(t) \\ i_1(t)\, r + \frac{1}{C}\int i_2(t)dt = E_m \sin(\omega t + \psi) \\ i_1(t) \cdot r + L\frac{di_3(t)}{dt} = E_m \sin(\omega t + \psi) \end{cases}$$

с-ма диф.ур-ий с синусоидальной правой частью.

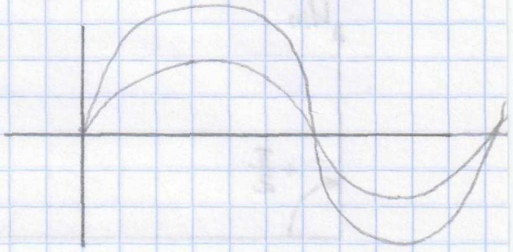


$$a_y = A_m \sin(\omega t + \psi)$$

Совокупность изображающих синусоиду в-ров зафиксированные в момент $t = 0$ — это векторная диаграмма данной цепи.

Активное сопротивление в цепи переменного тока.

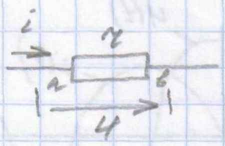
$u(t) = i(t) \cdot r$



$i(t) = I_m \sin \omega t$

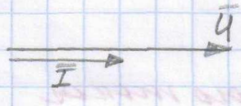
$u(t) = r I_m \cdot \sin \omega t$

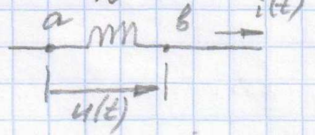
$U_m = r \cdot I_m$



$\boxed{U = r \cdot \bar{I}}$

$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0$





$u(t) = L \cdot \frac{di}{dt}$

$i(t) = I_m \cdot \sin \omega t$

$u(t) = \omega L \cdot I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$

$U_m = \omega \cdot L \cdot I_m$

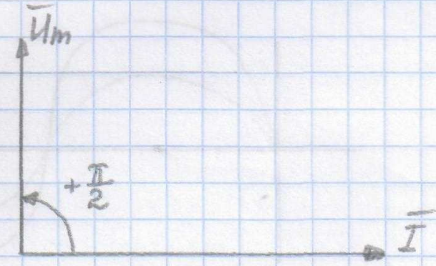
$\boxed{x_L = \omega L}$ $\left[\frac{1}{c} \cdot Ом \cdot c\right] = [Ом]$

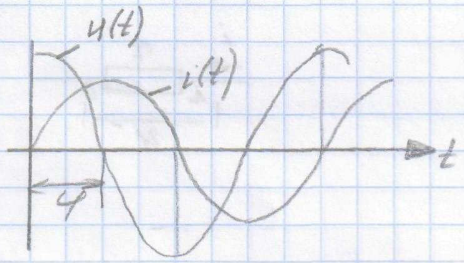
индуктивное сопротивление участка цепи переменного тока.

$U_m = x_L \cdot I_m$

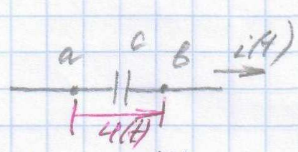
$U = x_L \cdot I$

$\varphi = \psi_u - \psi_i = \frac{\pi}{2} - 0 = +\frac{\pi}{2}$





Емкость цепи переменного тока.



$i = C \cdot \frac{du}{dt}$

$u(t) = U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$

$i = \omega C U_m \sin \omega t$

$I_m = \omega C U_m$

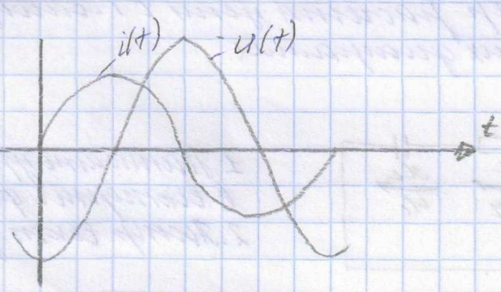
$U_m = \frac{1}{\omega C} \cdot I_m$

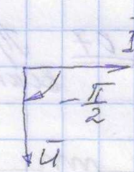
емкостное сопротивление участка цепи переменного тока $- X_C$.

$\boxed{x_C = \frac{1}{\omega C}}$

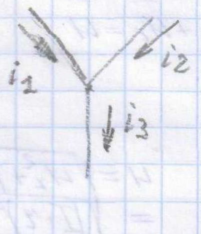
$\boxed{U = x_C \cdot I}$

$\psi_u - \psi_i = -\frac{\pi}{2} - 0 = -\frac{\pi}{2}$





Законы Кирхгофа в векторной форме.

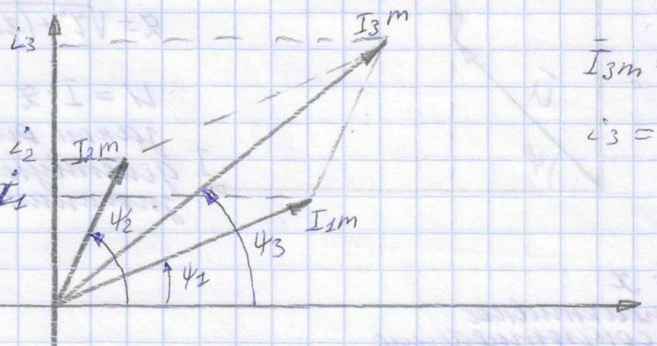


$i_3(t) = i_1(t) + i_2(t)$

$i_1(t) = I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1)$

$i_2(t) = I_{2m} \sin(\omega t + \psi_2)$

$i_3(t) = I_{3m} \sin(\omega t + \psi_3)$



$\bar{I}_{3m} = \bar{I}_{1m} + \bar{I}_{2m}$

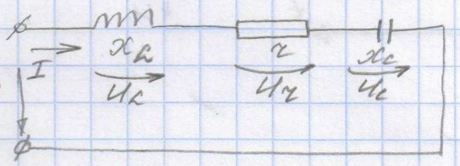
$i_3 = i_1 + i_2.$

$\sum_{k=1}^{n} \bar{I}_k = 0$

Геом. сумма в-ров, изобр-их токи, $= 0$.

$$\boxed{\sum_{k=1}^{n} \bar{E}_k = \sum_{k=1}^{m} \bar{U}_k}$$

Об. 10.07 Пример расчета цепи с помощью векторных диаграмм.



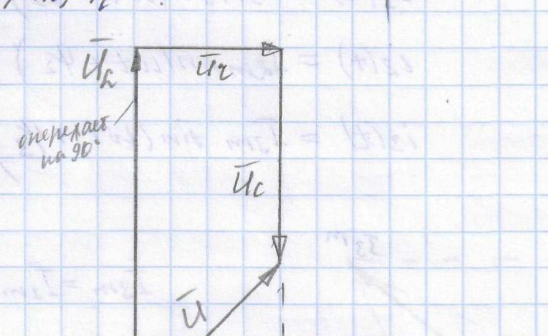
1. Написать ур-ия в векторной форме
2. Постр. вект. диаграмму

$x_L = 7 (Ом)$, $r = x_C = 3 (Ом)$
$U = 100 (В)$

$I - ?$
$U_r, U_L, U_C = ?$

$$\bar{U}_L + \bar{U}_r + \bar{U}_C - \bar{U} = 0$$

$$\bar{U}_L + \bar{U}_r + \bar{U}_C = \bar{U}$$



$$U = \sqrt{U_r^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(I \cdot r)^2 + (I x_L - I x_C)^2} = I \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}$$

$$U = I \cdot Z$$

закон Ома для действующих значений.

$x_L - x_C = x$
реактивное сопротивление индуктивного/емкостного хар-ра.

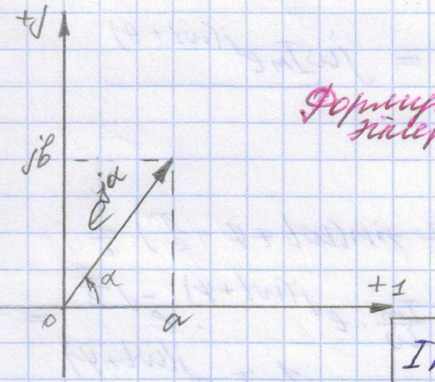
$$Z = \sqrt{3^2 + (7-3)^2} = 5 (Ом)$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{100}{5} = 20 (А)$$

$$U_L = I \cdot x_L = 20 \cdot 7 = 140 \ (В).$$

$U_C = U_r = 20\cdot 3 = 60\,(B)$

Метод комплексных амплитуд (комплексный, или символический метод)



$j = \sqrt{-1}$

Формула Эйлера $\boxed{e^{j\alpha} = \cos\alpha + j\sin\alpha = a + jb}$

пусть $\alpha = \omega t + \psi$

$$I_m e^{j(\omega t+\psi)} = I_m\cos(\omega t+\psi) + j I_m \sin(\omega t+\psi)$$

$$\boxed{I_m \sin(\omega t+\psi) \doteqdot I_m e^{j(\omega t+\psi)} = \underbrace{\underline{I_m e^{j\psi}}}_{\text{комплексная амплитуда}}\cdot \underbrace{e^{j\omega t}}_{\text{множитель поворота}}}$$

„$\doteqdot$" – имеет своим изображением

знак соответствия, а не „равно"

комплексная амплитуда

$$\dot I_m = I_m\cdot e^{j\psi}$$

$$\dot I = \frac{I_m}{\sqrt2}\cdot e^{j\psi} = \underbrace{I\cdot e^{j\psi}}_{\text{комплексное действующее значение}}$$

Теорема линейности.

Если $I_{1m}\sin(\omega t+\psi_1) \doteqdot I_{1m}\cdot e^{j(\omega t+\psi_1)}$,

$I_{2m}\sin(\omega t+\psi_2) \doteqdot I_{2m}\cdot e^{j(\omega t+\psi_2)}$,

$k = const$, то

$$k\cdot I_{1m}\sin(\omega t+\psi_1) \doteqdot kI_{1m} e^{j(\omega t+\psi_1)}$$

$$\pm I_{1m}\sin(\omega t+\psi_1) \pm I_{2m}\sin(\omega t+\psi_2) \doteqdot \pm I_{1m} e^{j(\omega t+\psi_1)} \pm I_{2m} e^{j(\omega t+\psi_2)}$$

Теорема дифференцирования.

Если $I_m \sin(\omega t+\psi) \doteq I_m e^{j(\omega t+\psi)}$

$$\frac{di(t)}{dt} \doteq ?$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \omega I_m \sin\left(\omega t+\psi+\frac{\pi}{2}\right) \doteq \omega I_m e^{j(\omega t+\psi+\frac{\pi}{2})} =$$

$$= \omega I_m e^{j(\omega t+\psi)} \cdot e^{j\frac{\pi}{2}} = \underline{j\omega I_m e^{j(\omega t+\psi)}}$$

$$\int i(t)dt \doteq ?$$

$$\int I_m \cdot \sin(\omega t+\psi) = \frac{I_m}{\omega} \sin\left(\omega t+\psi-\frac{\pi}{2}\right) \doteq$$

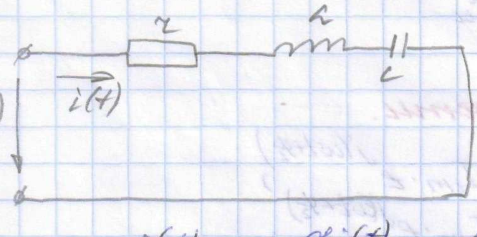
$$\doteq \frac{I_m}{\omega} e^{j(\omega t+\psi-\frac{\pi}{2})} = \frac{I_m}{\omega} \cdot e^{j(\omega t+\psi)} \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}} =$$

$$= -j\frac{1}{\omega} I_m \cdot e^{j(\omega t+\psi)} = \frac{1}{j\omega} I_m e^{j(\omega t+\psi)}$$

12.10.07

$$i(t) = I_m \sin(\omega t+\psi_i) \doteq I_m e^{j(\omega t+\psi_i)} = I_m e^{j\psi_i} \cdot e^{j\omega t}$$

$$u(t) = U_m \sin(\omega t+\psi_u) \doteq U_m e^{j(\omega t+\psi_u)} = U_m \cdot e^{j\psi_u} \cdot e^{j\omega t}$$



$$r \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C}\int i(t)dt = u(t).$$

Перейдем к уравнению для комплексных изображений.

$$\underbrace{r \cdot I_m e^{j\psi_i} \cdot e^{j\omega t}}_{\text{изоб-е 1го слаг.}} + j\omega L \cdot I_m e^{j\psi_i} \cdot e^{j\omega t} +$$

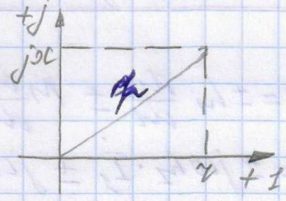
$$+\frac{1}{j\omega C}\cdot I_m e^{j\psi_i}\cdot e^{j\omega t} = U_m e^{j\psi_u}\cdot e^{j\omega t}$$

$$r\cdot \dot I_m + j\omega L\cdot \dot I_m - j\frac{1}{\omega C}\cdot \dot I_m = \dot U_m$$

$$\dot I_m\cdot\left(r + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}\right) = \dot U_m$$

$$\boxed{\dot I\,(r + jx_L - jx_C) = \dot U}$$

$$Z = r + j(x_L - x_C) = r + jx$$



$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}$$

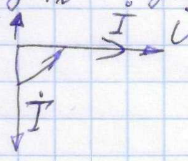
$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{x}{r}$$

$$Z = z\cdot e^{j\varphi}$$

$$Z = ze^{j\varphi} = z\cos\varphi + jz\sin\varphi = r + jx$$

$$\frac{100}{x_L} = \frac{100}{10} = 10$$

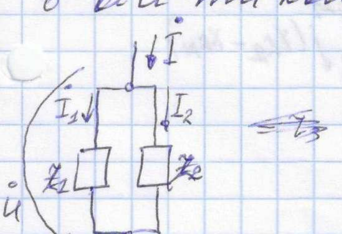
$$\frac{100}{jx_L} = \frac{100}{j10} = -j10$$



$$\sum_{k=1}^{n} \dot I_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{n} \dot E_k = \sum_{k=1}^{m} \dot U_k$$

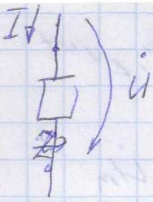
Любые методы расч, справедливость к-х док-на для цепей пост. тока, м.б. применены для расч. цепей перем тока, если расчет провод-ся в обл-ти комплексных изображ-ий.



$$I_1 = \frac{U}{r_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{r_2} \Rightarrow I = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2}$$

$\Rightarrow$

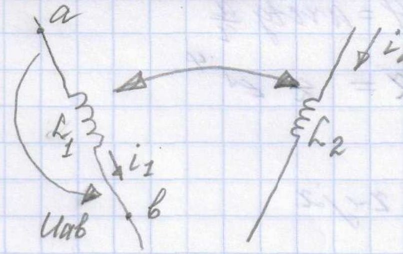


$$I = \frac{U}{r_Э}$$

$$\frac{1}{r_Э} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

Расчет цепей в компл. ф. м. осущ-ся для цепей пост. тока и перем. тока (алгебра действ. чисел заменяется алгеброй комплексных чисел).

Применение комплексного метода при наличии взаимоиндуктивных связей м/у обмотками.

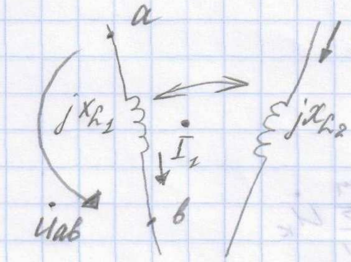


$$\pm u_{ab} = \pm L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$$

$$\pm \dot{U}_{ab} = \pm j\omega L_1 \cdot \dot{I}_1 \pm j\omega M \cdot \dot{I}_2$$

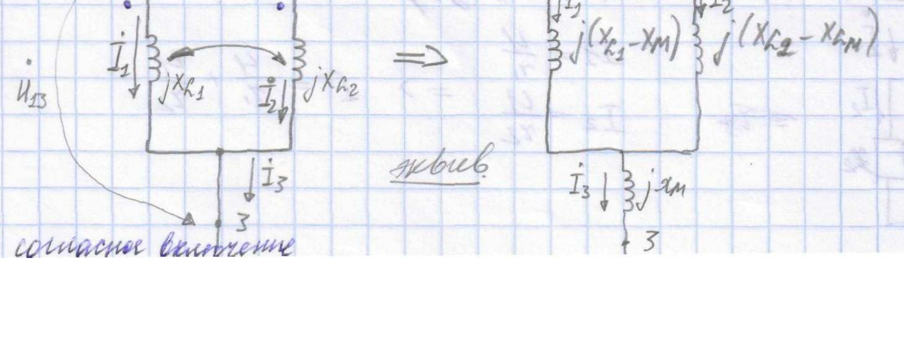
$$\pm \dot{U}_{ab} = \pm j x_{L_1} \cdot \dot{I}_1 \pm j x_M \cdot \dot{I}_2$$

$$\boxed{\begin{aligned} \omega L_1 &= x_{L_1} \\ \omega M &= x_M \end{aligned}}$$



в изображении (комплексах)

Метод экв. преобраз-ий цепей перем. тока со взаимоиндукцией (метод магн. развязки).



согласное включение

исх: $\dot I_3 = \dot I_1 + \dot I_2$

$\dot I_1 jx_{L1} + \dot I_2 jx_M = \dot U_{13}$ – напряж-е на 1ой катушке

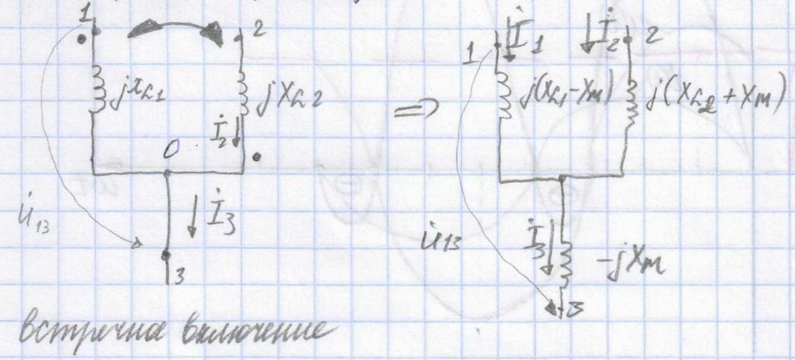
экв: $\dot I_3 = \dot I_1 + \dot I_2$

$\dot I_1 j(x_{L1} - x_M) + \dot I_3 jx_M = \dot U_{13}$

$$\dot I_1 j\cdot x_{L1} - \cancel{\dot I_1 jx_M} + \cancel{\dot I_1 jx_M} + \dot I_2 \cdot jx_M = \dot U_{13}$$

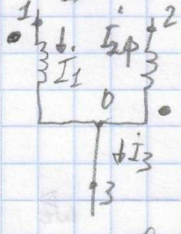
Аналогично м. док-ть идентичность ур-ий 2х схем для $\dot U_{12}$ и $\dot U_{23}$

II вариант развязки



встречное включение

Примеч. 1й или 2й способ развязки опр-ся только способом включения зажимов в общей точке 0 (одноименные или разноименные) и никак и не опр-ся способом включения обмоток (согласн. или встречным;



согласное включ-е

19.10.07. **Мощности в цепях переменного тока.**

Мгнов. мощность $\boxed{p(t) = u(t) \cdot i(t)} = U_m \sin(\omega t + \varphi) \cdot I_m \sin\omega t =$

$i(t) = I_m \sin\omega t$

$u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$

$\varphi = \psi_u - \psi_i = \psi_u - 0 = \psi_u$

$= U_m I_m [(\sin\omega t \cdot \cos\varphi + \sin\varphi \cdot \cos\omega t) \sin\omega t] =$

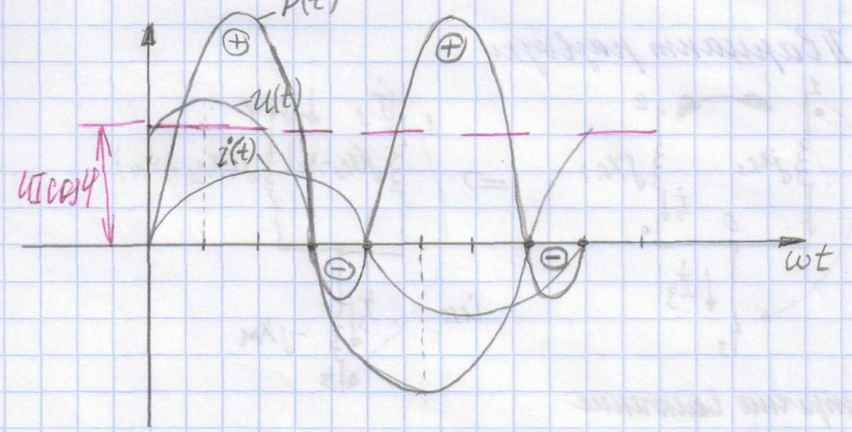
$= U_m I_m [\cos\varphi \cdot \sin^2\omega t + \sin\varphi \cdot \sin\omega t \cdot \cos\omega t] =$

$= \frac{U_m I_m}{2} \cdot [\cos\varphi(1 - \cos 2\omega t) + \sin\varphi \cdot \sin 2\omega t] =$

$= UI\cos\varphi - UI[\cos\varphi \cdot \cos 2\omega t + \sin\varphi \sin 2\omega t] =$

$= UI\cos\varphi - UI\cos(2\omega t + \varphi) =$

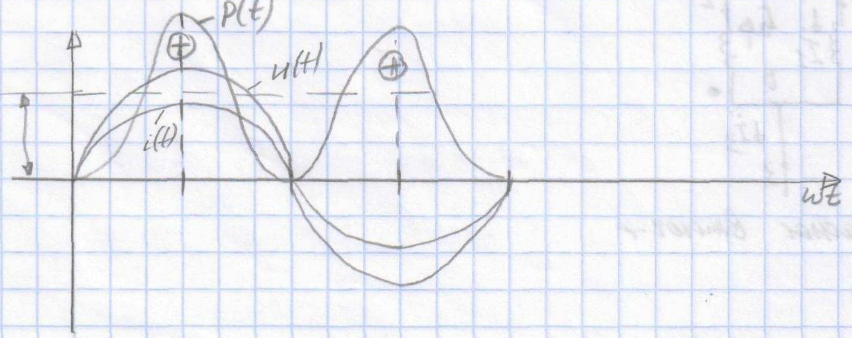
$= UI\cos\varphi + UI\sin(2\omega t - \frac{\pi}{2})$



p(t) – синусоида двойной частоты, поднятая наверх на const $UI\cos\varphi$

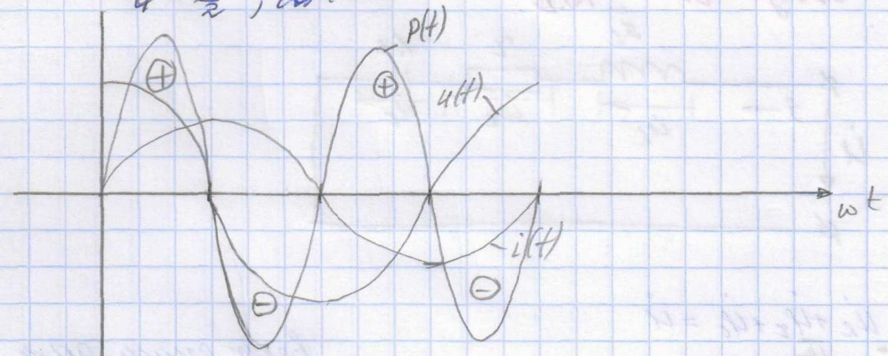
Частные случаи: 1) чисто активная нагрузка

$\varphi = 0$; $\cos\varphi = 1$;



2) чисто реактивная нагрузка (индуктивная)

$\varphi = \frac{\pi}{2}$; $\cos\varphi = 0$



Активная мощность P – сред. значение мгнов. мощности за период T.

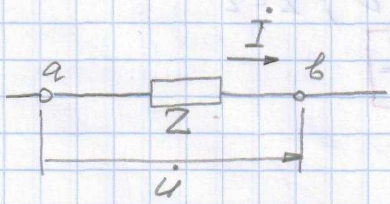
$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt = UI\cos\varphi \qquad [В \cdot А] = [Вт]$$

$$Q = UI\sin\varphi \qquad [В \cdot А] = [ВАР]$$

реактивн. мощн. Вольт-ампер реактивный

$$S = UI \quad [В \cdot А]$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



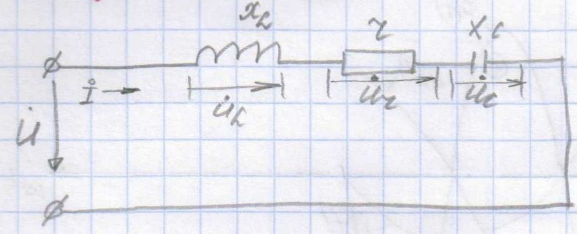
Опред-е мощностей по рез-там расчета комплексным методом.

$$\dot{S} = \dot{U} \cdot \overset{*}{I} = U \cdot e^{j\psi_u} \cdot I \cdot e^{-j\psi_i} = UI \cdot e^{j(\psi_u - \psi_i)} =$$

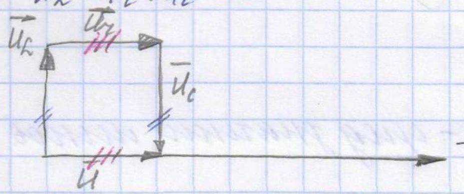
$$= UIe^{j\varphi} = UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi = P + jQ$$

Резонансные явления

① Резонанс напряж-я в цепи с последоват. соед-ем RLC



$\dot U_L + \dot U_r + \dot U_C = \dot U$



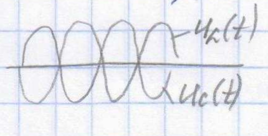
вект. диагр. для режима резонансного напряжения

$\dot I \cdot jx_L + \dot I \cdot r + \dot I \cdot (-jx_C) = \dot U$

Признаки резонанса напряжений

$\dot I\,[r + j(x_L - x_C)] = \dot U$

1) $\dot U_L = -\dot U_C$; $U_L = U_C$; $\dot U_r = \dot U$



2) $x_L = x_C$; $x = x_L - x_C = 0$; $Z = r$

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

резонансная частота

3) $\dot I = \frac{\dot U}{Z} = \frac{\dot U}{r}$

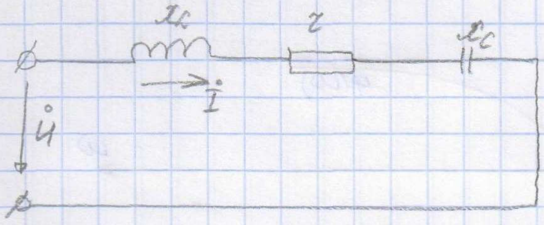
4) $\varphi = 0$; $\cos\varphi = 1$, $\sin\varphi = 0$

5) $P = UI\cos\varphi = UI = S$ полн. мощность

$Q = UI\sin\varphi = 0$,

Частотные хар-ки и резонансные кривые для цепи RLC.

26.10.07



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

$z(\omega) \rightarrow$ АЧХ ; $\varphi(\omega) =$ ФЧХ

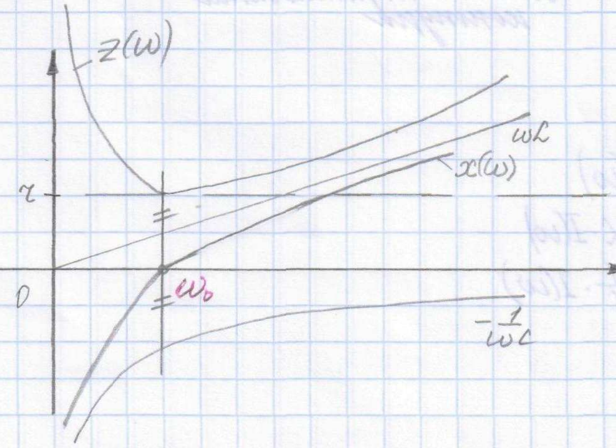
амплитудночастотная хар-ка   фазочастотн. хар-ка

$$\dot I = \frac{\dot U}{r + j(x_L - x_C)}$$

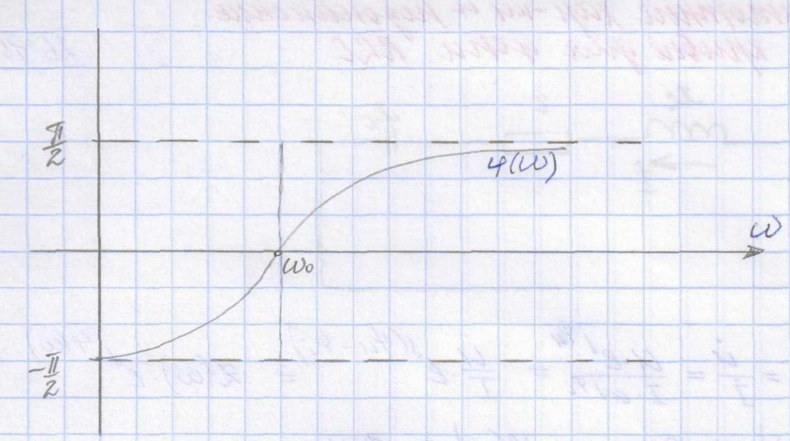
$$Z = \frac{\dot U}{\dot I} = r + j(x_L - x_C) = \overbrace{\sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}}^{\text{АЧХ}} \cdot e^{\overbrace{j\,\mathrm{arctg}\,\frac{x_L - x_C}{r}}^{\text{ФЧХ}}}$$

$$z(\omega) = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad \text{АЧХ}$$

$$\varphi(\omega) = \mathrm{arctg}\,\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r} \quad \text{ФЧХ}$$



При резонансе $z(\omega) = r$, сопротивление миним, ток макс.



Введем понятие добротности контура.

$$Q = \frac{U_{L0}}{U_{r0}} = \frac{U_{C0}}{U_{r0}} = \frac{U_{L0}}{U_{входное}} = \frac{U_{C0}}{U_{входное}} =$$

„$_0$" - в режиме резонанса

При резонансе $U_{L0} = U_{C0}$; $U_{r0} = U_{входное}$

$$= \frac{I \cdot \omega_0 L}{I \cdot r} = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{L}{r\sqrt{LC}} = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{r} = \frac{\rho}{r}$$

$$\boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}} \qquad \boxed{\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad [Ом]}$$

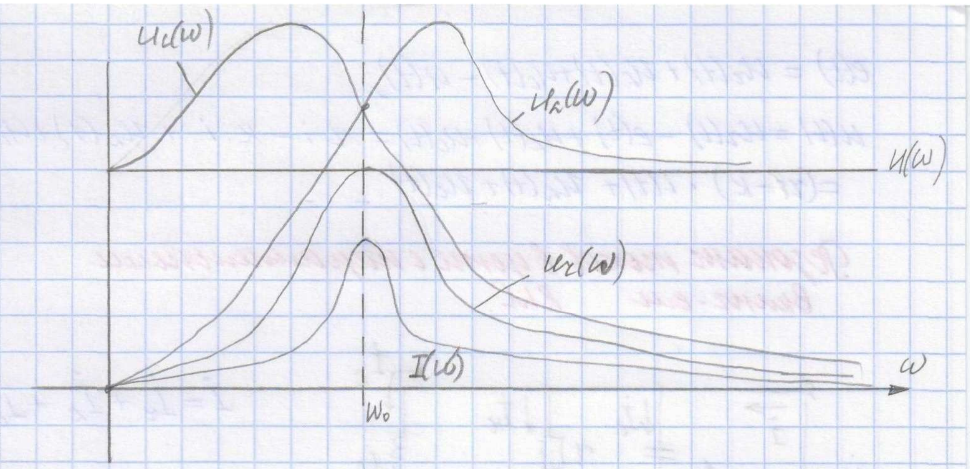
волновое сопротивление контура

$I(\omega)$

$U_r(\omega) = r\,I(\omega)$

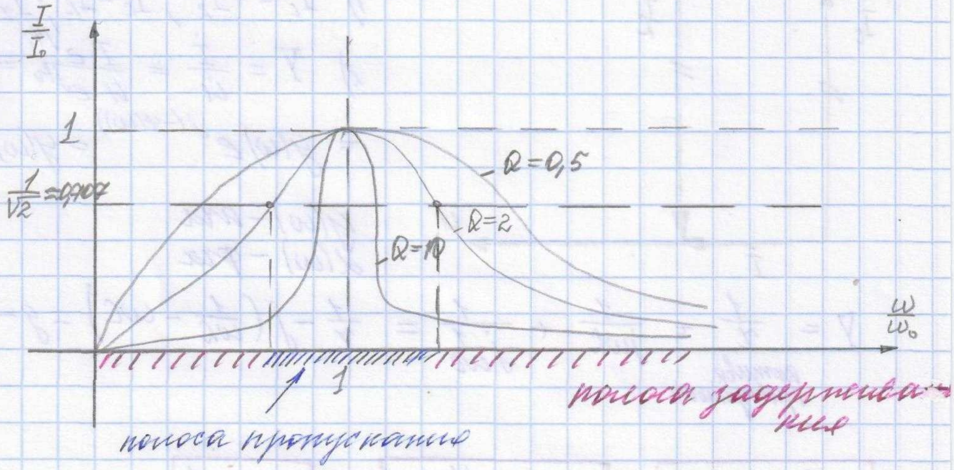
$U_L(\omega) = \omega L \cdot I(\omega)$

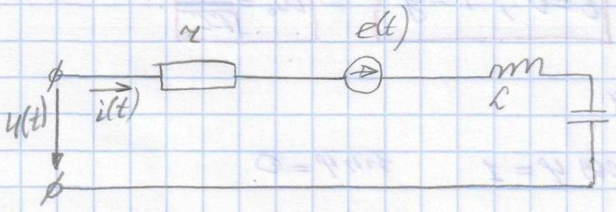
$U_C(\omega) = \frac{1}{\omega C} \cdot I(\omega)$



Резонансные кривые тока в относительных единицах.

вместо частоты берут $\frac{\omega}{\omega_0}$, вместо I $\frac{I}{I_0}$





$e(t) = k \cdot i(t)$

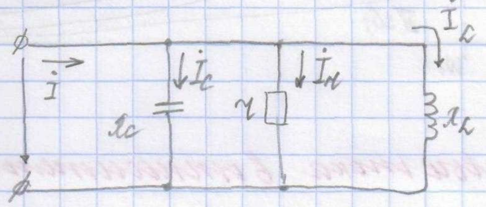
$k = const$

источник напряжения, управляемый током.

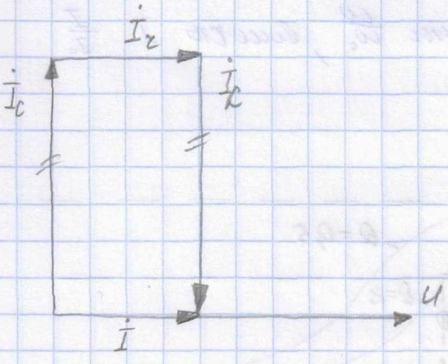
$e(t) = u_r(t) + u_L(t) + u_C(t) - u(t);$

$u(t) = u_r(t) - e(t) + u_L(t) + u_C(t) = r \cdot i - k \cdot i + u_L(t) + u_C(t) =$
$= (r - k) \cdot i(t) + u_L(t) + u_C(t).$

Резонанс токов в цепи с параллельным включением RLC.



$\dot I = \dot I_r + \dot I_L + \dot I_C$



1) $\dot I_C = -\dot I_L$; $I_C = I_L$; $\dot I_r = I$

2) $Y = \frac{\dot I}{\dot U} = \frac{I \cdot e^{j\psi_i}}{U \cdot e^{j\psi_u}} = \frac{I}{U} e^{j(\psi_i - \psi_u)} =$
$= y(\omega) e^{j(-\varphi(\omega))} = y(\omega) \cdot e^{j\alpha(\omega)}$

$y(\omega)$ – АЧХ
$\alpha(\omega)$ – ФЧХ

$Y = \frac{1}{r} + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{-j\frac{1}{\omega C}} = \frac{1}{r} - j\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right) = g - ib$

активн. проводимость

$\boxed{\frac{1}{\omega_0 L} = \omega_0 C}$ $\boxed{b = 0;\ Y = g}$ $\boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$

реактивные проводимости

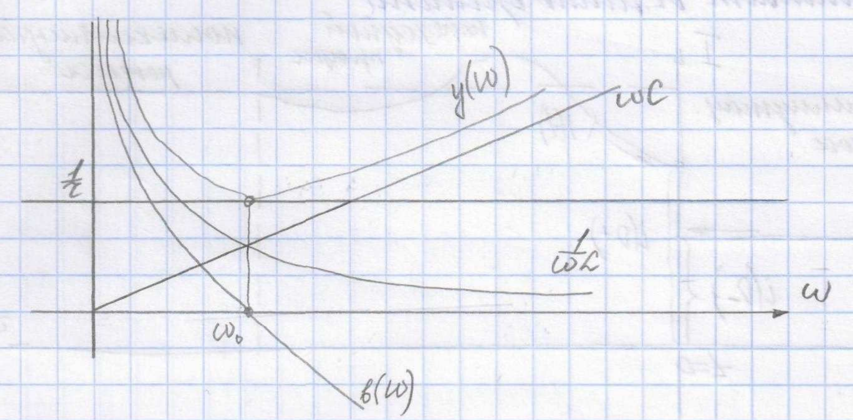
3) $\boxed{\varphi = 0}$ $\cos\varphi = 1$ $\sin\varphi = 0.$

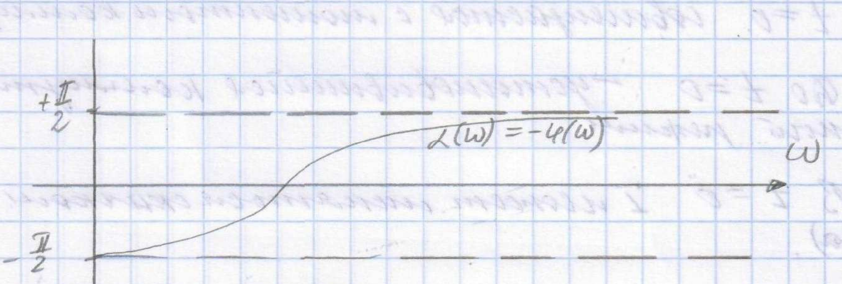
4) $P = UI\cos\varphi = UI = S$; $Q = UI\sin\varphi = 0$

Частотные хар-ки цепи.

$$y(\omega) = \sqrt{\left(\frac{1}{r}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

$$\alpha(\omega) = \operatorname{arctg}\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) r$$

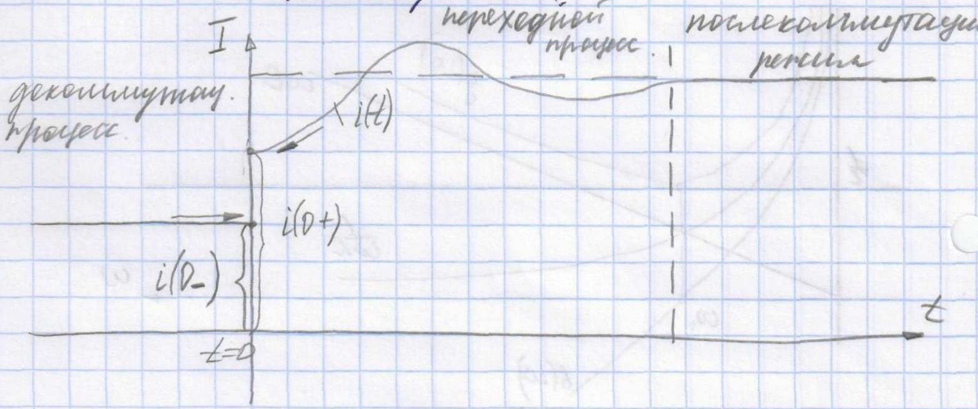




Резонансные кривые токов при питании от источника ~~ЭДС в соотв.~~ в своих масштабах повторяют кривые соответствующих проводимостей.

2.11.07 **Переходные процессы в линейных электрических цепях.**

Перех. процессы начинаются с момента коммутации – любого переключения в цепи (включ-е к источ. питания, отключение). Занимает оч. мало времени



$t=0$ совмещается с моментом коммутации.

До $t=0$ – установившийся коммутационный режим.

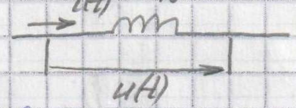
В $t=0$ I может меняться скачком (Iрода).

Значения переменных токов (напряжений), а также их производных в момент $t=0+$ наз-ся начальными условиями переходного процесса.

Нач. условия для тех переменных, кот-е не могут изменяться скачком, наз-ся независимыми, для остальных – зависимыми

Законы коммутации.

1)



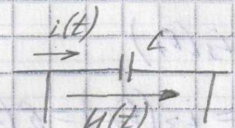
$$p(t) = u(t)\cdot i(t) = i(t)\cdot \frac{d\Psi(t)}{dt} \neq \infty$$

Следовательно, поток сцепления индуктивного контура не может меняться скачком.

$$L = \frac{\Psi}{i}\ ;\ \Psi = L\cdot i,\ L = const$$

$$p(t) = i(t)\cdot L\cdot \frac{di(t)}{dt} \neq \infty$$

2)



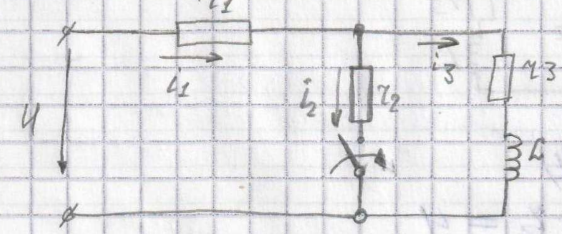
$$p(t) = u(t)\cdot i(t) = u(t)\cdot \frac{dq}{dt} \neq \infty$$

$$C = \frac{q}{U}\ ;\ q = C\cdot U\ ,\ C = const$$

$$p(t) = u(t)\cdot C\cdot \frac{du}{dt} \neq \infty$$

U на ёмкости не может меняться скачком.

Определение зависимых нач. условий.



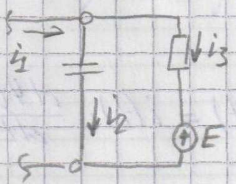
$r_1 = r_2 = r_3 = 10$ (Ом)

$U = 100$ (В) , $L = 0.1$ Гн

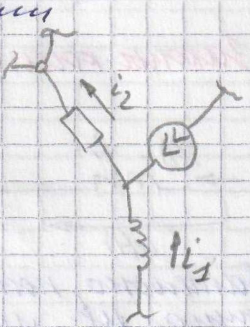
$i_1(0_+) = ?$

Рассчит. докоммут. установивш. режим и определим $i_1(0-)$ и $i_3(0_-)$

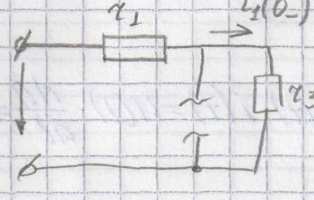
II К законам коммутации



i_3 не может меняться скачком



i_2 не может меняться скачком



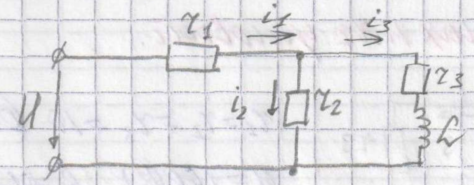
$$i_1(0_-) = i_3(0_-) = \frac{U}{r_1+r_3} = \frac{100}{20} = 5\,(A)$$

$$i_1(0_-) = i_1(0_+)$$

$$i_3(0_-) = i_3(0_+) = 5\,(A)$$

Запишем с-му ур-ий, описывающую переходный процесс в интервале $t \in (0_+; +\infty)$

Ур-ие составляется для цепи после коммутации



$$\begin{cases} i_1(t) = i_2(t) + i_3(t) \\ i_1(t)\cdot r_1 + i_2(t)\cdot r_2 = U \\ i_1(t)\cdot r_1 + i_3(t)\cdot r_3 + L\cdot\dfrac{di_3(t)}{dt} = U \end{cases}$$

Сост. алгебраич. с-му ур-ий для момента $t = (0+)$

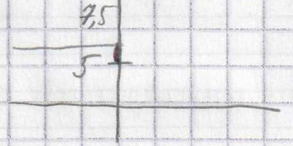
$$\begin{cases} i_1(0_+) = i_2(0_+) + 5 \\ 10\, i_1(0_+) + 10\, i_2(0_+) = 100 \\ 10\, i_2(0_+) + 10\, \underbrace{i_3(0_+)}_{5} + 0{,}1 \cdot \left.\dfrac{di_3(t)}{dt}\right|_{t=0_+} = 120 \end{cases}$$

$$i_2(0_+) = i_1(0_+) - 5$$

$$10\, i_1(0_+) + 10\, i_1(0_+) - 50 = 100$$

$$20\, i_1(0_+) = 150$$

$$i_1(0_+) = 7{,}5\,(A)$$



Расчет перех. процессов классическим методом.

Решение ищется в виде

$$i(t) = i_{принужденное} + i_{свободное} = i_{пр} + \underbrace{A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} + \ldots + A_n e^{p_n t}}_{i_{св}(t)}$$

Если источники питания – ист. пост. тока, перем. син. тока, периодич. несин. тока, понятие принужденной составляющей равнозначно понятию установившегося коммутационного значения переменной (I, U).

Корни характеристич. ур-ие.

9.11.07

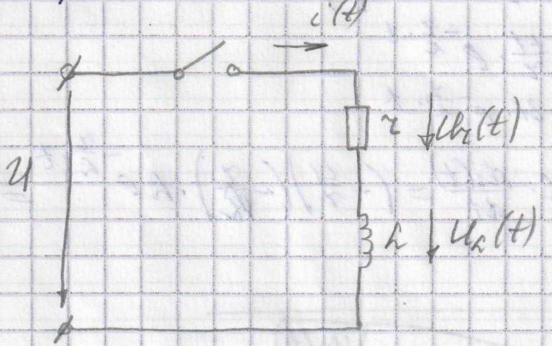
Независ. и завис. нач. условия переходного процесса — это значения токов, напряж-ий и их производных в мом. коммутации, т.е. в мом. $t = 0_+$

Независ. условия — нач. усл. для тех перем, кот-е не могут изменяться скачком. нач. знач-я для ост. — зависимые. Независ. нач. усл-я опр-ся расчетом докоммутационного установившегося режима.

Способ определения зависимых нач. условий (пример выше).

Примеры расчета перех. проц. в цепях I порядка

Включение цепи RL на постоянное напряжение.



$\underline{i(t)}, u_r(t), u_L(t)$

$i(t) = i_{уст} + \underset{\sim}{Ae^{pt}}$

Уравнение для цепи, образовавшейся после коммутации.

$u_r(t) + u_L(t) = U;$

$i(t)\cdot r + L\dfrac{di(t)}{dt} = U;$

Опр. корень характ. ур-ия.

$$p\cdot L + r = 0$$

$$p = -\frac{r}{L}\left[\frac{Ом}{Ом\cdot c}\right] = \left[\frac{1}{c}\right]$$

Введем понятие постоянной времени цепи

$$\tau = -\frac{1}{p} = \frac{L}{r}\ [c]$$

$$i_{уст.} = \frac{U}{r}$$

Независимое нач. усл-е перех. процесса

$$i(0-) = i(0+) = 0;$$

Для $t = 0_+$

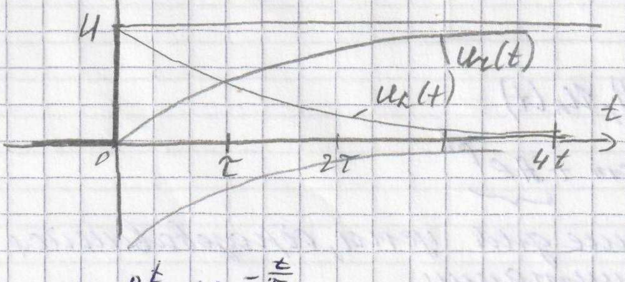
$$i(0+) = i_{уст.} + A$$

$$A = i(0+) - i_{уст} = -\frac{U}{r};$$

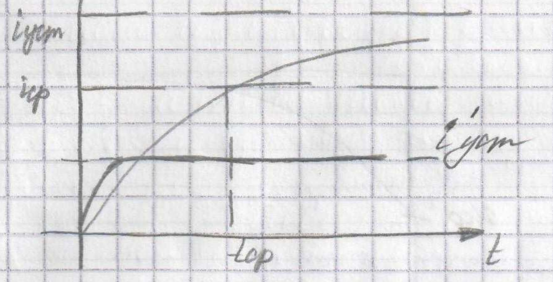
$$i(t) = \frac{U}{r} - \frac{U}{r}\cdot e^{-\frac{r}{L}\cdot t}$$

$$u_r(t) = U - U\cdot e^{-\frac{r}{L}\cdot t}$$

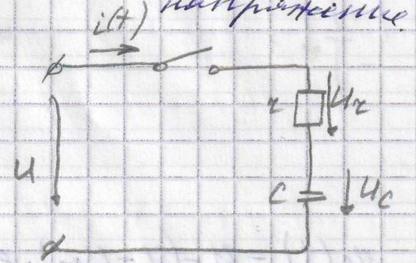
$$u_L(t) = L\cdot\frac{di(t)}{dt} = \left(-\frac{U}{r}\right)\left(-\frac{r}{L}\right)\cdot L e^{-\frac{r}{L}\cdot t} = Ue^{-\frac{r}{L}t}$$



$$Ue^{pt} = Ue^{-\frac{t}{\tau}}$$



Включение цепи R – C на постоянное напряжение



$u_r + u_c = U$

$ir + u_c = U$;

$i = C\cdot\frac{du_c}{dt}$

$r\cdot C\cdot\frac{du_c}{dt} + u_c = U$

$rCp + 1 = 0$

$p = -\frac{1}{rC}$

$\tau = r\cdot C$

$u_c(t) = u_{уст} + Ae^{pt}$

$u_{уст} = U\cancel{u_{уст} + Ae^{pt}}$

$u_c(0-) = u_c(0+) = u_{c0}$

$u_c(t) = U + Ae^{pt}$

при $t = 0_+$;

$u_c(0+) = u_{c0} = U + A$;

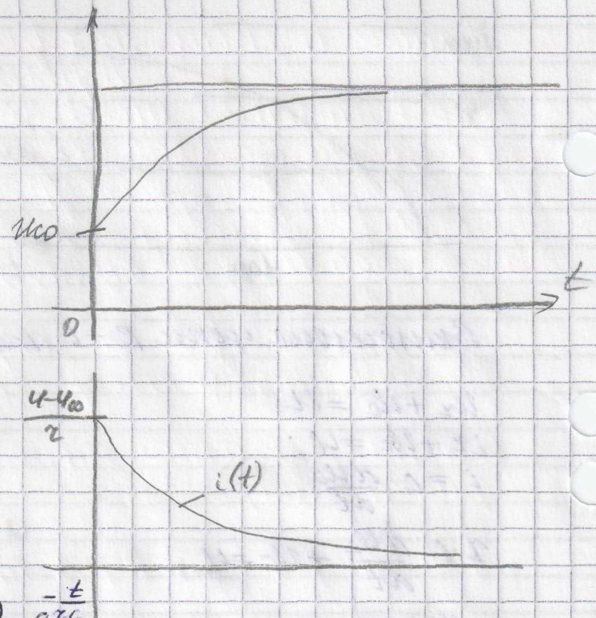
$A = -(U - u_{c0})$

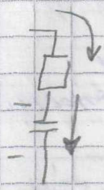
$u_c(t) = U - (U - u_{c0})\cdot e^{-\frac{t}{rC}}$

$i(t) = C\cdot\frac{du_c(t)}{dt} = -(U - u_{c0})\left(-\frac{1}{rC}\right)\cdot C$

$i(t) = \frac{U - u_{c0}}{r}\cdot e^{-\frac{t}{rC}}$

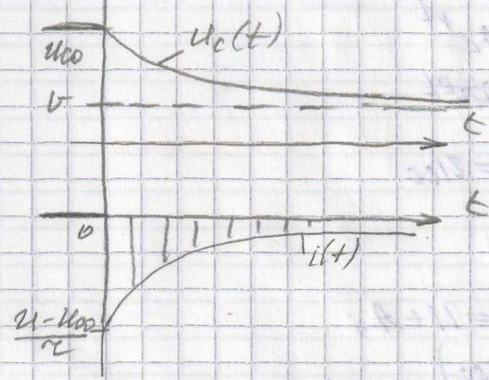
а) $U > U_{c0}$





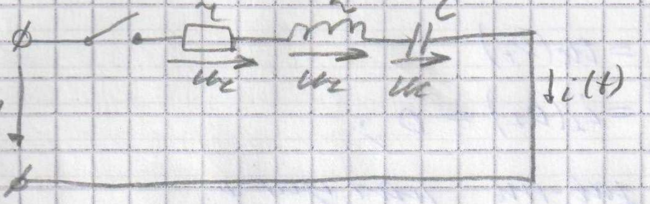
$$u_c(t) = U - (U - U_{c0}) \cdot e^{-\frac{t}{rc}}$$

б) $U < U_{c0}$



Переходные процессы в цепях II-го порядка

Включение цепи RLC на пост. напряж-е



$$u_r + u_L + u_C = U$$

$$i(t)\, r + L\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C}\int i(t)\,dt = U.$$

$$r\frac{di(t)}{dt} + L\frac{d^2 i(t)}{dt^2} + \frac{i(t)}{C} = \frac{dU}{dt}$$

$$Lp^2 + rp + \frac{1}{C} = 0;$$

$$p^2 - \frac{rp}{L} + \frac{1}{LC} = 0;$$

$$p_{1,2} = -\frac{r}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{r}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

$$\boxed{\frac{r}{2L} = \delta}$$

$$\frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$$ резонансная частота

$$\boxed{p_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}}$$

$$i(t) = i_{пр} + \underbrace{A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}}_{i_{св}(t)}$$

$$\boxed{i_{пр} = 0}$$

принужденное

16.11.07.

$$\frac{di(t)}{dt} = P_1 A_1 e^{P_1 t} + P_2 A_2 e^{P_2 t}$$

$u_c(0-) = u_c(0+)$

$i_1(0-) = i_2(0+) = 0$;

Найдем зав-ть нач. усл-я.

$$\left.\frac{di(t)}{dt}\right|_{t=0+} = \frac{u - u_{c0}}{L}$$

$$\underset{0}{i(0+)} \cdot r + L\left.\frac{di(t)}{dt}\right|_{t=0} + \underset{u_{c0}}{u_c(0+)} = 0$$

Найдем A_1, A_2.

При $t = 0_+$;

$0 = A_1 + A_2$;

$$\frac{u - u_{c0}}{L} = P_1 A_1 + P_2 A_2;$$

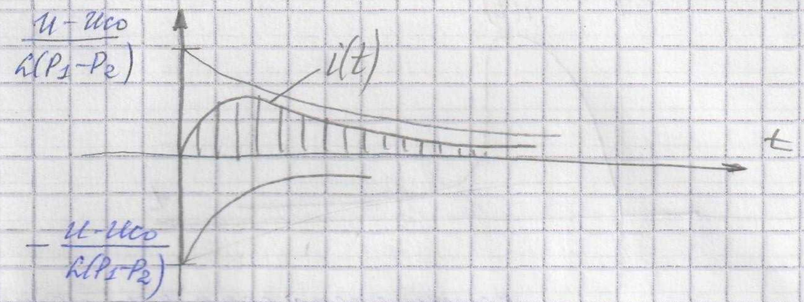
$$A_1 = -A_2 = \frac{u - u_{c0}}{L(P_1 - P_2)}$$

$$i(t) = \frac{u - u_{c0}}{L(P_1 - P_2)} \cdot \left(e^{P_1 t} - e^{P_2 t}\right) = \frac{u - u_{c0}}{2L\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} \cdot \left(e^{P_1 t} - e^{P_2 t}\right)$$

1) корни действит.-отриц.-и разные

апериодич. процесс $\delta > \omega_0$; $\frac{r}{2L} > \frac{1}{\sqrt{LC}}$; $r > \frac{2L}{\sqrt{LC}} > 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} > 2\rho$

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



2) случай кратных корней → неопр-ть $\frac{0}{0}$.

одинак. отриц. корни

$p_1=p_2=-\delta$; предельно-периодич. процесс

$\delta=\omega_0$

$\frac{r}{2L}=\frac{1}{\sqrt{LC}}$; $r=\frac{2L}{\sqrt{LC}}=2\cdot\sqrt{\frac{L}{C}}=2\rho$

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

В этом случае реш-е ищем в форме:

$$\boxed{i(t)=i_{пр}+(A_1+A_2\cdot t)\cdot e^{-\delta t}}$$

$i_{пр}=0$;

$$\frac{di(t)}{dt}=A_2e^{-\delta t}+(-\delta)(A_1+A_2\cdot t)e^{-\delta t}$$

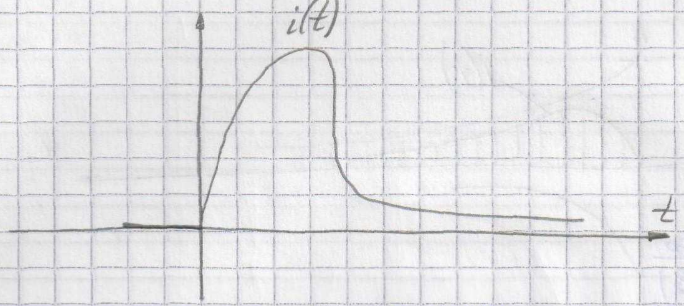
при $t=0_+$;

$i_{пр}=0$

$0=A_1$

$$\frac{U-U_{c0}}{L}=A_2$$

$$i(t)=\frac{U-U_{c0}}{L}\cdot t\cdot e^{-\delta t}$$



комплексно-сопр. кор. с отриц. действит. частью.

3) Колебательный проц.

$\delta < \omega_0$; $\frac{r}{2L} < \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $r < \frac{2L}{\sqrt{LC}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 2\rho$

$i(t) = i_{пр} + A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$

$p_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} = -\delta \pm \sqrt{(-1)(\omega_0^2 - \delta^2)} =$

$= -\delta \pm j\omega$

$\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \omega$ частота своб. колебаний.

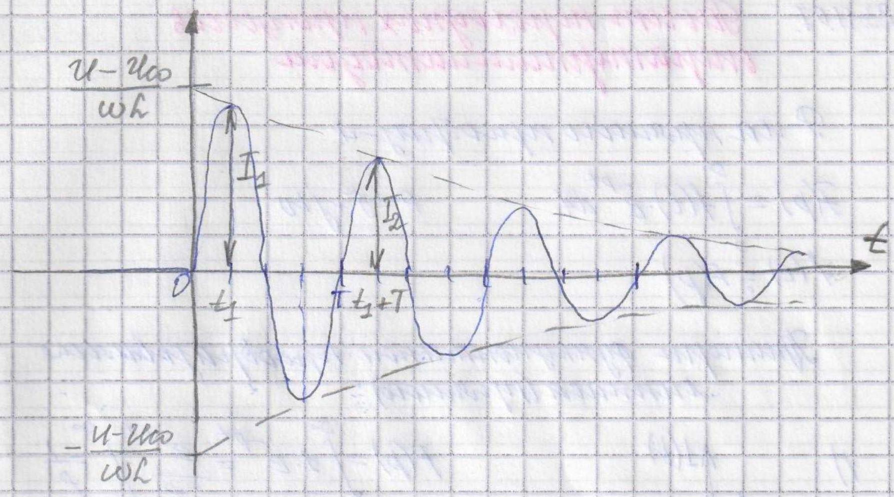
$i(t) = \frac{U - U_{C0}}{2L \cdot j\omega} \cdot (e^{(-\delta + j\omega)t} - e^{(-\delta - j\omega)t}) =$

$= \frac{U - U_{C0}}{2L \cdot j\omega} \cdot e^{-\delta t} (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}) = \frac{U - U_{C0}}{2L \cdot j\omega} (e^{-\delta t}) [\cos\omega t + j\sin\omega t -$

$- \cos(-\omega t) - j\sin(-\omega t)] = \frac{U - U_{C0}}{2L j\omega} e^{-\delta t} 2j\sin\omega t =$

$= \frac{U - U_{C0}}{\omega L} \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin\omega t$

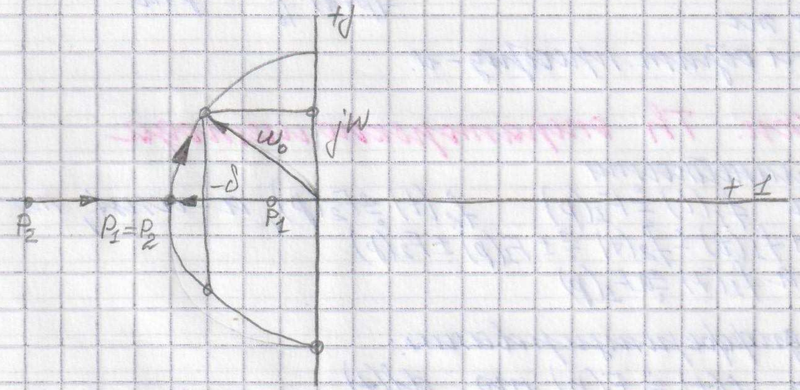
$$\boxed{i(t) = \frac{U - U_{C0}}{\omega L} \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin\omega t}$$



$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\Delta = \frac{I_1}{I_2} = \frac{e^{-\delta t_1}}{e^{-\delta(t_1+T)}} = e^{+\delta T}$$

$$\ln \Delta = \delta T$$



23.11.07. **Расчет переходных процессов операторным методом**

Ф-ла прямого преобраз-я

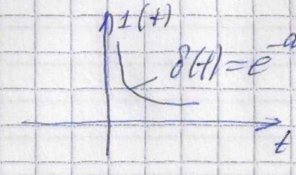
$$F(p)=\int_0^\infty f(t)\cdot e^{-pt}\,dt \qquad p=\sigma+j\omega$$

$$f(t)\doteqdot F(p)$$

Примеры функционального преобразования Лапласа (прямого).

1) 

$$F(p)=\int_0^\infty 1\cdot e^{-pt}=\frac{e^{-pt}}{-p}\Big|_0^\infty=\frac{1}{p}$$

2) 

$$F(t)=\int_0^\infty e^{-at}\cdot e^{-pt}\,dt=\int_0^\infty e^{-(p+a)}=$$

$$=\frac{e^{-(p+a)t}}{-(p+a)}\Big|_0^\infty=\frac{1}{p+a}$$

Так же
$\exists$ ф-ла обрат. преобраз-я.

Осн. Th операторного метода

Th линейности

Если $f_1(t)\doteqdot F_1(p)$ $\quad f_2(t)\doteqdot F_2(p)$, $a=const$, то:

1) $\pm f_1(t)\pm f_2(t)\doteqdot \pm F_1(p)\pm F_2(p)$

2) $a\cdot f_1(t)\doteqdot aF_1(p)$

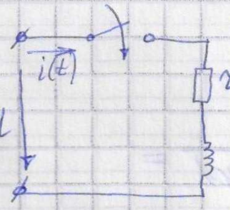
Th дифференцирования.

Если $f(t)\doteqdot F(p)$, то $\frac{df(t)}{dt}\doteqdot pF(p)-f(0_+)$

Th интегрирования.

Если $f(t)\doteqdot F(t)$, то $\int f(t)\,dt\doteqdot\frac{F(p)}{p}+\frac{\int f(t)dt}{p}\Big|_{t=0_+}$

Примеры расчета

① 

включение цепи RL на пост. напряжение

$U = 100$ В

$r = 10$ Ом

$L = 1$ (Гн)

$i(t)$ - ?

Решение: 1) опр. нач. усл. перех. проц.

$i(0_-) = i(0_+) = 0$

2) Запр. ур-ие д/ цепи после коммутации

$$L\frac{di}{dt} + ir = U$$

3) Используя $\underline{\text{Тh}}$ линейности и $\underline{\text{Th}}$ дифф-я, перейдём к опер. ур-ию.

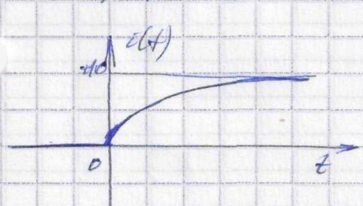
$$i(t) \doteqdot I(p) \qquad U(t) \doteqdot U(p) = \frac{100}{p}$$

$$L[pI(p) - i(0_+)] + rI(p) = U(p)$$

$$pLI(p) - Li(0_+) + rI(p) = U(p)$$

$$I(p) = \frac{U(p) - Li(0_-)}{pL + r} = \frac{U}{p(pL + r)} = \frac{100}{p(p+10)} =$$

$$= \left\{ \frac{1}{p(p+a)} \doteqdot \frac{1}{a}\left(1(t) - e^{-at}\right) \right\} \doteqdot \frac{100}{10}\left(1 - e^{-10t}\right) = 10 - 10e^{-10t}$$



$$I(t) = 10 - 10e^{-10t}$$

② то же самое, только входн. воздействие

$u(t) = 100\, e^{-20t}$

$i(0_-) = i(0_+) = 0$

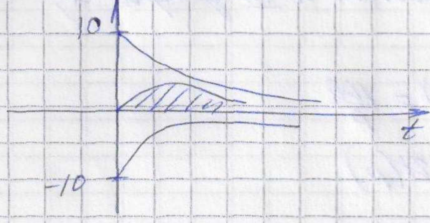
$L\frac{di}{dt} + ir = u(t)$

$U(p) = \frac{100}{p+20}$

$I(p) = \frac{U(p) + Li(0_+)^{\nearrow 0}}{pL + r} = \frac{100}{(p+20)(p+10)} =$

$= \left\{ \frac{1}{(p+a)(p+b)} \doteqdot \frac{1}{a-b}\left(e^{-bt} - e^{-at}\right) \right\} \Longrightarrow$

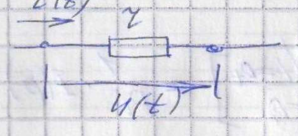
$\Longrightarrow\ i(t) = \frac{100}{20-10}\left(e^{-10t} - e^{-20t}\right) = 10e^{-10t} - 10e^{-20t}$



30.11.07

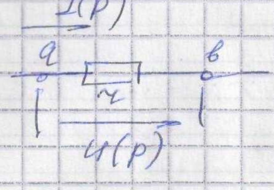
Операторные схемы замещения.

1) Активное сопротивление.

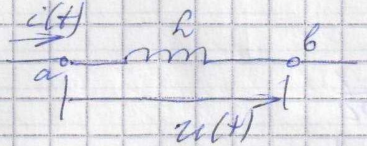


$i(t)\cdot r = u(t)$

$r\cdot I(p) = U(p)$

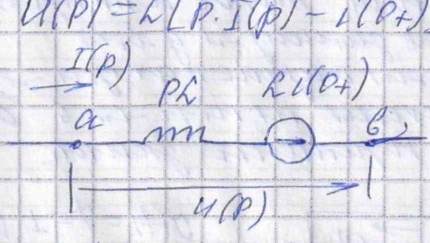


$rI(p) = U(p)$



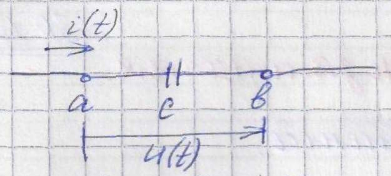
$u(t) = L\cdot\frac{di(t)}{dt}$

$U(p) = L[p\cdot I(p) - i(0_+)] = pL\cdot I(p) - L\cdot i(0_+)$



$Li(0_+) = -U(p) + pL\cdot I(p)$

$U(p) = pL\cdot I(p) - L\cdot i(0_+)$.



$$u(t) = \frac{1}{C}\int i(t)\,dt$$

$$U(p) = \frac{1}{C}\left[\frac{I(p)}{p} + \frac{\int i(t)dt\big|_{t=0+}}{p}\right] = \frac{1}{pC}\cdot I(p) +$$

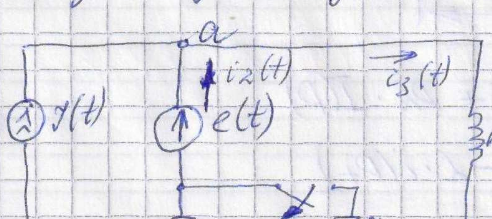
$$+ \frac{\frac{1}{C}\int i(t)dt\big|_{t=0+}}{p}$$

$$U(p) = \frac{1}{p\cdot C} I(p) + \frac{U_C(0+)}{p}$$

$$-\frac{U_C(0+)}{p} = -U(p) + I(p)\cdot\frac{1}{pC}$$

$$U(p) = I(p)\cdot\frac{1}{pC} + \frac{U_C(0+)}{p}$$

Примеч. Направления токов и напряжений в исход. схеме и в схеме замещ-я д. быть одинаковыми. В таком случае нач. усл-я, определенные по исх. схеме м. исп-ся в опера[т.] схеме замещ-я без перемены знака.



$J(t) = J = 1$ (A)

$L = 0{,}01$ (Гн)

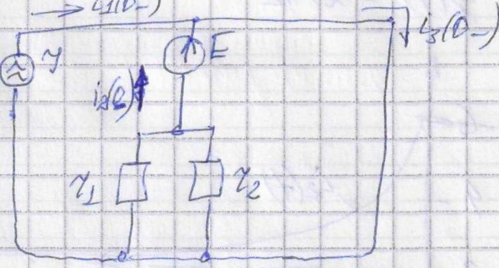
$r_1 = 6$

$e(t) = E = 12$ (В)

$r_2 = 3$ (Ом)

Опр. докоммутац. ток i_2 и независ. нач. усл-е $i_3(t)$.

Расчет 0−



$$r_{экв} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} = \frac{6 \cdot 3}{9} = 2 \text{ (Ом)}.$$

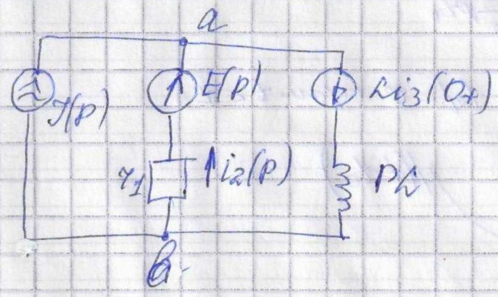
$$E = i_2(0_-) \cdot r_{экв}$$

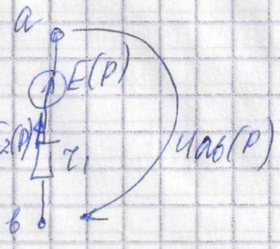
$$i_2(0_-) = \frac{12}{2} = 6 \text{ (A)}.$$

$$i_3(0_-) = i_3(0_+) = J + i_2(0_-) = 7A.$$

$$U_{ab}(p) = \frac{\frac{E(p)}{r_1} - \frac{L i(0_+)}{pL} + \frac{J}{p}}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{pL}} = \frac{\left(\frac{J}{p} + \frac{E}{p r_1} - \frac{i_3(0_+)}{p}\right) r_1 pL}{pL + r_1}$$

$$= \frac{J r_1 + E - i_3(0_+) r_1}{p + r_1/L} = -\frac{24}{p+600}$$



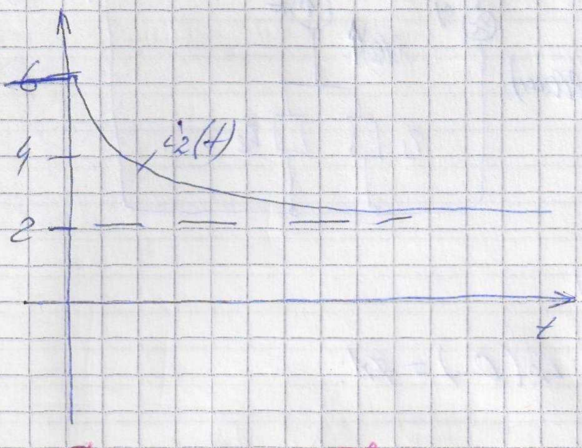


$$E(p) = U_{ab}(p) + I_2(p) \cdot r_1$$

$$I_2(p) = \frac{E(p) - U_{ab}(p)}{r_1} =$$

$$= \frac{\frac{12}{p} + \frac{24}{p+600}}{6} = \frac{2}{p} + \frac{4}{p+600}$$

$i_2(t) = 2+4e^{-600t}$



Применение Th запаздывания при расчете переходн. процессов операторным методом.

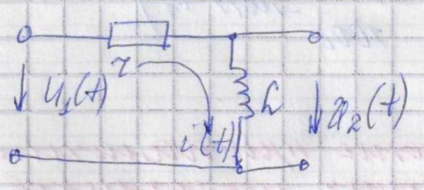
Th запазд-я. Если $f(t) \overset{\circ}{\underset{\circ}{=}} F(p)$

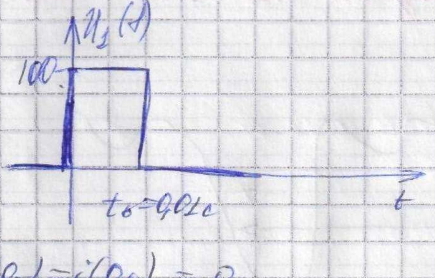
t_0 — веществ. положит. const, то

$$f(t-t_0) \overset{\circ}{\underset{\circ}{=}} F(p)\cdot e^{-pt_0}$$

при усл-ии, что $f(t-t_0)=0$ при $t<t_0$.

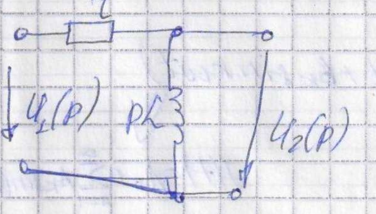
Пример расчета.



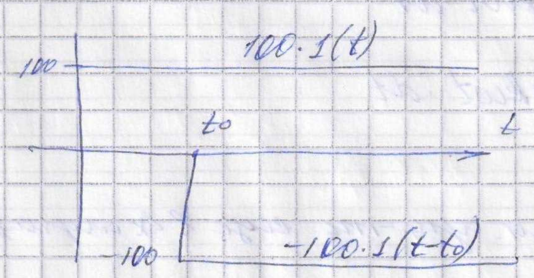


$r = 100$ (Ом)
$L = 1$ (Гн)

$i(0-) = i(0+) = 0.$



$$u_2(p) = \frac{u_1(p)\cdot pL}{r+pL} = u_1(p)\cdot\frac{p}{p+100}$$



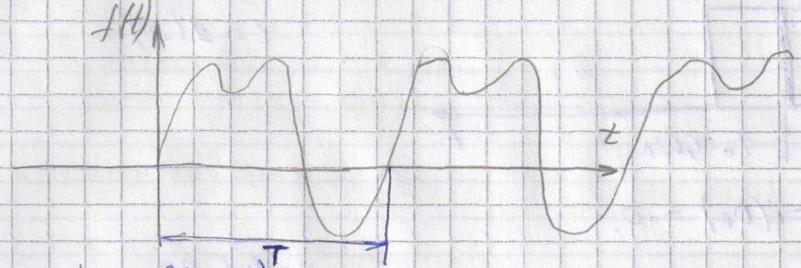
$$u_1(t) = 100\cdot 1(t) - 100\cdot 1(t-t_0)$$

$$u_1(p) = \frac{100}{p} - \frac{100}{p}\cdot e^{-pt_0}.$$

$$u_2(p) = \frac{100\cdot p}{p\cdot(p+100)} - \frac{100\, p}{p(p+100)}\cdot e^{-pt_0}$$

$$u_2(t) \doteq 100e^{-100t} - 100e^{-100(t-t_0)}$$

07.12.07. **Линейные эл. цепи при наличии несинусоидальных периодич. источников ЭДС и тока**



$$f(t) = f(t+T)$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty}(a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t)$$

$$\Downarrow$$

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_k \sin(k\omega t + \psi_k)$$

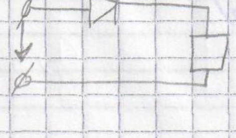
$$a_0 = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\,dt$$

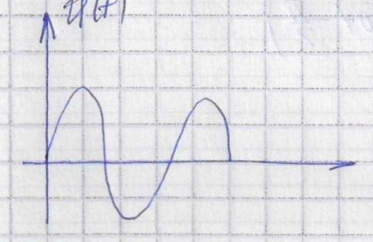
$$a_k = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos k\omega t \cdot dt$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin k\omega t \cdot dt$$

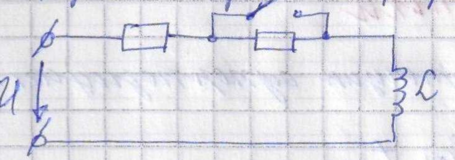
Несинус. напр-е м. сущ-ть если в 2х случаях:

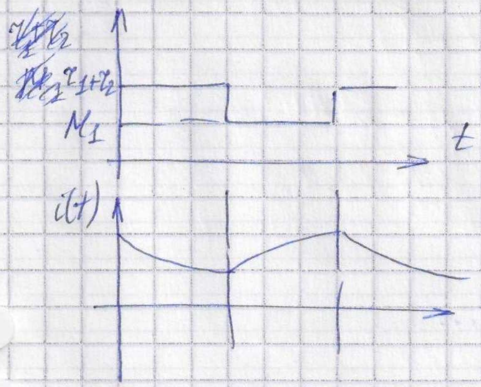
1) нелин. цепи.





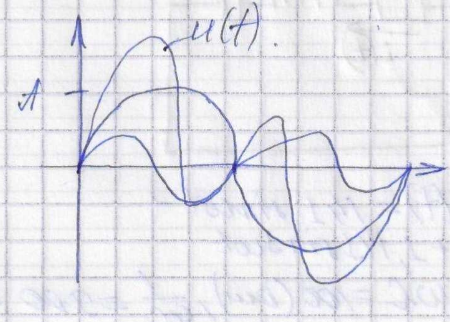
2) цепь с перем. пар-рами.



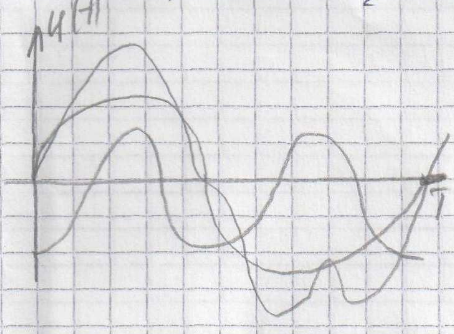


Построение кривых.

$u(t) = A \sin\omega t + \frac{A}{2} \sin 2\omega t$



$u(t) = A\sin\omega t + \frac{A}{2}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$



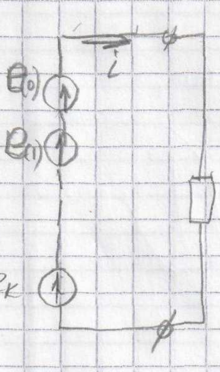
Методика расчета цепей несинусоид. тока

Применяется принцип суперпозиции.

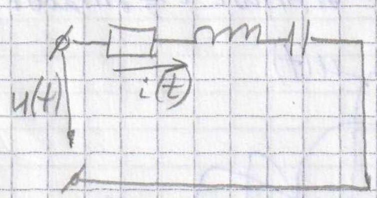
$$e(t) = e_{(0)} + e_{(1)} + \ldots + e_{(k)} + \ldots$$

$$e_{(1)} \rightarrow \dot{E}_{(1)} \rightarrow \dot{I}_{(1)} \rightarrow i_{(1)}(t); \quad e_{(k)} \rightarrow \dot{E}_k \rightarrow \dot{I}_k \rightarrow i_{(k)}(t); \quad e_{(0)} \rightarrow i_{(0)}$$

$$i(t) = i_{(0)} + i_{(1)}(t) + \ldots + i_{(k)}(t) + \ldots$$



Пример.



$u(t) = 141\sin\omega t +$
$+ 1{,}141\sin 3\omega t$
$\omega L = 100$ (Ом); $\frac{1}{\omega C} = 900$ Ом

$i(t) = ?$

$r = 1$ (Ом)

1я гарм.

$$\dot{I}_{(1)} = \frac{\dot{U}_1}{r + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{100}{1 + j100 - j900} \approx \frac{100}{-j800}$$

$$= j \cdot 0{,}125 = 0{,}125 \cdot e^{j\frac{\pi}{2}};$$

$$i_{(1)}(t) = 0{,}176 \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$

3я гарм. $$\dot{I}_{(3)} = \frac{\dot{U}_{(3)}}{r + j3\omega L - j\frac{1}{3\omega C}} = \frac{1}{1 + j300 - j300} =$$

$$= \frac{1}{1} = 1 \cdot e^{j0}; \quad i_{(3)}(t) = 1{,}41 \sin 3\omega t$$

$$i(t) = 0{,}176 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + 1{,}41 \sin 3\omega t.$$

ВЫВОДЫ

В курсе лекций рассмотрены основные темы курса «Метрология и технические измерения в производстве ЭС» такие как: виды измерительных приборов, предназначенных для измерения геометрических величин, приборы и способы измерения номиналов электронной радио аппаратуры на примере резисторов, законы распределения погрешностей и зависимость точности измерения погрешности от количества измерений.

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Колядой Ю. Б. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Метрология и технические измерения в производстве ЭС».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов.–7-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. школа, 2008. – 528 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле: Учебник для студентов вузов.–7-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. школа, 2008. – 231 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. В 2-х т.: Учебник для вузов. Том 1. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 2007. – 536 с.