Билеты по элтеху

1. Основные понятия ТЭЦ

1.1 Электротехника, электротехническое устройство, практическое применение электротехники, переменные системы.

`Электротехника` - обширная область практического применения электромагнитных явлений, происходящих в электротехническом устройстве.

`Электротехническое устройство` - система заряженных тел и проводников с током.

Для практического применения электромагнитных явлений в электротехническом устройстве необходимо по крайней мере установить связь между переменными системы (потенциалами, зарядами, токами, магнитными потоками) и параметром системы.

Переменные системы делятся на две категории: известные, независимые (сигналы) и определяемые, зависимые (реакция).

1.2 Задачи ТЭЦ.

Обозначив сигналы вектором $\bar{a}$; реакцию вектором $\bar{b}$; параметры системы вектором $\bar{c}$ можно сформулировать две основные задачи электротехники:

1. `Анализ`: Дано $\bar{a}$ и $\bar{c}$; определить $\bar{b}$; т.е. при заданной системе $\bar{c}$ и возмущениях $\bar{a}$ в результате анализа получается реакция системы $\bar{b}$
2. `Синтез`: Дано $\bar{a}$ и $\bar{b}$; определить $\bar{c}$; т.е. требуется определить такую систему $\bar{c}$, чтобы при заданных возмущениях $\bar{a}$

обеспечивала требующую реакцию $\bar{b}$.

1.3 Математическая модель.

Если не считаться с квантовыми, статистическими процессами микромира приведенная уравнения Максвелла в совокупности с уравнением Пойнтинга достаточно полно описывает все электромагнитные взаимодействия в электротехнических устройствах и в этом смысле является полной математической моделью любой системы.
В очень многих задачах требуется знание только интегральных понятий:

1. Ток: $i = \int_S \bar{\delta} d\bar{s} = \oint \bar{H} d\bar{l}$
2. ЭДС: $e = \oint (\bar{E}_{стор} + \bar{E}_{инд}) d\bar{l}$
3. Напряжение: $u = \int_A^B \bar{E} d\bar{l}$

1.4 Уравнения Максвелла и обстоятельства, затрудняющие их применение на практике.

1. $rot\bar{H} = \bar{\delta} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}$ - Вектор тока ($\bar{\delta}$), равно как и ток, вызванный изменением электрического смещения ($\frac{\partial \bar{D}}{\partial t}$), вызывает появление магнитного поля.
2. $rot\bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$ - показывает связь между изменением вектора магнитной индукции ($\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$) и напряженностью электрического поля.
3. $div\bar{B} = 0$ - утверждает, что линии магнитного поля замкнуты, т.е. не существует магнитных зарядов.
4. $div\bar{D} = \rho$ - вводит понятие электрического заряда, на котором начинаются и заканчиваются линии электрического смещения. Среда, в которой взаимодействуют переменные задается коэффициентами в соотношениях: $\bar{D} = \bar{\epsilon}; \bar{B} = \bar{\mu}\bar{H}; \bar{\delta} = \bar{\gamma}\bar{E}$
5. $\bar{\Pi} = \bar{E} \times \bar{H}$ - указывает, что энергия локализуется в электрических и магнитных полях.

> Непосредственно для практического расчета целого ряда электротехнических расчетов уравнения Максвелла использовать затруднительно по двум обстоятельствам:

1. Сложность математического аппарата векторного анализа.
2. Громоздкость исходных данных, т.к. требуется задание параметров в виде векторных полей.

1.5 Основные понятия электрической цепи.

`Электрическая цепь` - это система заряженных тел и проводников с током, которая с достаточной для практических целей точностью может быть описана интегральными понятиями. u, i, e, p, w.

Приведенные интегральные понятия при математическом описании системы выступают как переменные.

Часть переменных может быть независимой (заданной), называемой сигналами, а другая часть - зависимые переменные (реакция системы).

Сама система включает элементы системы, задаваемые их параметрами и характер взаимодействия (соединения) этих элементов. Физически каждый элемент может:

1. Генерировать электрическую энергию, точнее преобразовывать какой-либо вид энергии в электрическую и привносить ее в систему.
2. Рассеивать энергию т.е. необратимо превращать электрическую энергию в какой-либо другой вид энергии.
3. Накапливать и возвращать энергию электрического поля.
4. Накапливать и возвращать энергию магнитного поля.

`Электрический ток` — это поток электрически заряженных частиц (обычно электронов) в проводнике. Ток измеряется в амперах (А) и

определяется по формуле:
$I = \frac{Q}{t}$, где I - ток, Q - заряд, t - время.

`Напряжение` — это разность электрических потенциалов между двумя точками в цепи, которая заставляет ток течь. Измеряется в вольтах (В) и обозначается как U. Оно может быть описано с помощью закона Ома:
$U = I * R$, где R - сопротивление.

`Сопротивление` — это способность материала препятствовать протеканию электрического тока. Измеряется в омах (Ω) и зависит от материала, длины и сечения проводника. Закон Ома для сопротивления записывается как:
$R = \frac{U}{I}$

`Энергия` в электрической цепи определяется как произведение мощности и времени. `Электрическая мощность` измеряется в ваттах (Вт) и может быть вычислена по формуле:
$P = U * I$, где P - мощность

1.6 Модель электрической цепи и 4 функциональных группы элементов.

`Электрическая цепь` - это система заряженных тел и проводников с током, которая с достаточной для практических целей точностью может быть описана интегральными понятиями. u, i, e, p, w.

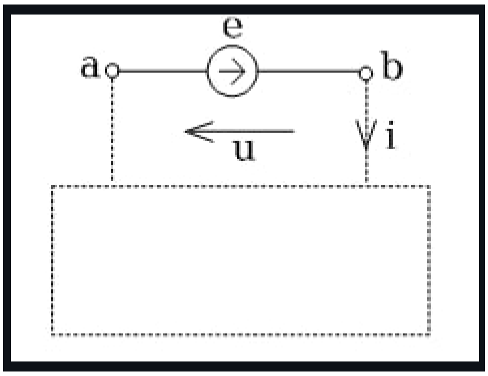
Сама система включает элементы системы, задаваемые их параметрами и характер взаимодействия (соединения) этих элементов. Физически каждый элемент может :

1. Генерировать электрическую энергию, точнее преобразовывать какой-либо вид энергии в электрическую и привносить ее в систему.
2. Рассеивать энергию т.е. необратимо превращать электрическую энергию в какой-либо другой вид энергии.

3. Накапливать и возвращать энергию электрического поля.
4. Накапливать и возвращать энергию магнитного поля.

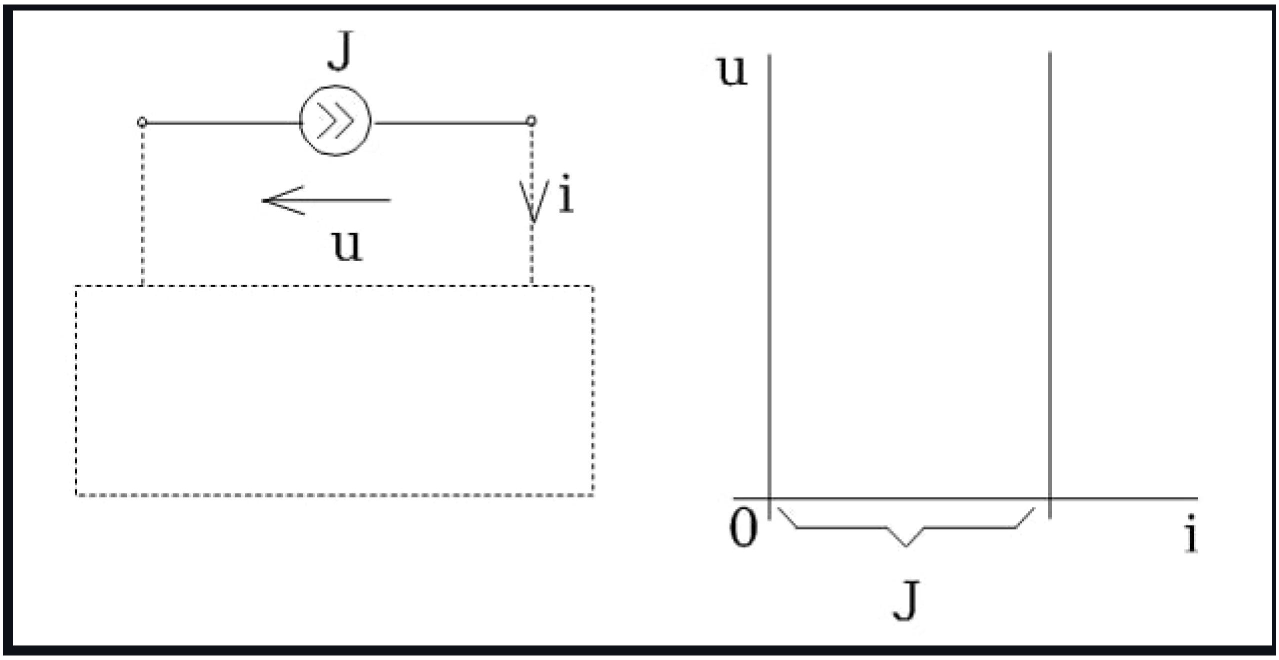
1.7 Перечень основных элементов электрической цепи: двухполюсники и четырёхполюсники

`Идеальный источник ЭДС` - генерирует электроэнергию так, чтобы напряжение на его зажимах не зависело от протекающего через него тока. Стрелка в круге показывается направление внутренних сил. Напряжение отмечается стрелкой от большего потенциала к меньшему.



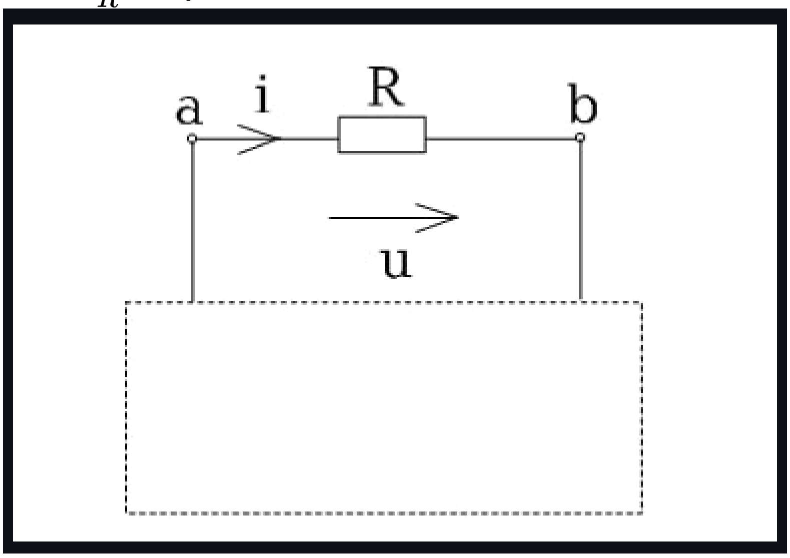
1. $R_{вн} = 0$
2. $U = E$.
3. Если направление тока через источник совпадает с направлением внутренних сил, то $p = ui < 0$. Источник отдает энергию.
4. Если $p = ui > 0$ источник потребляет энергию.
5. Ток I - любой.

`Идеальный источник тока` - приближенно можно представить как реальный источник с большим напряжением и большим внутренним сопротивлением, подключенный к потребителю с малым сопротивлением.



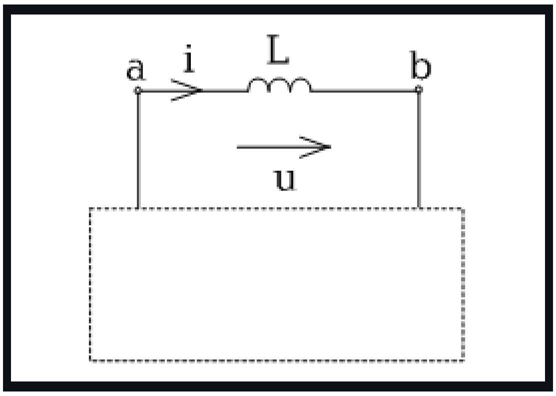
1. $R_{вн} = \infty$
2. Ток $i = J$
3. Напряжение u - любое.
4. Свойства мощности как у ЭДС.

`Резистор` - это элемент, обладающий свойством только рассеивать(потреблять).
Соотношение между током и напряжением в резисторе $u = Ri, i = uG$
. Направление тока и напряжение в нем всегда направлены в одну сторону, поэтому $p = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} = u^2 G > 0$
$G = \frac{1}{R}$ - проводимость.



`Катушка индуктивности` - элемент, обладающий только свойством накапливать(и отдавать) энергию магнитного поля.
$u_L = L\frac{di}{dt};\ \ i = \frac{1}{L}\int udt = \frac{1}{L}\int_0^t udt + i_L(0)$
L - параметр элемента (Гн).

1. Напряжение на зажимах возникает только когда есть изменение тока. Если изменения тока нет, то $U_0 = 0$(закоротка), а элемент накопил энергию $W = \frac{Li^2}{2}$.
2. Если $p = ui > 0$, то энергия запасается.
3. Если $p = ui < 0$, то энергия возвращается в цепь.
4. $\forall t \neq 0$ запасенная энергия $W = \frac{Li^2}{2} > 0$
5. Внезапное скачкообразное изменение тока через индуктивность невозможно, то-есть $i_L(-t_1) = i_L(+t_1)$

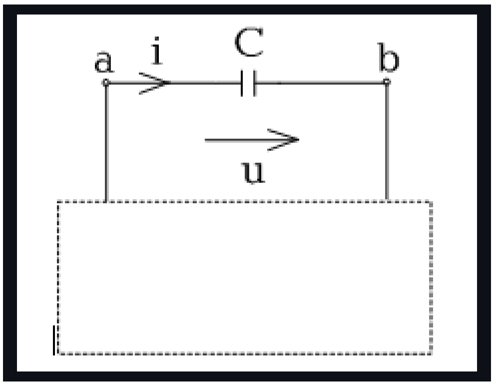


`Конденсатор` - емкостный элемент, который обладает свойством только запасать энергию эл. поля.
$i_C = C\frac{du_C}{dt}$
$u_C = \frac{1}{C}\int i_c dt = \frac{1}{C}\int_0^t i_C dt + u_C(0)$
C - параметр элемента (Ф).

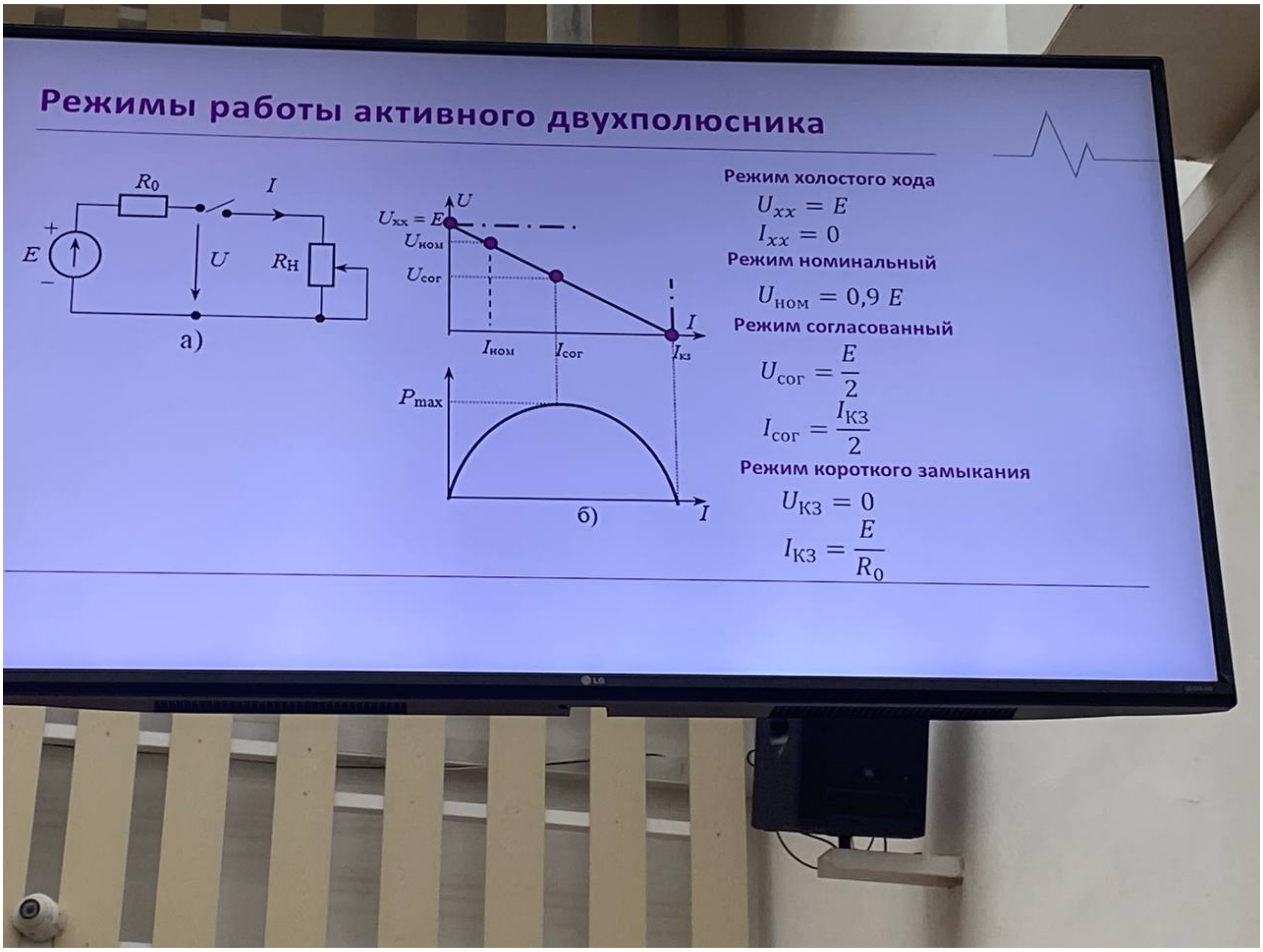
1. Ток через конденсатор протекает по причине изменения напряжения на его зажимах.
2. Если изменений напряжения нет, то $u = const \neq 0$, то $i = 0$ (разрыв цепи), а элемент накопил $W_E = \frac{Cu^2}{2}$.
3. Мощность $p = \frac{dW}{dt} = uC\frac{du}{dt} = ui$ положительна в те промежутки времени, когда ток сонаправлен с напряжением, тогда энергия в конденсаторе накапливается.

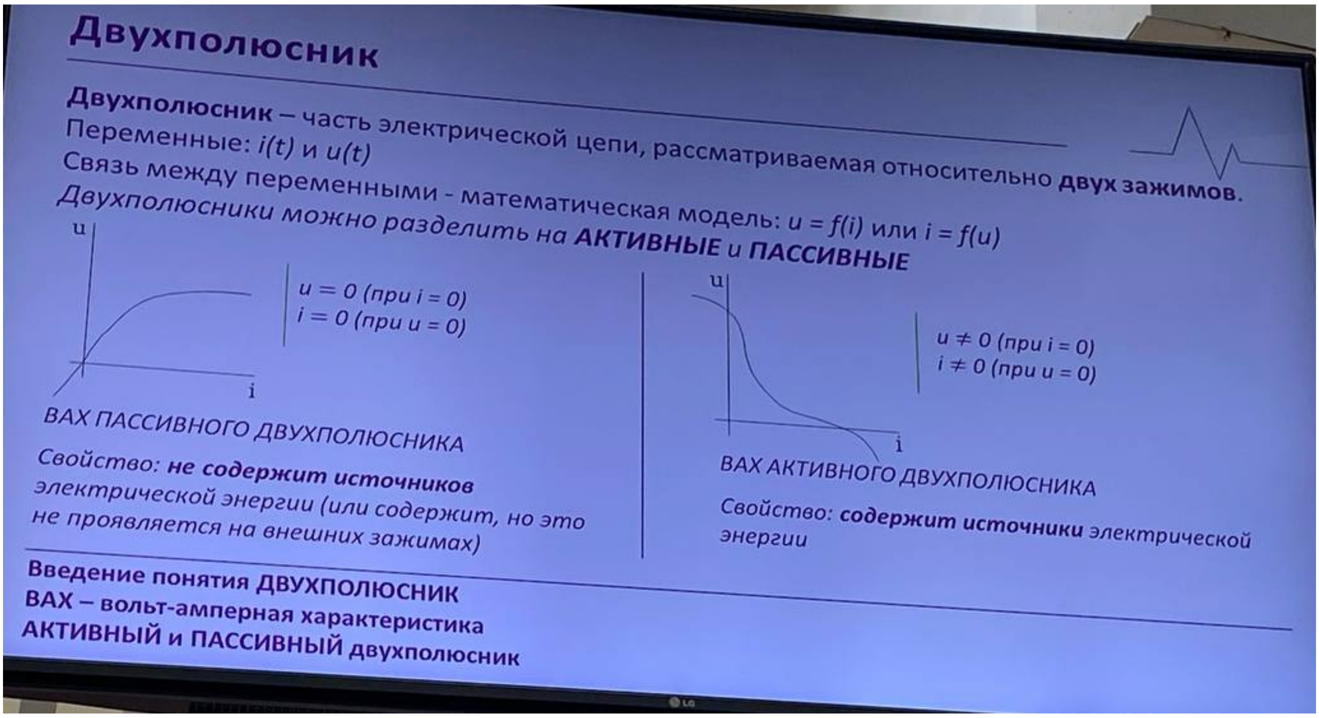
4. Невозможны скачки напряжения, как невозможны и резкие изменения запасенной энергии. $u_C(-t_1) = u_C(+t_1)$

- Закоротка - $\forall i, u = 0$
- Разрыв цепи - $\forall u, i = 0$



1.11 ВАХ и режимы работы активного линейного двухполюсника.





1. Режим холостого хода:

   $U_{xx} = E$

   $I_{xx} = 0$

2. Режим номинальный:

   $U_{ном} = 0.9E$

3. Режим согласованный:
$U_{сог} = \frac{E}{2}$
$I_{сог} = \frac{I_{кз}}{2}$
4. Режим короткого замыкания:
$U_{кз} = 0$
$I_{кз} = \frac{E}{R_0}$

1.12 Теорема Тевенина-Гельмгольца об эквивалентном источнике напряжения.

> Ток в любой ветви линейной электрической цепи не изменится, если активный двухполюсник, к которому подключена данная ветвь, заменить эквивалентным источником напряжения с задающими напряжением, равным напряжению холостого хода на зажимах разомкнутой ветви, и внутренним сопротивлением, равным эквивалентному входному сопротивлению пассивного двухполюсника со стороны разомкнутой ветви.

1.13 Теорема Нортона об эквивалентном источнике тока

> Ток в любой ветви линейной электрической цепи не изменится, если активный двухполюсник, к которому подключена данная ветвь, заменить эквивалентным источником тока с задающим током, равным току короткого замыкания этой ветви, и внутренней проводимостью, равной эквивалентной входной проводимости со стороны разомкнутой ветви.

1.14 Закон Ома. Формульные соотношения токов и напряжений для R, L, C.

Закон Ома устанавливает соотношение между током, протекающим через какой-либо двухполюсник, и напряжение на его зажимах. Для идеальных пассивных элементов:
$u = Ri; \quad u_L = L\frac{di}{dt}; \quad i_C = C\frac{du}{dt}$

1.15 I Закон Кирхгофа, узловое уравнение.

> Суммарный втекающий ток в какой-либо замкнутый объем равен суммарному вытекающему току.

Под замкнутым объемом понимается узел или отсечение.
$\Sigma_k i_k = 0$ или $\Sigma_k i_k = \Sigma_k J_k$
Все входящие токи положительны, а выходящие отрицательны.

1.16 Вывод формульных соотношений для R, L, C при параллельном соединении.

1. Для резистора:
   $\frac{u}{R_э} = i_{вх} = \Sigma_k i_k = \Sigma_k \frac{u_k}{R_k} = u\Sigma_k \frac{1}{R_k} \implies \frac{1}{R_э} = \Sigma_k \frac{1}{R_k}$ или $G_э = \Sigma_k G_k$
2. Для конденсатора:
   $i_{вх} = \Sigma_k i_k = \Sigma_k C_k \frac{du_k}{dt} = \frac{du}{dt}\Sigma_k C_k \implies C_э = \Sigma_k C_k$
3. Для индуктивности:
   $i_{вх} = \Sigma_k i_k = \Sigma_k \frac{1}{L_k} \int u_k dt = \int u_k dt * \Sigma_k \frac{1}{L_k} \implies \frac{1}{L_э} = \Sigma_k \frac{1}{L_k}$

1.17 II Закон Кирхгофа, контурное уравнение.

$u = \varphi_1 - \varphi_2$
$\Sigma u_k = \varphi_a - \varphi_b + \varphi_b - \varphi_c \cdots - \varphi_a = 0$

> Сумма напряжений на двухполюсниках любого замкнутого контура равна нулю

$\Sigma u_k = \Sigma e_k$
В левой его части используются напряжения со знаком +, совпадающие с направлением обхода контура, в правой ЭДС совпадающие с тем же направлением обхода.

Контурное уравнение для последовательно соединенных ЭДС, резистора, конденсатора и катушки:
$Ri + \frac{1}{C} \int idt + L\frac{di}{dt} = e(t)$

1.18 Вывод формульных соотношений для R, L, C при последовательном соединении.

$U_{вх} = \Sigma U_k = \Sigma U_{C_k} + \Sigma U_{R_k} + \Sigma U_{L_k} = \Sigma i_k R_k + \Sigma \frac{1}{C_k} \int i_k dt + \Sigma L_k \frac{di}{dt} = \Sigma e_k$
$\frac{1}{C_э} = \Sigma \frac{1}{C_k}$
$R_э = \Sigma R_k$
$L_э = \Sigma L_k$

1.26 Баланс мощностей

`Баланс мощностей` – это выражение закона сохранения энергии, в электрической цепи. Определение баланса мощностей звучит так: сумма мощностей потребляемых приемниками, равна сумме мощностей отдаваемых источниками.
$\Sigma P_{пр} = \Sigma P_{ист}$
$\Sigma I_k^2 R_k = \Sigma E_k I_k$

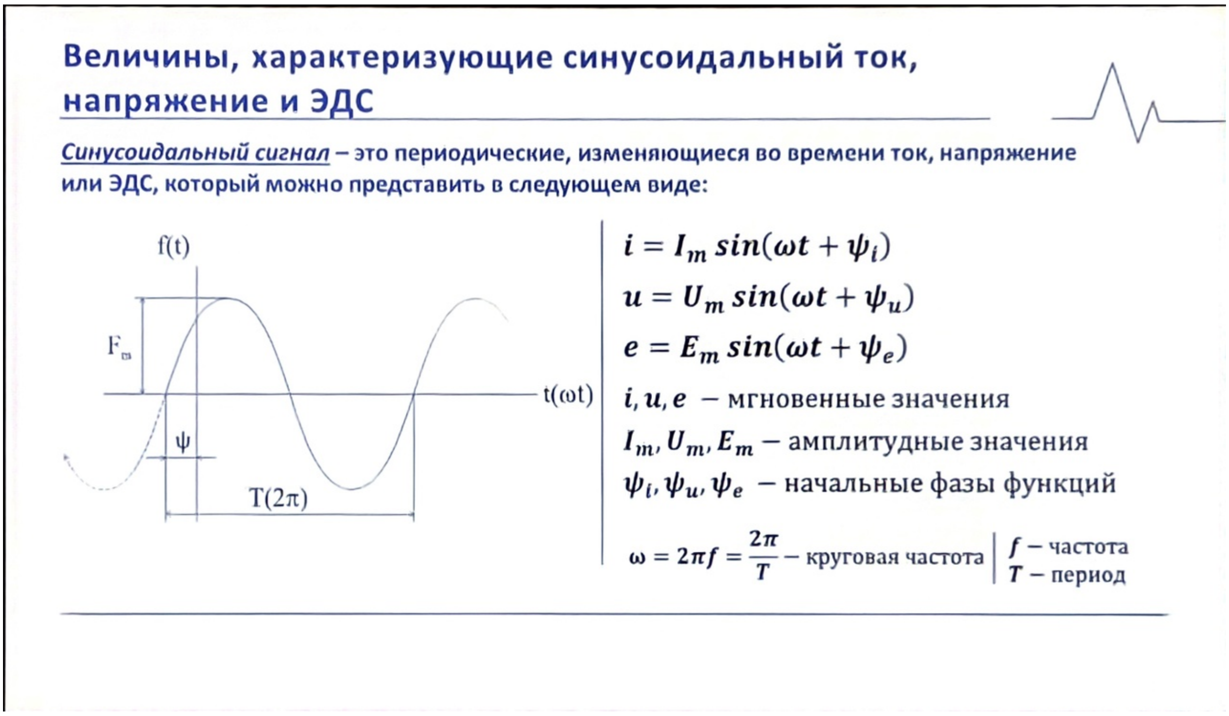
2. Постоянный ток

3. Однофазный синусоидальный ток

3.27 Величины, характеризующие синусоидальный ток, напряжение и ЭДС.

1. $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$
2. $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$

3. $e = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$



- Амплитуда - максимальная точка отклонения. (I_m, U_m, E_m)
- Период - время, за которое совершается одно полное колебание.
- Частота f равна числу колебаний в 1с. $f = \frac{1}{T}$
- Угловая частота $\omega = 2\pi f$
- Фаза - аргумент синуса. Характеризует состояние колебания в момент времени t.
- Любая синусоидально изменяющаяся функция определяется тремя величинами:
  1. Амплитудой
  2. Угловой частотой
  3. Начальной фазой

3.28 Характеристики синусоидально изменяющихся величин.

Характеристики синусоидально изменяющихся величин

Среднее значение (по модулю) синусоидального тока:

$$I'_{CP} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} I_m \; \sin\omega\, t\, dt = \frac{-2}{T}\,\frac{I_m T}{2\pi}\Big|_0^{T/2} Cos\,\omega\, t = \frac{2}{\pi} I_m = 0,636 I_m$$

Среднеквадратичное (эффективное, действующее, RMS) значение синусоидального тока :*

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} I_m^2 \sin^2\omega\, t\; d(\omega t)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{1}{2}(1-\cos 2\,\omega t)\; d(\omega t)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

Коэффициент амплитуды:

$$K_a = \frac{I_m}{I} = \sqrt{2} = 1,41$$

Коэффициент формы

$$K_\Phi = \frac{I}{I'_{CP}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$$

$$U'_{CP} = \frac{2}{\pi} I_m = 0,636 U_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$$

$$K_a = \frac{U_m}{U} = \sqrt{2} = 1,41$$

$$K_\Phi = \frac{U}{U'_{CP}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$$

$$E'_{CP} = \frac{2}{\pi} E_m = 0,636 E_m$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0,707 E_m$$

$$K_a = \frac{E_m}{E} = \sqrt{2} = 1,41$$

$$K_\Phi = \frac{E}{E'_{CP}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$$

**RMS (rms) - root mean square*

Характеристики синусоидально изменяющихся величин

$$Q = i^2 R t$$

Количество теплоты, выделяемое постоянным током за тот же период времени:

$$Q_{DC} = I_{DC}^2 R T$$

Количество теплоты, выделяемое синусоидальным током за период:

$$Q_{AC} = i^2 R t = R\int_0^T i^2 dt = R\int_0^T I_m^2 \sin^2 t\;\; d(t) = R I_m^2 \int_0^T \frac{1}{2}(1-\cos 2\,t)\; d(t) = RT\frac{I_m^2}{2}$$

$$Q_{AC} = Q_{DC}$$

$$I_{DC}^2 RT = RT\frac{I_m^2}{2}$$

$$I_{DC} = I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Соотношение постоянного и переменного тока

3.29 Изображение синусоидально изменяющихся величин на комплексной плоскости.

- Формула Эйлера:

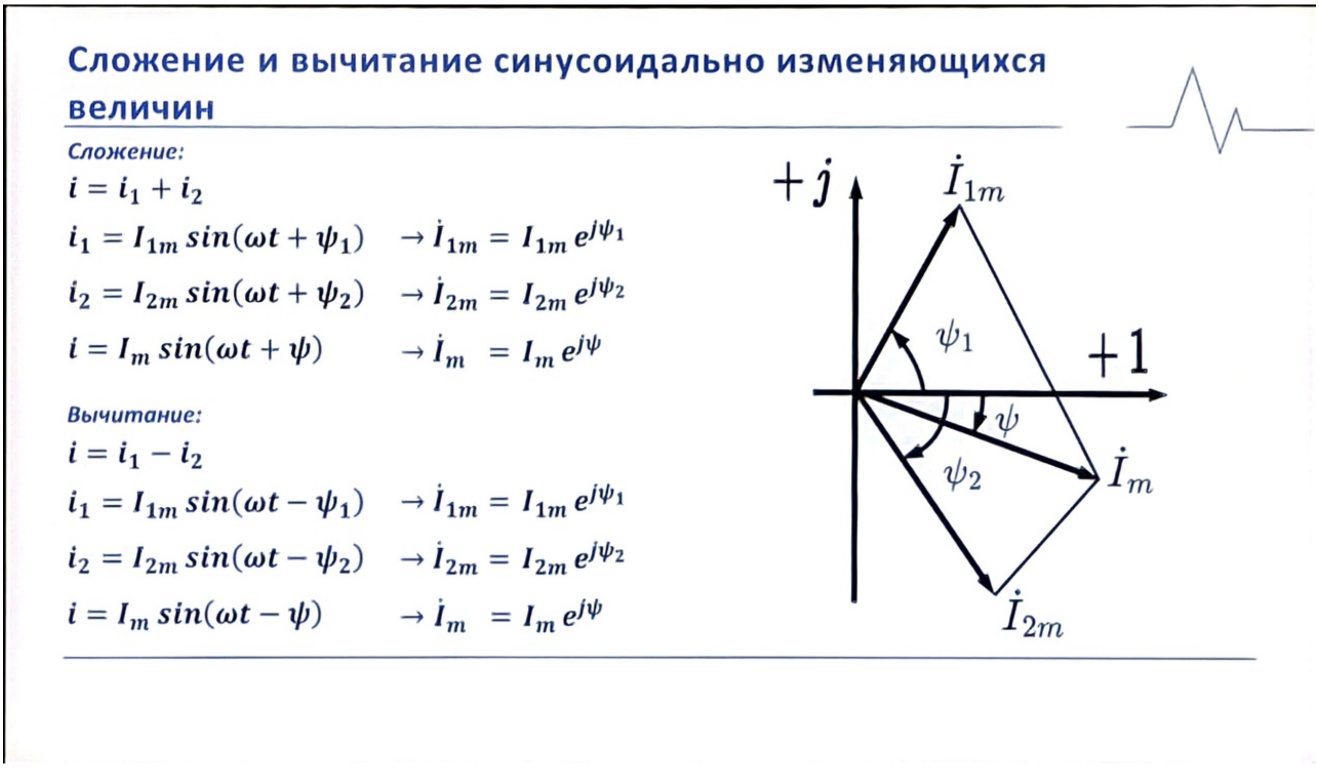
  $e^{j\alpha} = \cos\alpha + j\sin\alpha$

  $I_m e^{j\alpha} = I_m\cos\alpha + jI_m\sin\alpha$

  $I_m e^{j(\omega t+\psi)}$, при $\omega t = 0 \implies I_m e^{j\psi} = \dot{I}_m$ - комплексная амплитуда тока.

$\dot{I} = \frac{\dot{I}_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m e^{j\psi}}{\sqrt{2}}$- комплекс действующего тока.

3.30 Сложение и вычитание синусоидально изменяющихся величин.



3.31 Вывод выражения для мощности на резистивном элементе.

$i = I_m \sin \omega t$

$u = Ri = RI_m \sin \omega t = U_m \sin \omega t$

$p = ui = I_m U_m \sin^2 \omega t = \frac{I_m U_m}{2} 1 - \cos 2\omega t$

$p = \frac{I_m U_m}{2} - I_m U_m \cos 2\omega t$

$\frac{I_m U_m}{2}$ - постоянное смещение.

$I_m U_m \cos 2\omega t$ - функция косинуса

3.32 Вывод выражения для мощности на индуктивном элементе.

$L = \frac{\psi}{i}$

$\psi = n\Phi$

$\Phi = BS \cos \alpha$

$i=I_m\sin\omega t$
$e_L=-L\frac{di}{dt}=-\omega L I_m\cos\omega t=\omega L I_m\sin(\omega t-90^\circ)$
$u_{ab}=u=-e_L=L\frac{di}{dt}=\omega L I_m\sin(\omega t+90^\circ)=X_L I_m\sin(\omega t+90^\circ)=U_m\sin(\omega t$
$p=I_m\sin(\omega t)*U_m\cos(\omega t)=\frac{I_m U_m}{2}\sin 2\omega t$

3.33 Вывод выражения для мощности на емкостном элементе.

$C=\frac{q}{u}$
$u=U_m\sin\omega t$
$q=Cu=CU_m\sin\omega t$
$i=\frac{dq}{dt}=\omega C U_m\cos\omega t=\frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}\sin(\omega t+90^\circ)$
$X_C=\frac{1}{\omega C}$
$I_m=\frac{U_m}{X_C}$
$p=I_m\cos(\omega t)*U_m\sin(\omega t)=\frac{I_m U_m}{2}\sin(2\omega t)$

3.34 Мгновенная мощность.

Протекание синусоидальных токов по участкам электрической цепи сопровождается потреблением энергии от источников. Скорость поступления энергии характеризуется `мощностью`. Под `мгновенной мощностью`, понимают произведение мгновенного значения напряжения u на участке цепи на мгновенное значение тока i, протекающего по этому участку: $p=ui$,
где p - функция времени.

3.35 Активная мощность

Под активной мощностью P понимают среднее значение мгновенной мощности p за период T : $$
P=\frac{1}{T}\int*{0}^Tpdt=\frac{1}{T}\int*{0}^Tuidt

$Еслиток\$i=I_m\sin\omega t\$, напряжениенаучасткецепи\$u=U_m\sin(\omega t+\varphi)\$, то\$\$$

Активная мощность физически представляет собой энергию, которая выделяется в единицу времени в виде теплоты на участке цепи на резисторе. Предполагается, что в 1с укладывается целое число периодов T. Т.к. $U\cos\varphi = IR \implies P = UI\cos\varphi = I^2R$ (Вт)

- $\cos\varphi$ - коэффициент мощности.
- Активная составляющая мощности всегда неотрицательна $P \geq 0$

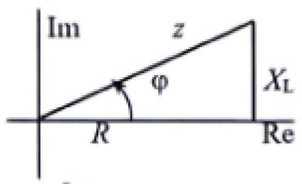
3.36 Реактивная мощность.

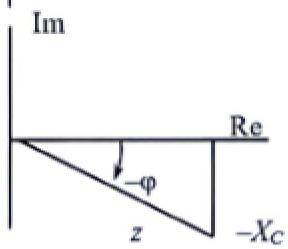
Под реактивной мощностью Q подразумевают произведение напряжения на ток по этому участку цепи на синус угла между ними.

$$Q = UI\sin\varphi = XI^2$$

$$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

Единица реактивной мощности - вольт-ампер реактивный (ВАР)
Если $\sin\varphi > 0$, то $Q > 0$ и индуктивная составляющая превышает емкостную ,а если $\sin\varphi < 0$, то $Q < 0$ и емкостная составляющая превышает индуктивную.





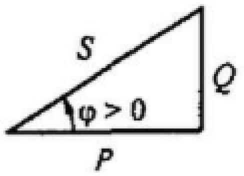
3.37 Полная мощность.

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

Единица измерения полной мощности — В·А (вольт-ампер).
Практическое значение полной мощности в том, что она описывает нагрузки, которые потребитель накладывает на элементы подводящей электросети (провода, кабели, распределительные

щиты, трансформаторы, линии электропередачи). Эти нагрузки зависят от потребляемого тока, а не от фактически использованной потребителем энергии.

3.38 Треугольники мощностей.



Мощность в комплексной форме:
$\dot{U} = Ue^{j\varphi_u}$
$\dot{I} = Ie^{-j\varphi_i}$
$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$
$\tilde{S} = \dot{U}\dot{I} = UIe^{j(\varphi_u - \varphi_i)} = UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi = P + jQ$
Соответственно: $P = \mathrm{Re}(\dot{U}\dot{I})$ и $Q = \mathrm{Im}(\dot{U}\dot{I})$ и $|\tilde{S}| = S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

3.39 Баланс мощностей.

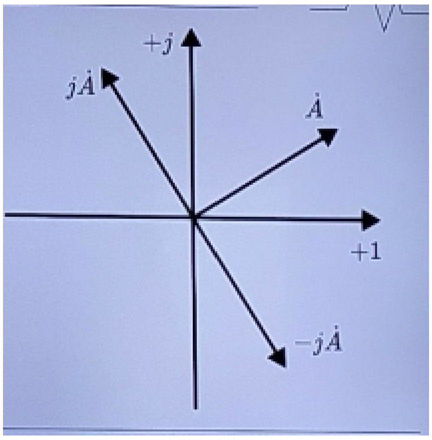
$\Sigma U_{ucm} I_{ucm} \cos\varphi = \Sigma R I_R^2$
$\Sigma P_{ucm} = \Sigma P_R$
и
$\Sigma U_{ucm} I_{ucm} \sin\varphi = \Sigma X_L I_L^2 - \Sigma X_C I_C^2$
$\Sigma Q_{ucm} = \Sigma Q_L - \Sigma Q_C$

> Сумма мгновенных мощностей всех источников равна сумме мгновенных мощностей всех приемников энергии.

3.40 Работа с комплексными числами (КЧ): формула Эйлера, три формы представления КЧ, преобразование из одной формы в другую, домножение КЧ на j, комплексносопряженное.

$\dot{A} = Ae^{j\varphi_a}$
$j\dot{A} = Ae^{j\varphi_a}e^{\pi/2} = Ae^{j(\varphi_a + \pi/2)}$

$-j\dot{A} = Ae^{j\varphi_a}e^{-j\pi/2} = Ae^{j(\varphi_a-\pi/2)}$



Три формы представления:

- Алгебраическая форма представления:
  $a + jb$
- Показательная форма:
  $ce^{i\varphi}$
- Тригонометрическая форма представления:
  $c\cos\varphi + jc\sin\varphi$

Преобразования форм:

$a + jb = \sqrt{a^2 + b^2} * e^{j\arctan b/a} = ce^{j\varphi} = c\cos\varphi + jc\sin\varphi$
$a = c\cos\varphi$
$b = jc\sin\varphi$
$\overline{a + jb} = a - jb = ce^{-j\varphi} = c(\cos\varphi - j\sin\varphi)$

3.41 Символический метод расчёта цепей синусоидального тока.

При синусоидальном токе выполняется переход от ДУ, составленных для мгновенных значений к алгебраическим уравнениям, составленным относительно комплекса тока и ЭДС.
$i \to \dot{I}_m$
$e \to \dot{E}_m$
$u_R = Ri \to R\dot{I}_m$

$u_L = L\frac{di}{dt} \to j\omega L\dot{I}_m$
$u_C = \frac{1}{c}\int idt \to -\frac{j}{\omega C}\dot{I}_m$

- u_R совпадает с i
- u_L опережает i
- u_C отстает от i
  Символический метод также называют комплексным методом.
  Напряжение на индуктивности опережает ток в цепи на $\frac{\pi}{2}$ поэтому умножаем на j.
  Напряжение на емкости отстает от тока в цепи на $\frac{\pi}{2}$ поэтому умножаем на $-j$.

3.42 Вывод комплексного сопротивления для последовательного RLC контура. Закон Ома для цепей синусоидального тока через сопротивление. Треугольник сопротивлений.

$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$
$Z = R + j(X_L - X_C) = R + jX = ze^{j\varphi}$
$z = \sqrt{R^2 + X^2}$
$\dot{I}_m = \frac{\dot{E}_m}{\left(R+j\left(\omega L-\frac{1}{wC}\right)\right)} = \frac{\dot{E}_m}{Z}$
$\dot{I} = \frac{\dot{E}}{Z}$

3.43 Вывод комплексной проводимости для последовательного RLC контура. Закон Ома для цепей синусоидального тока через проводимость. Треугольник проводимостей.

$Y = \frac{1}{Z} = g - jb = ye^{j\varphi}$
$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R+jX} = \frac{R-jX}{R^2+X^2} = \frac{R}{R^2+X^2} - j\frac{X}{R^2+X^2} = g - jb$
$g = \frac{R}{R^2+X^2}$
$b = \frac{X}{R^2+X^2}$
$y = \sqrt{g^2 + b^2}$

$\dot{I} = \dot{U}g - j\dot{U}b = \dot{I}_a + \dot{I}_r$ - закон Ома для цепи синусоидального тока через проводимость.

4. Резонанс

4.44 Характер полного входного сопротивления двухполюсника.

$Z_{вх} = \frac{\dot{E}}{\dot{I}}$
$Z_{вх} = R_{вх} + jX_{вх} = ze^{i\varphi}$
$X_{вх} > 0$ - индуктивный характер
$X_{вх} < 0$ - емкостный характер
$X_{вх} = 0$ - чисто активный характер

4.45 Полное входное сопротивление в режиме резонанса, условие резонанса, разновидности резонанса.