① Основные понятия и определения электрических цепей.

Эл. цепь – совокупность устройств и объектов, создающих путь для эл. тока, электромагн. процессы в которых мб описаны с помощью понятий об эл. токе, эл. напряжении и эл.-дв. силе.

1) Эл. ток – напр. движ. эл. зарядов. Условно „+" напр. тока – движ. „+" зарядов. $i(+), I(+), [A]$

2) Эл. напряж. – скал. величина = линейному $\int$ от E эл. поля по заданному пути. Условно „+" напр. напряж. – направл. ↓ эл. потенциала φ. $U(+) = \int_a^b E\,dl$, [В].

3) ЭДС – способность стороннего эл. или индуц. поля вызывать эл. ток. $\uparrow \varepsilon \uparrow I \downarrow U$, $e(+), E(+)$, [В].

4) Эл. энергия – способность э.-м. поля выполнять работу. $W = UIt$ [Дж] = [В·А·с], 1кВт·ч = 3600.000 Дж.

5) Эл. мощность – скорость потребления или преобр. в др. вид эл. энергии. $P = \frac{dW}{dt} = UI$ [Вт] = [В·А].

Топологические понятия эл. цепей:

1) ветвь – участок эл. цепи, по которому протекает один и тот же ток.

2) узел – место соединения 3х или более ветвей.

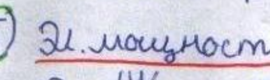
3) Контур – замкнутый путь, сост. из ветвей и узлов, начинающийся и заканчивающийся в одном и том же месте.

---

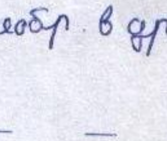
② Пассивные элементы электрических цепей и их характеристики.

(потребляющие энергию)

1) Резистор (сопротивление – энергия в нём необратимо преобразуется в другую)

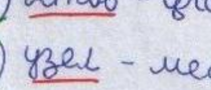


$R = U/I$ [Ом] $G = \frac{1}{R}$ – сименс (проводимость)

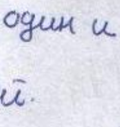


– вольтамперная характеристика (линейная)

2) Ёмкость (конденсатор) – энергия электрического поля в нём запасается.

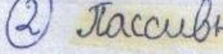


$C = \frac{q}{U_c}$ [Ф] $i_c = C\frac{dU_c}{dt}$; $U_c(t) = q(0) + \frac{1}{C}\int_0^t i_c(t)\,dt$,



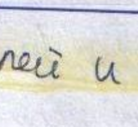
– кулонвольтная характеристика (линейная); $W = \frac{CU_c^2}{2}$.

3) Индуктивность (катушка) – энергия магнитного поля в нём запасается.



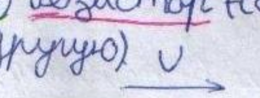
$U_L = L\frac{di_L}{dt}$; $i_L(t) = i_L(0) + \frac{1}{L}\int_0^t U_L(t)\,dt$

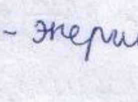
$L = \frac{\Phi}{I}$ [Гн] $\psi = \Sigma\Phi$ – потокосцепление [Вб].



– Веберамперная хар-ка (линейная); $W = \frac{LI_L^2}{2}$

4) Полупроводниковый диод



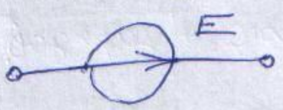


стабилитрон.

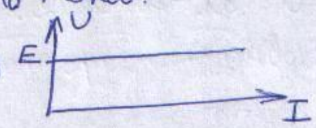
③ Активные эл-ты эл-х цепей: независимые и зависимые источники U и I.
(отдают (вырабатывают) энергию).

Независимые:

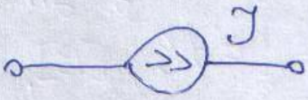
① Идеальный источник напряжения – U на зажимах не зависит от протекающего через него тока.



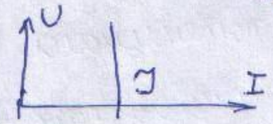
$R_{вн}=0$



② Идеальный источник тока – I на зажимах не зависит от U на ___ .

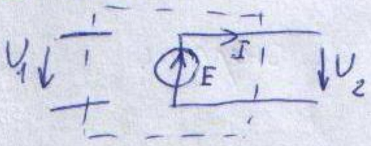


$R_{вн}=0$



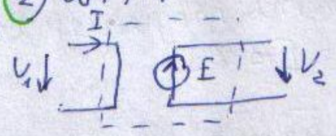
Зависимые (управляемые ист-ки I и U – параметр зависит от I или U некоторого участка цепи)

① ИНУН



$E=f(U_1)$, $U_2=E=KU_1$

② ИНУТ

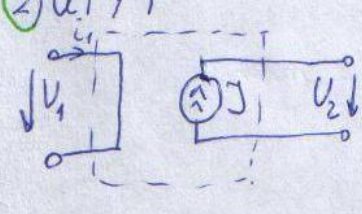


$E=f(I_1)$

$U_2=E=Ri_1$.

$U_1=0$.

② ИТУТ



$J=f(i_1)$

$J=di_1$

$U_1=0$

③ ИТУН

$J=f(U_1)$

$J=GU_1$

④ Законы Кирхгофа и уравнения электрических цепей.

отображают конфигурацию цепи.

I з-н: алг. сумма токов для любого узла цепи $=0$; $\sum_{i=1}^{n} I_i=0$.

II з-н: алг. сумма U на элементах контура = сумме $\mathcal{E}$ действующих в этом конт.

$\sum_e U_e=\sum_k \mathcal{E}_k$.

Уравнения помогут провести расчёт любой сложной цепи.

$N_В$ – кол-во ветвей, $N_У$ – кол-во узлов, N_J – кол-во ист. тока ($N_К=N_В-N_У+1$ – кол-во контуров).

$n=N_В-N_J$ – число независимых уравнений.

$n_1=N_У-1$ – число независимых уравнений по I-му з-ну.

$n_2=N_В-N_J-(N_У-1)$ – число нез-ых ур-ий по II-му з-ну.

$n=n_1+n_2$.

Кол-во уравнений = кол-ву неизвестных.

⑤ Электрические цепи синусоидального тока. Мгновенное, амплитудное и действующее значение синусоидального тока.

$I(t)=I_m\sin(\omega t+\varphi_i)$; $U(t)=U_m\sin(\omega t+\varphi_U)$;

$p(t)=\frac{U_m I_m}{2}\cos\varphi(1-\cos 2\omega t)+\frac{U_m I_m}{2}\sin\varphi\sin 2\omega t$. –

– мгновенные значения.

I_m, U_m – амплитудные значения

$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$; $U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$; $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$; $p=\frac{E_m^2}{2R}$ – действующие значения (постоянный ток, который за T произведёт столько теплоты, сколько и периодический).

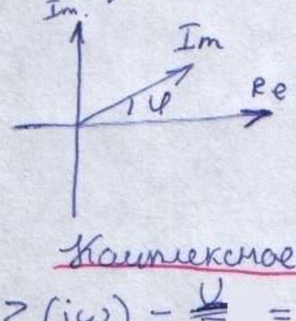
$I_{ср}=\frac{2I_m}{\pi}$; $U_{ср}=\frac{2U_m}{\pi}$; $E_{ср}=\frac{2E_m}{\pi}$ – средние значения.

ω – угл. частота; $\omega t+\varphi$ – фаза тока; φ – начальная фаза.

---

⑥ Метод комплексных амплитуд.

(основан на представлении гармонических ф-ий с помощью комплексных чисел).

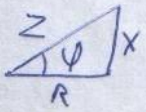


$\underline{I}_m=I_m e^{j\varphi}=I_m(\cos\varphi+j\sin(\varphi))$ – комплекс амплит. знач.

$\underline{I}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}e^{j\varphi_i}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}(\cos\varphi_i+j\sin\varphi_i)$ – комплекс действ. значений. $\varphi_i=\operatorname{arctg}\frac{I_{im}}{I_{Re}}$ – аргумент.

Комплексное сопротивление.

$\underline{Z}(j\omega)=\frac{\underline{U}}{\underline{I}}=\frac{U}{I}e^{j(\varphi_U-\varphi_i)}=\frac{U}{I}e^{j\varphi}$ или $\underline{Z}=R+jX$ (R – активное сопротивление, X – реактивное)



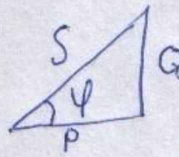
$|Z|=\sqrt{R^2+X^2}$ – импеданс; $R=|z|\cos\varphi$ – резистанс, $X=|Z|\sin\varphi$ – реактанс.

Мощности:

$P=UI\cos\varphi$ – активная мощность [Вт] $=RI^2$

$Q=UI\sin\varphi$ – реактивная мощность [вар] $=XI^2$

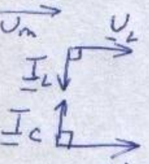
$S=UI$ – полная мощность [Вт].

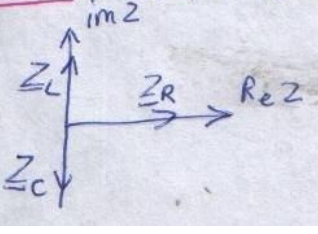


Резистор: $U(t)=U_m\sin\omega t$, $i(t)=I_m\sin\omega t$; $U_m=RI_m$; $\underline{Z}_R=R$;

Катушка: $i_L(t)=I_m\sin\omega t$, $U_L=L\frac{di_L(t)}{dt}$; $U_m=\omega L I_m$; $\underline{Z}_L=j\omega L$;

Ёмкость: $U_C(t)=U_m\sin\omega t$; $i_C=C\frac{dU_C}{dt}$; $U_m=\frac{1}{\omega C}I_m$; $\underline{Z}_C=\frac{+1}{j\omega C}$





7) Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме.

1) Закон Ома в комплексной форме.

$$\underline{U}_m = \underline{Z} \cdot \underline{I}_m \ ; \ \underline{U} = \underline{Z} \cdot \underline{I}. \ ; \ \underline{Z} = R + j\left(\omega L + \frac{1}{\omega C}\right).$$

2) I Закон Кирхгофа в к. ф.

Алгебраическая сумма комплексных значений токов для каждого узла эл. цепи = 0.

$$\sum_k \underline{I}_{m_k} = 0 \ ; \ \sum_k \underline{I}_k = 0.$$

2) II з-н Кирхгофа в к.ф.

Алг. сумма комплексных ~~на~~ значений напряжений на ветвях для любого контура = сумме комплексных значений ЭДС, действующих в этом контуре.

$$\sum_k \underline{U}_k = \sum_e \underline{E}_k.$$

---

8) Комплексная мощность. Баланс мощностей в эл. цепях синусоидального тока.

Комплексная мощность.

$$\underline{S} = S e^{j\varphi} = S(\cos\varphi + j\sin\varphi) = UI\cos\varphi + j\,UI\sin\varphi = P + jQ = \underline{U}\overset{*}{\underline{I}}.$$

Баланс мощностей.

Мощность, производимая источниками, в эл. цепи = мощности, потребляемой пассивными элементами

$$\underline{S}_{ист} = \underline{S}_{приёмн.} \quad \underline{S}_{ист} = \sum_k \underline{E}_k \cdot \overset{*}{\underline{I}_k} + \sum_e \underline{U}_{Je}\, \overset{*}{\underline{J}_e} ; \ S_{пр} = \sum_n \underline{U}_n \overset{*}{\underline{I}_n} = \sum \underline{Z}_n \underline{I}_n^2 \qquad \underline{I}^2 = \underline{I}\cdot\overset{*}{\underline{I}}$$

---

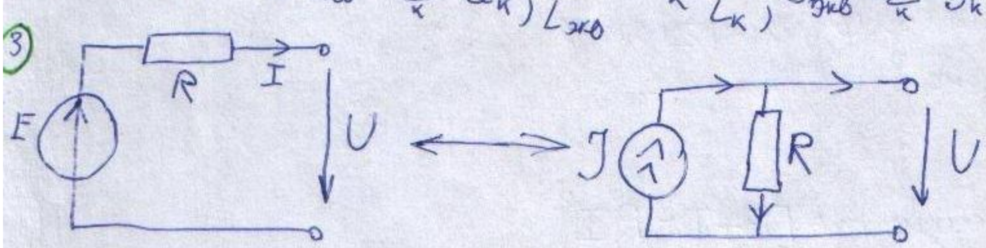
9) Метод эквивалентных преобразований.

(при замене участка I и U в цепи не изм.)

1) Послед. соед.: $R_{экв} = \sum_k R_k ; L_{экв} = \sum_k L_k, E_{экв} = \sum_k E_k, \frac{1}{C_{экв}} = \sum_k \frac{1}{C_k}, \underline{Z}_{экв} = \sum_k \underline{Z}_k$

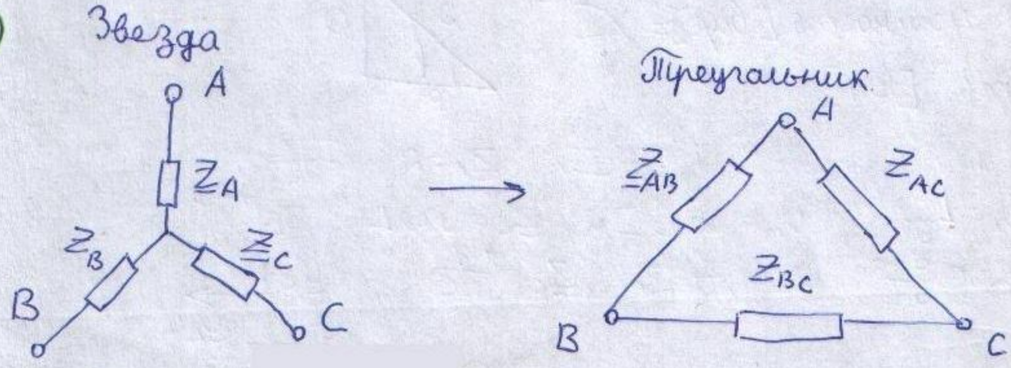
2) Параллельное: $G_{экв} = \sum_k G_k ; \frac{1}{L_{экв}} = \sum_k \frac{1}{L_k}, J_{экв} = \sum_k J_k, C_{экв} = \sum_k C_k ; \underline{Y}_{экв} = \sum_k Y_{экв}$

3)



4) Звезда

Треугольник



$$Z_{AB} = Z_A + Z_B + \frac{Z_A Z_B}{Z_C}$$

$$Z_{AC} = Z_A + Z_C + \frac{Z_A Z_C}{Z_B}$$

$$Z_{BC} = Z_B + Z_C + \frac{Z_B \cdot Z_C}{Z_A}$$

$$Z_A = \frac{\underline{Z}_{AB} \cdot \underline{Z}_{AC}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}} ; \ Z_B = \frac{Z_{BC} \cdot Z_{AB}}{\sum_{ji} Z_{ji}} ; \ Z_C = \frac{Z_{CB} \cdot Z_{AC}}{\sum_{ji} Z_{ji}}$$

10. Метод узловых потенциалов.

Каждому узлу схемы ставится потенциал относительного некоторого узла ($\varphi = 0$). Основан на уравнениях, составленных по I-ому з-ну К.

Знаем φ узлов $\Rightarrow$ знаем токи ($I = (\varphi_1 - \varphi_2 + E)/R$)

Метод 2х узлов – частный случай МУП, если в схеме всего 2 узла.

План выполнения и все нюансы: знать!

11. Метод контурных токов.

Основан на уравнениях, составленных по II з-ну К.

Неизвестные – контурные токи. Ток в ветви = алгебраической сумме ~~то~~ контурных токов, протекающих в этой ветви.

План выполнения и все нюансы: знать!

12. Метод эквивалентного генератора.

Определение тока в одной выделенной ветви. Сущность в том, что по отношению к этой ветви, вся остальная цепь заменяется одним эквивалентным генератором.

$$I_к = \frac{U_{xx}}{Z_{экв} + Z_к}$$

План выполнения и все нюансы: знать!

13. Метод наложения.

Основан на применении суперпозиции. I или U в любой ветви = сумма составляющих от воздействия источников в отдельности.

План: 1) Оставляется один источник. Остальные ведут себя так: ($\rightarrow$; $R=0$; $\rightarrow$; $R=\infty$)

2) считается ток от оставшегося источника;

3) и так с каждым источником, а потом суммируется.

Нюансы знать не надо, их просто нет =), но ознакомиться с примером.

(14) Расчёт эл. цепей со взаимоиндукцией.

Даны 2е связные катушки (изменение тока в одной, вызывает появление ЭДС взаимоиндукции в другой).

Потокосцепления катушек:

$\Psi_1 = L_1 i_1 \pm M i_2$, $\quad M$ - коэф. взаимоиндукции [Гн]

$\Psi_2 = L_2 i_2 \pm M i_1$.

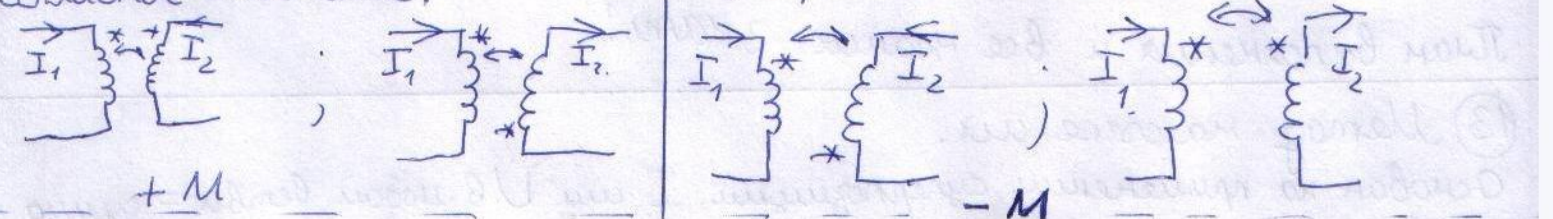
Напряжения катушек:

$U_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$; $\quad k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} < 1$ - коэф. магн. связи

$U_2 = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$.

Одноимённые зажимы – 2а зажима, что одном, относительно этих зажимов, направлении тока, их магн. потоки складываются.

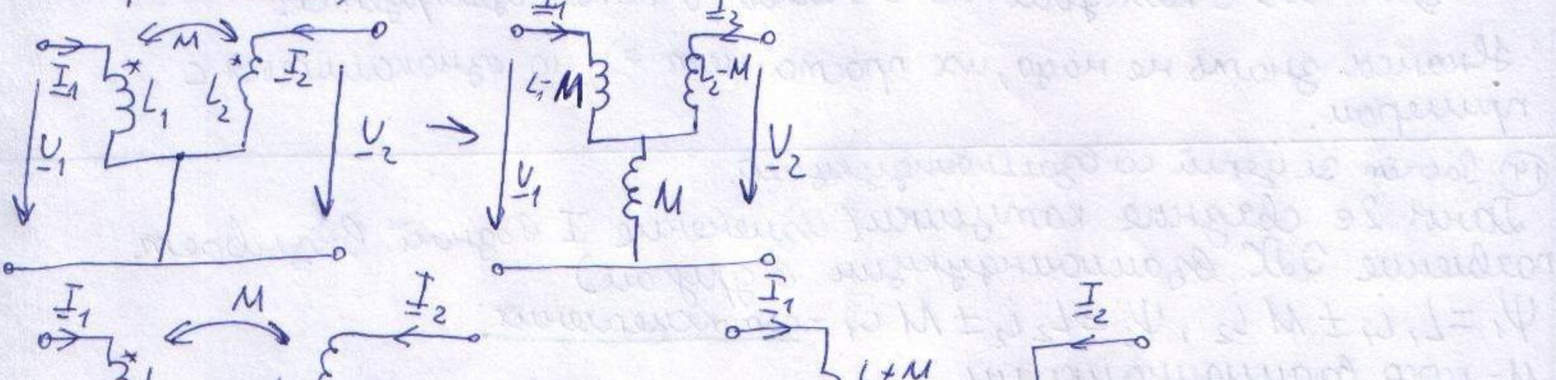
Согласное включение: | Встречное включение.

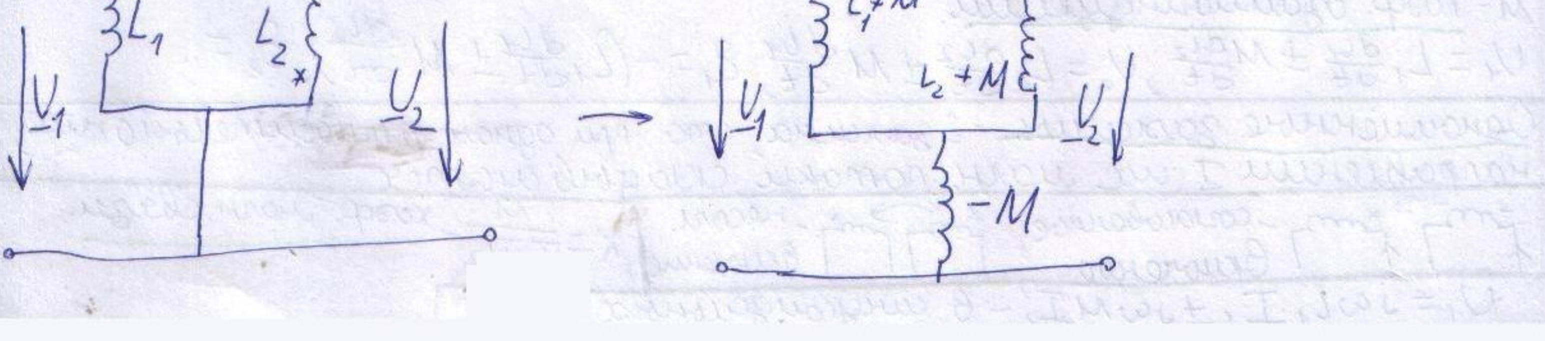


В синусоидальных цепях.

$U_1 = j\omega L_1 i_1 \pm j\omega M i_2$; $U_2 = j\omega L_2 i_2 \pm j\omega M i_1$.

Эквивалентные преобразования (от магнитных связей к электрическим):





(15) Комплексная передаточная функция. Амплитудно-частотная, фазо-частотная, амплитудно-фазовая характеристика.

(1) Комп. перед. функция (КПФ) - отношение комплексного значения ~~U или I к~~ выходного U или I к входному U или I.

$$\underline{Z}(j\omega) = \frac{U_{вх}(j\omega)}{I_{вх}(j\omega)}\ [Ом], \quad \underline{Y}(j\omega) = \frac{I_{вх}(j\omega)}{U_{вх}(j\omega)}$$

$$W_U(j\omega) = \frac{U_{вых}(j\omega)}{U_{вх}(j\omega)}, \quad K_I(j\omega) = \frac{I_{вых}(j\omega)}{I_{вх}(j\omega)}$$ -безразмерно.

$W_U(j\omega)$ - комплекс. $W_U(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = |W_U(j\omega)| e^{j\,\mathrm{arctg}\frac{V(\omega)}{U(\omega)}}$

(2) Амп.-част. хар-ка - зависимость модуля передаточной функции от частоты (АЧХ)

$$A(\omega) = |W_U(j\omega)| = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$$

(3) Фазочаст. хар-ка - зависимость аргумента комплексной передаточной функции от частоты (ФЧХ)

$$\Theta(\omega) = \mathrm{arctg}\frac{V(\omega)}{U(\omega)}$$

(4) Амплитудно-фазовая хар-ка (годограф) - геометрическое место концов вектора $W_U(j\omega)$ на комплексной плоскости, соответствующих изменению частоты от $\omega = 0$ до $\omega = \infty$.
(позволяет одновременно судить и о АЧХ, и о ФЧХ).
Уравнение АФХ - выразить U через V или наоборот.

---

(16) Резонанс U в последовательном колебательном контуре.

Резонанс - разность фаз м/у фазой U и фазой $I = 0$.
Резонанс U - только в послед. контуре
Условие резонанса: мнимая составляющая сопротивления $= 0$.
ω_0 - резонансная частота. $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
ρ - Волновое (характеристическое) сопротивление $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$
Для оценки энергетических св-в - добротность: $Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{U_L}{U_R}$.
Энергетическое соотношение: $\frac{LI_m^2}{2} + \frac{CU_m^2}{2} = const$.
Полоса пропускания $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q}$ - на границах $I/I_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}$
Резонансные кривые: $U(\omega)$, $I(\omega)$.
ФЧХ: $Q(\omega) = \mathrm{Arg}\left\{Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right) - \mathrm{arctg}\, Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right\}$

(17) Резонанс токов в разветвлённых цепях.

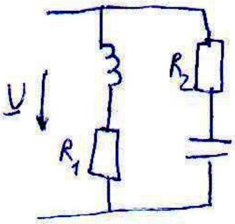
Резонанс I только в параллельном колеб. контуре.

Условие резонанса: мнимая составляющая проводимости = 0

ω_0 - резонансная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ - для самого простого.

Для различных схем - различная добротность.

ФЧХ: $\varphi(\omega) = arctg\, Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)$ - для самого простого.



$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\frac{L}{C} - R_1^2}{\frac{L}{C} - R_1^2}}$

а) $\frac{L}{C} > R_1^2, \frac{L}{C} > R_2^2 \left(\frac{L}{C} < R_1^2; \frac{L}{C} < R_2^2\right)$ - рез. существует.

б) $\frac{L}{C} > R_1^2; \frac{L}{C} < R_2^2 \left(\frac{L}{C} < R_1^2; \frac{L}{C} > R_2^2\right)$ - рез. не сущ.

в) $\frac{L}{C} = R_1^2 = R_2^2$ - сущ. при $\forall$ частоте.

(18) Резонансы в многоконтурных цепях.

м.б. как резонанс токов, так и напряжений.

Условие рез. U: мнимая составляющая сопр. = 0. $Im\{Z_{вх}(j\omega)\} = 0$

Условие рез. I: мнимая составляющая пров. = 0 $Im\{Y_{вх}(j\omega)\} = 0$.

(19) Представление периодических сигналов рядами Фурье.

Периодический сигнал описывается периодической ф-ей $f(t)$, которая удовлетворяет соотношению $f(t) = f(t+T)$.

Если эта периодическая функция удовлетворяет условиям Дирихле, то её можно представить рядом Фурье:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega t + b_k \sin \omega t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(k\omega t + \varphi_k).$$

$A_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)dt$ - постоянная составляющая (нулевая гармоника)

$k=1$ - первая гармоника; $k>1$ - высшие гармоники

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

$C_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$; $tg\,\varphi_k = \frac{a_k}{b_k}$

$$\left.\begin{aligned} a_k &= \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos k\omega t\,dt \\ b_k &= \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin k\omega t\,dt \end{aligned}\right\}$$ коэффициенты ряда Фурье.

Т.к. разложение ограничено, это приводит к некоторой погрешности.

20. Амплитудный и фазовый спектры периодических сигналов.

Спектр чего-либо - совокупность составляющих чего-либо.

Амплитудный спектр - набор амплитуд всех гармоник, который обычно представляют диаграммой в виде набора вертикальных линий, а место на горизонтальной оси определяется частотой (номером гармоники) данной составляющей.

Фазовый спектр - совокупность начальных фаз всех гармоник. (изображают аналогично) $\in [-\pi; \pi]$

Такие спектры называют линейчатыми (дискретными).

---

21. Действующие и средние значения периодических несинусоидальных сигналов.

Действующее значение тока: $I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I_k^2}$

$i(t) = \sum_{k=0}^{\infty} I_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k)$

Среднее значение тока: $I_{ср} = \frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} |i|\,dt$

Аналогично для напряжения.

---

22. Полная, активная, реактивная мощность и мощность искажений.

Активная мощность:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)\cdot i(t)\,dt = \sum_{k=0}^{\infty} P_k = U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos(\varphi_u - \varphi_i).$$

Реактивная мощность:

$$Q = \sum_{k=0}^{\infty} Q_k = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin(\varphi_u - \varphi_i)$$

Полная мощность:

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

Мощность искажений: $T = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)}$

характеризует степень различия в формах тока и напряжения.

23. Параметры, характеризующие форму периодических несинусоидальных сигналов.

1) Коэффициент формы:

$$K_\Phi = \frac{U}{U_{cp}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)\,dt}}{\frac{2}{T}\int_0^{T/2} |U(t)|\,dt},$$ для синусоид. величин $K_\Phi = 1{,}11$.

2) Коэффициент амплитуды:

$$K_A = \frac{U_m}{U},$$ для синусоид. $K_A = \sqrt{2}$

3) Коэффициент искажений

$$K_d = \frac{U_1}{U}$$ U_1 – первая гармоника

---

24. Методы расчёта цепей несинусоидального тока.

План:

1) ЭДС и токи источников раскладываются в ряды Фурье
2) Любыми методами расчёта цепей синусоидального тока произвести расчёт отдельно для каждой гармоники спектра.
3) Искомые величины определяются как алгебраические суммы соответствующих гармонических.

!!! Недопустимо складывать комплексные амплитуды токов и напряжений различных частот (гармоник).

---

25. Основные понятия электрических цепей трехфазного тока.

Трёхфазная цепь – совокупность трёх электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые относительно друг друга по фазе на 120°, создаваемые общим источником.

Трёхфазный генератор – синхронная машина. На статоре генератора размещена обмотка, состоящая из трёх частей или фаз, пространственно смещённых относительно друг друга на 120°. В фазах индуцируется симметричная трёхфазная система ЭДС, в которой электродвижущие силы одинаковы по амплитуде и различны по фазе на 120°

$e_A(t) = E_m \sin \omega t$, $e_B(t) = E_m \sin(\omega t - 120°) = E_m \sin(\omega t + 240°)$,

$e_C(t) = E_m \sin(\omega t - 240°) = E_m \sin(\omega t + 120°)$. $e_A + e_B + e_C = 0$.

26) Схемы соединения звездой и треугольником в 3х фазных цепях.

Звезда - концы всех элементов объединены в 1 узел, называемый нейтральной точкой.

Проводник, соединяющий конец ЭДС фазы с приёмником, ~~включая его~~ - линейный.

Провод, соединяющий нейтральные точки приёмников и источников - нейтральный.

Линейное напряжение - между началами фаз или линейными проводами.

Фазное напряжение - между началом и концом фазы или линейным и нейтральным проводом.

Линейный ток - в лин. проводах, фазный - в ист. и приёмниках.

$\dot{I}_л = \dot{I}_ф$, $U_л = \sqrt{3}\, U_ф$

Треугольник - все элементы объединены в замкнутый контур.

$U_л = U_ф$, $\dot{I}_л = \sqrt{3}\, I_ф$

---

27) Симметричный и несимметричный режимы 3х фазных цепей.

1) Симметричная нагрузка: $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C$

Напряжения фаз нагрузки и генератора одинаковы $\underline{U}_A = \underline{U}_a, \ldots$

Фазные токи одинаковы по величине и совпадают по фазе со своими фазными напряжениями.

При симметричной нагрузке нейтральный провод не нужен.

2) Несимметричная нагрузка.

а) $R_A < R_B = R_C$ $(Z_N = 0)$

$\underline{U}_A = \underline{U}_a, \ldots$

фазные токи $\underline{I}_A = \frac{U_A}{R_A}$; $\underline{I}_B = \frac{U_B}{R_B}$; $\underline{I}_C = \frac{U_C}{R_C}$.

Вектор тока в нейтральном проводе равен геометрической сумме векторов фазных токов.

б) $R_A < R_B = R_C$ $(Z_N = \infty)$

В схеме появляется напряжение смещения нейтрали.

Мощность в трёхфазных ветвях.

$S = S_A + S_B + S_C + S_N$ ← нейтрали

$P = U_A \cdot I_A \cos\varphi + U_B \cdot I_B \cos\varphi + U_C \cdot I_C \cos\varphi$, $Q = U_A I_A \sin\varphi + U_B I_B \sin\varphi + U_C I_C \sin\varphi$.

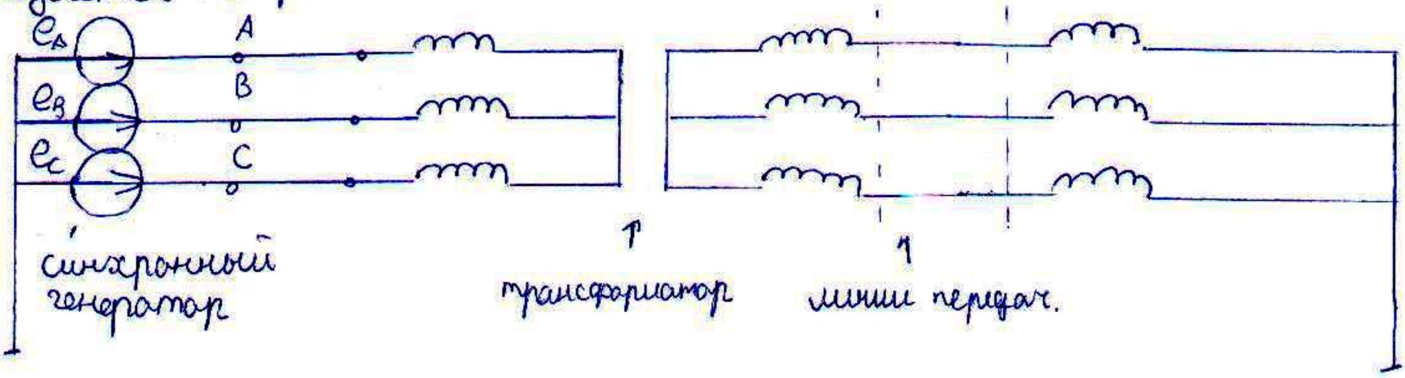
При соед. звезда и Δ:

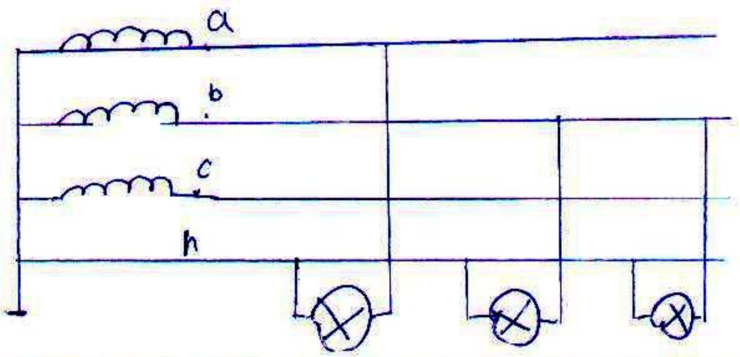
$P = \sqrt{3}\, U_л I_л \cos\varphi$, $Q = \sqrt{3}\, U_л I_л \sin\varphi$, $S = \sqrt{3}\, U_л I_л$.

(28) Типовая упрощённая схема энергоснабжения.

Мощность генератора 10 кВт.

При передаче на большие расстояния U с помощью трансформаторов повышается до неск-х 100 кВт, для уменьшения потерь при передаче. В конце линий передач U понижается и передаётся потребителю.





Нейтральная точка обычно изолируется или заземляется.

(30) Переходные процессы в электрических цепях. Законы коммутации. Независимые и зависимые начальные условия.

Неустановившийся процесс перехода от 1-го энергет. сост. в эл. цепи к другому называется переходным процессом (коммутацией). Его длительность – время переходного процесса.

Процесс не мгновенный: изменение энергии в реактивных элементах не мгновенно, ведь мощность цепи $\neq \infty$.

Следствие этого: законы коммутации:

1) $\psi(t_-) = \psi(t_+)$. Для лин. цепи: $i_L(0_-) = i_L(0_+)$, а затем начинает плавно изменяться.

2) $q(t_-) = q(t_+)$. Для лин. цепи: $U_C(0_-) = U_C(0_+)$, а затем начинает плавно изменяться.

Независимые начальные условия – совокупность начальных i_L независимо включённых и U_C, тоже независ. включённых.

Зависимые начальные условия – значения токов и U $\forall$ ветвей и их производных в момент $t = 0_+$.

31) Классический метод расчёта переходных процессов в линейных эл. цепях.

(основан на классических методах решения линейных диф. уравнений)

План:

1) Вычислить начальные незав. условия. $t = 0_-$.

а) Постоянные источники: $U_c(0_-) = U_c(0_+) = const$;

$i_L(0_-) = i_L(0_-) = const$;

б) Синусоид. источники: $U_c(0_-) = U_c(0_+) = U_m \sin \psi_C$

$i_L(0_-) = i_L(0_+) = I_m \sin \psi_L$.

2) Вычислить зависимые условия $t = 0_+$.

$\frac{dU_c}{dt}\Big|_{t=0_+} = \frac{i_c(0_+)}{C} - ?$; $\frac{di_L}{dt}\Big|_{t=0_+} = \frac{U_L}{L} - ?$ – и а), и б).

3) Вычислить вынужденную составляющую $t = +\infty$.

а) $U_c(\infty) = const$, $i_L(\infty) = const$

б) $U_C(t) = U \sin(\omega t + \varphi_c)$; $i_L(t) = I \sin(\omega t + \psi_L)$

4) Составляется характ-ое ур-ие и счит-ся его корни

Корни определяют вид свободной составляющей.

(Тут знать!!!)

5) Записываем ответ в виде:

$U_c(t) = U_{c\,св}(t) + U_{c\,вын}(t)$

$i_L(t) = i_{L\,св}(t) + i_{L\,вын}(t)$, уже найдя все постоянные интегрирования.

32) Переходная и импульсная функции электрической цепи.

Единичной ступенчатой функцией наз-ся функция вида:

$$1(t) = \begin{cases} 1, & t \geq t_0 \\ 0, & t < t_0 \end{cases}$$

Переходная ф-ия – реакция цепи (I или U) при входном воздействии в виде единичной ступ-ой функции при 0-х начальных условиях. $h(t) = \frac{f_2(t)}{f_1(t)} = \frac{f_2(t)}{1}$

Импульсная ф-ия – реакция цепи на единичное импульсное воздействие $k(t)$

33) Взаимосвязь между переходной и импульсной функциями.

$K(t)=\frac{dh(t)}{dt}$, а точнее $h(t)\cdot 1(t)$, а не просто $h(t) \Rightarrow$

$$\Rightarrow k(t)=\frac{d(h(t)\cdot 1(t))}{dt}=1(t)h'(t)+h(t)\Big|_{t=t_0}\cdot\delta(t)\left(\delta(t)=1'(t)\right).$$

---

34) Анализ переходных процессов в линейных цепях при с использованием переходной и импульсной функции.

Переходная и импульсная хар-ки устанавливают связь между внешним воздействием на цепь и её реакцией. Зная $h(t)$ или $k(t)$ можно применить метод наложения.

---

35) Интегралы наложения и расчёт переходных процессов в линейных цепях при произвольном воздействии.

Принцип наложения:

Основан на принципе суперпозиции, по которому реакция мб найдена как сумма реакций (единичных) от суммы воздействий.

$$U_{вх}=U_{вх}(0)1(t)+\int_0^t U'_{вх}(\tau)d\tau.$$

План:

1) Найти $h(t)$ или $k(t)$.

2) Вычислить интеграл Дюамеля, зная $h(t)$

$$U_2(t)=U_1(0)h(t)+\int_0^t U'_{11}(\xi)h(t-\xi)d\xi$$

Если присутствует разрыв I рода:

1) $0\le t<t_1$: $U_2(t)=U_{11}(0)h(t)+\int_0^t U'_{11}(\xi)h(t-\xi)d\xi$

2) $t_1\le t<t{\to}\infty$: $U_2(t)=U_{11}(0)h(t)+\int_0^{t_1} U'_{11}(\xi)h(t-\xi)d\xi+$

$$+\left[U_{12}(t_{1+})-U_{11}(t_{1-})\right]h(t-t_1)+\int_{t_1}^t U'_{12}(\xi)h(t-\xi)d\xi.$$

36 Прямое и обратное преобразования Лапласа. Т. разложения.

Преобразование Лапласа устанавливает взаимное соответствие между функцией времени $a(t)$ и ее изображением $A(p)$.

Прямое: $A(p)=L[a(t)] = \int_0^\infty e^{-pt} a(t)dt$.

Обратное: $a(t) = L^{-1}[A(p)] = \frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma_0-j\infty}^{\sigma_0+j\infty} e^{pt}A(p)\,dp$, т.е. $a(t) \doteq A(p)$.

$A(p)$-операторное изображение функции.

$a(t)$-оригинал.

p-оператор преобразования (комплексная частота).

Теорема разложения:

Если $A(p)=\frac{N(p)}{M(p)}$, где полиномы $N(p)$ и $M(p)$ не имеют общих корней, а степень $M(p)$ > степени $N(p)$, и $M(p)=0$ не имеет кратных корней, то переход от изображения к оригиналу выглядит так:

$$\frac{N(p)}{M(p)} \doteq \sum_{k=1}^{n} \frac{N(p_k)}{\left.\frac{dM}{dp}\right|_{p=p_k}} e^{p_k t},$$ где p_k - корни уравнения.

---

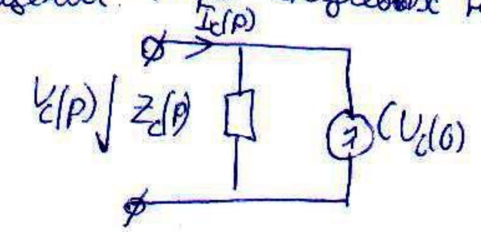
37 Операторные схемы замещения элементов электрич. цепей.

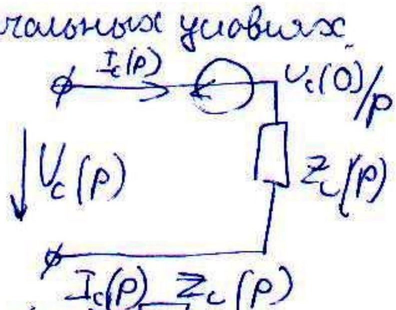
1) Сопротивление: $Z_R(p)=R$

Схема замещения:

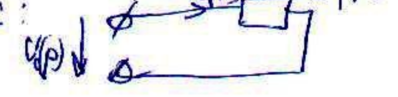
2) Ёмкость: $Z_C(p)=\frac{1}{pC}$

Схема замещения: 1) при ненулевых начальных условиях.



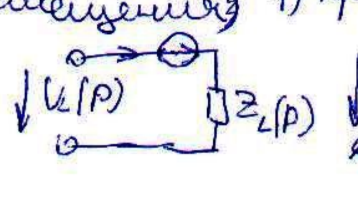


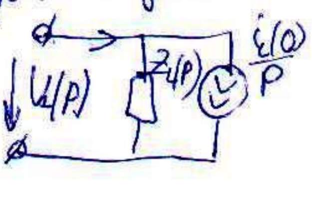
2) При нулевых:



3) Индуктивность: $Z_L(p)=pL$.

Схема замещения 1) при ненулевых НУ:





2) при 0-х (аналогична)

38. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме.

I з-н Кирхгофа: $\sum_k I_k(p) = 0$

II з-н Кирхгофа: $\sum_i U_i(p) = \sum_m E_m(p)$

З-н Ома: $U(p) = I(p) \cdot Z(p)$

---

39. Расчёт переходных процессов в линейных эл-х цепях операторным методом.

Основан на преобразованиях Лапласа.

План:

1) Анализ цепи до коммутации и определение независимых начальных условий.

2) Составление операторной эквивалентной схемы цепи после коммутации.

3) Составление уравнений эл-ого равновесия цепи в операторной форме.

4) Решение уравнений относительно изображений искомых токов и напряжений.

5) Определение оригиналов искомых токов и напряжений.

---

40. Операторная передаточная функция, её взаимосвязь с переходной и импульсной функциями.

ОПФ - отношение изображения реакции цепи $Y_k(p)$ к изображению внешнего воздействия $X_\nu(p)$ при 0-х Н У.

(различаются по видам U_k/U_ν, I_k/I_ν, $\frac{U_k}{I_\nu}$, и т.д.)

Связь: $h(t) \doteq \frac{H(p)}{p}$ и $k(t) \doteq H(p)$.