

# 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:  $\bar{D} = \bar{\epsilon} \bar{E}$ ;  $\bar{B} = \bar{\mu} \bar{H}$ ;  $\bar{\delta} = \bar{\gamma} \bar{E}$
5.  $\bar{P} = \bar{E} \times \bar{H}$  - 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 приносить 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 ( $\Omega$ ) 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.  $u, i, e, p, w$ .

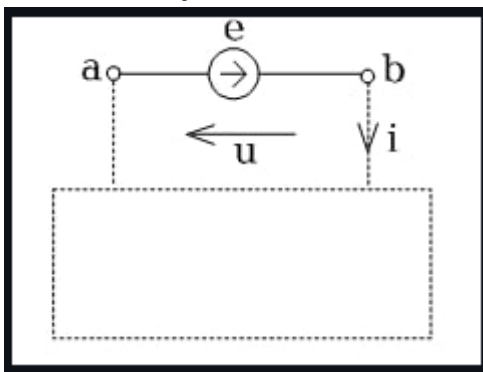
Сама система включает элементы системы, задаваемые их параметрами и характер взаимодействия (соединения) этих элементов. Физически каждый элемент может :

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

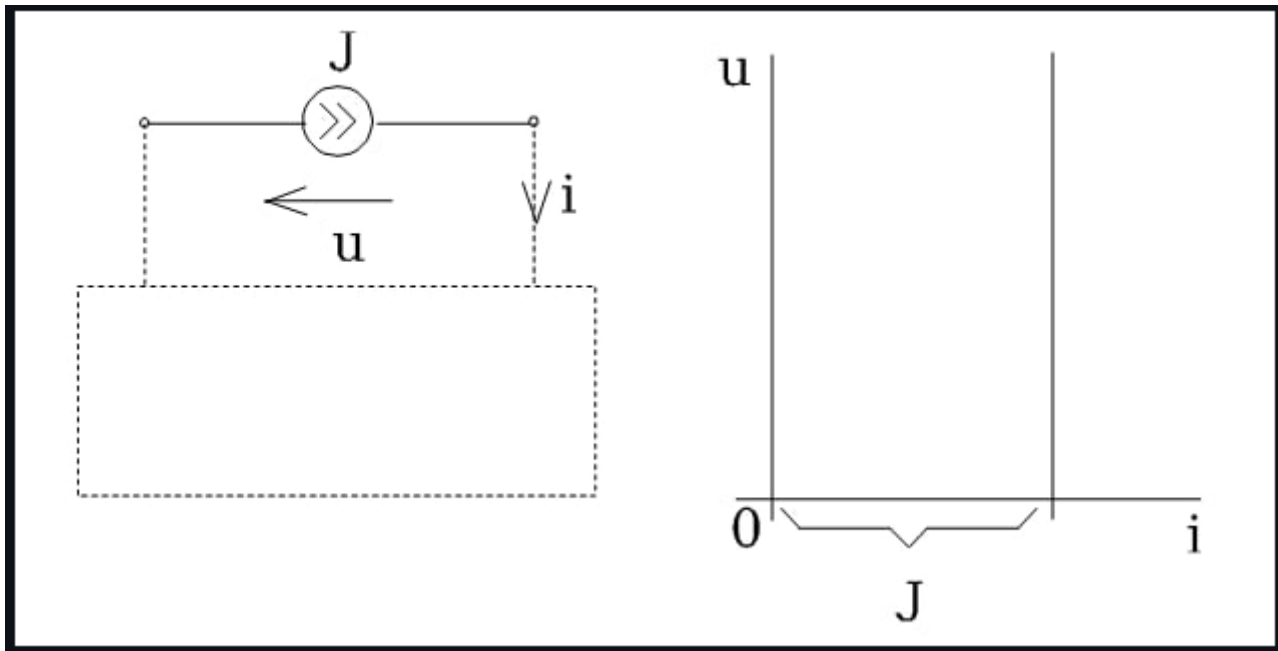
Идеальный источник ЭДС - генерирует электроэнергию так, чтобы напряжение на его зажимах не зависело от протекающего через него тока. Стрелка в круге показывает направление внутренних сил. Напряжение отмечается стрелкой от большего потенциала к меньшему.



1.  $R_{\text{вн}} = 0$
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 - приблизительно можно представить как реальный источник с большим напряжением и большим внутренним сопротивлением, подключенный к потребителю с малым

сопротивлением.

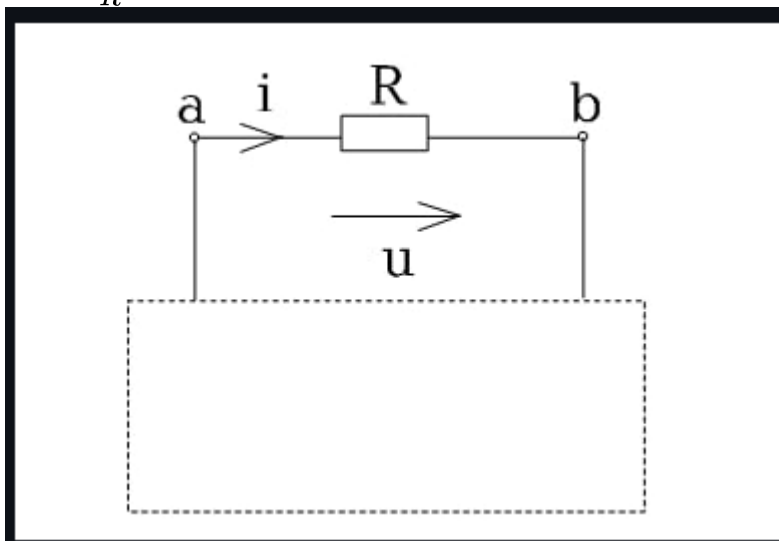


1.  $R_{\text{вн}} = \infty$
2. Ток  $i = J$
3. Напряжение  $u$  - любое.
4. Свойства мощности как у ЭДС.

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.

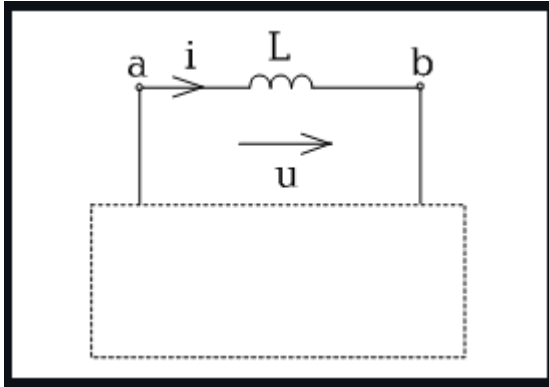


**Катушка индуктивности** - элемент, обладающий только свойством накапливать(и отдавать) энергию магнитного поля.

$$u_L = L \frac{di}{dt}; \quad i = \frac{1}{L} \int u dt = \frac{1}{L} \int_0^t u dt + i_L(0)$$

$L$  - 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.

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

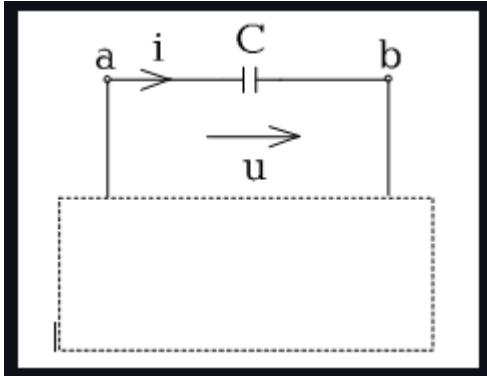
$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt = \frac{1}{C} \int_0^t i_C dt + u_C(0)$$

$C$  - 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.  $u_C(-t_1) = u_C(+t_1)$

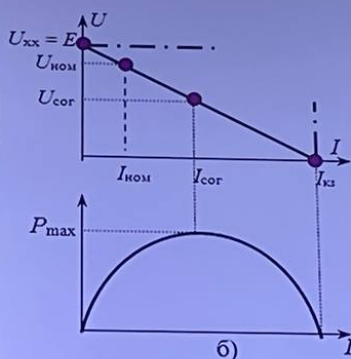
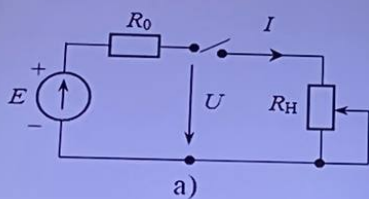
- Закоротка -  $\forall i, u = 0$
- Разрыв цепи -  $\forall u, i = 0$



### 1.11 ВАХ и режимы работы активного линейного двухполюсника.



## Режимы работы активного двухполюсника



Режим холостого хода

$$U_{xx} = E$$

$$I_{xx} = 0$$

Режим номинальный

$$U_{ном} = 0,9 E$$

Режим согласованный

$$U_{сог} = \frac{E}{2}$$

$$I_{сог} = \frac{I_{кз}}{2}$$

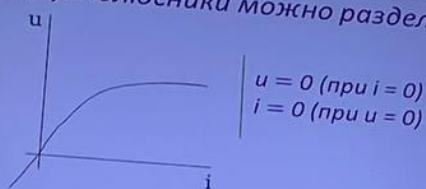
Режим короткого замыкания

$$U_{кз} = 0$$

$$I_{кз} = \frac{E}{R_0}$$

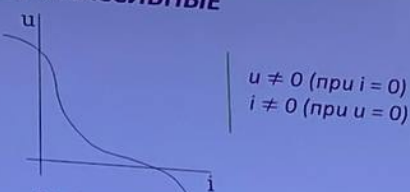
## Двухполюсник

**Двухполюсник** – часть электрической цепи, рассматриваемая относительно **двух зажимов**.  
Переменные:  $i(t)$  и  $u(t)$   
Связь между переменными – математическая модель:  $u = f(i)$  или  $i = f(u)$   
Двухполюсники можно разделить на **АКТИВНЫЕ** и **ПАССИВНЫЕ**



ВАХ ПАСИВНОГО ДВУХПОЛЮСНИКА

Свойство: **не содержит источников** электрической энергии (или содержит, но это не проявляется на внешних зажимах)



ВАХ АКТИВНОГО ДВУХПОЛЮСНИКА

Свойство: **содержит источники** электрической энергии

**Введение понятия ДВУХПОЛЮСНИК**  
ВАХ – вольт-амперная характеристика  
**АКТИВНЫЙ** и **ПАССИВНЫЙ** двухполюсник

1. Режим холостого хода:

$$U_{xx} = E$$

$$I_{xx} = 0$$

2. Режим номинальный:

$$U_{ном} = 0,9 E$$

### 3. Режим согласованный:

$$U_{co2} = \frac{E}{2}$$

$$I_{co2} = \frac{I_{кз}}{2}$$

### 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 Нортон 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.

$$\sum_k i_k = 0 \text{ или } \sum_k i_k = \sum_k J_k$$

Все входящие токи положительны, а выходящие отрицательны.

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

1. Для резистора:

$$\frac{u}{R_{\Sigma}} = i_{\text{вх}} = \sum_k i_k = \sum_k \frac{u_k}{R_k} = u \sum_k \frac{1}{R_k} \implies \frac{1}{R_{\Sigma}} = \sum_k \frac{1}{R_k} \text{ или } G_{\Sigma} = \sum_k G_k$$

2. Для конденсатора:

$$i_{\text{вх}} = \sum_k i_k = \sum_k C_k \frac{du_k}{dt} = \frac{du}{dt} \sum_k C_k \implies C_{\Sigma} = \sum_k C_k$$

3. Для индуктивности:

$$i_{\text{вх}} = \sum_k i_k = \sum_k \frac{1}{L_k} \int u_k dt = \int u_k dt * \sum_k \frac{1}{L_k} \implies \frac{1}{L_{\Sigma}} = \sum_k \frac{1}{L_k}$$

## 1.17 II Закон Кирхгофа, контурное уравнение.

$$u = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$\sum u_k = \varphi_a - \varphi_b + \varphi_b - \varphi_c \dots - \varphi_a = 0$$

Сумма напряжений на двухполюсниках любого замкнутого контура равна нулю

$$\sum u_k = \sum e_k$$

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:

$$Ri + \frac{1}{C} \int i dt + L \frac{di}{dt} = e(t)$$

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

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

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \Sigma \frac{1}{C_k}$$

$$R_{\Sigma} = \Sigma R_k$$

$$L_{\Sigma} = \Sigma L_k$$

## 2. Постоянный ток

### 2.19 Свойства цепей и элементов на постоянном токе.

Свойства цепей и элементов на постоянном токе (ПДК) можно рассмотреть в контексте основных электрических компонентов и их поведения в цепях. Основные свойства включают в себя:

#### 1. Омический закон

Закон Ома описывает зависимость между напряжением, током и сопротивлением в цепи. Он формулируется как:

$$V = I \cdot R$$

где:

- $V$  — напряжение (Вольты),
- $I$  — ток (Амперы),
- $R$  — сопротивление (Омы).

#### 2. Резисторы

- Резисторы ограничивают ток в цепи и преобразуют электрическую энергию в тепловую.
- Сопротивление резистора остается постоянным вне зависимости от приложенного напряжения и протекающего тока (для линейных резисторов).

#### 3. Конденсаторы

- В цепях постоянного тока конденсаторы в конечном итоге заряжаются до напряжения источника и прекращают пропускать ток.
- Сопротивление конденсатора в постоянном токе можно рассматривать как бесконечное, то есть конденсатор действует как разрыв в цепи после зарядки.

#### 4. Индуктивности

- Индуктивности (катушки) в цепях постоянного тока ведут себя как короткое замыкание после достижения установившегося состояния.
- В начальный момент времени, при включении, индуктивность противодействует изменению тока, создавая эффект задержки.

#### 5. Закон Кирхгофа

- **Закон напряжений (Кирхгоф):** сумма всех напряжений в замкнутом контуре равна нулю.
- **Закон токов (Кирхгоф):** сумма всех токов, входящих в узел, равна сумме всех токов, выходящих из узла.

#### 6. Параллельные и последовательные соединения

- **Последовательное соединение:** ток одинаковый во всех элементах, а напряжение складывается. Общее сопротивление:
- **Параллельное соединение:** напряжение одинаковое для всех элементов, а ток складывается. Общее сопротивление:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

#### 7. Энергия и мощность

- Электрическая мощность в цепи постоянного тока рассчитывается по формуле:

$$P = V \cdot I$$

где  $P$  — мощность (Ватты).

#### 8. Полярность

- В цепях постоянного тока важна полярность, поскольку элементы, такие как диоды и конденсаторы, могут работать только при определенной полярности.

Эти свойства являются основой для анализа и проектирования электрических цепей на постоянном токе и играют важную роль в электронике и электротехнике.

## 2.20 Последовательное соединение резисторов (делитель напряжения).

Последовательное соединение резисторов (рис. 3-1)

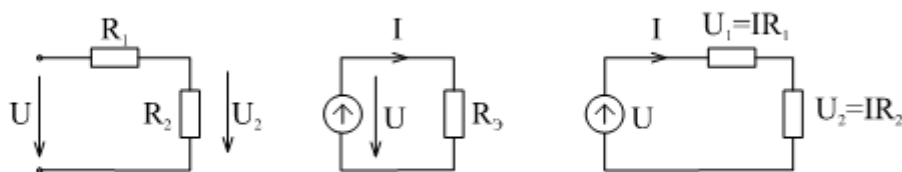


Рис. 3-1

На рисунке показана процедура анализа фрагмента цепи состоящей из двух последовательно соединенных резисторов  $R_1$  и  $R_2$ .

1.  $R_{\Sigma} = R_1 + R_2$  эквивалентная замена.

2.  $I_2 = I_1 = \frac{E}{R_{\Sigma}}$  - закон Ома.

3.  $U_1 = IR_1$ ,  $U_2 = IR_2$  - закон Ома.

4.  $U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$  и  $U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ .

Конечно, практически нет необходимости так подробно это записывать. Обычно для полного анализа сразу вычисляют:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}, \quad U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{и} \quad U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

последние две формулы являются формулами делителя напряжения.

## 2.21 Параллельное соединение резисторов (делитель тока).

### Параллельное соединение элементов - делитель тока

При анализа фрагмента цепи, содержащего два параллельно соединенных резистора (рис. 3-2) можно рассуждать в следующем порядке:

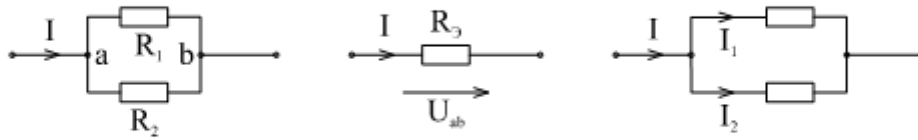


Рис. 3-2

1. Эквивалентная замена:

$$\frac{1}{R_{\gamma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ или } R_{\gamma} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2};$$

2. По закону Ома:

$$U_{ab} = I R_{\gamma};$$

3. Формулы делителя тока:

$$I_1 = \frac{U_{ab}}{R_1} = I \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2) R_1} = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Используя только эти два приема, можно анализировать довольно сложные схемы.

Например, для лестничной схемы, используя несколько раз преобразования, последовательных и параллельных ветвей можно получить одно эквивалентное сопротивление, как показано на рис. 3-3.

## 2.22 «Лестничное» соединение резисторов.

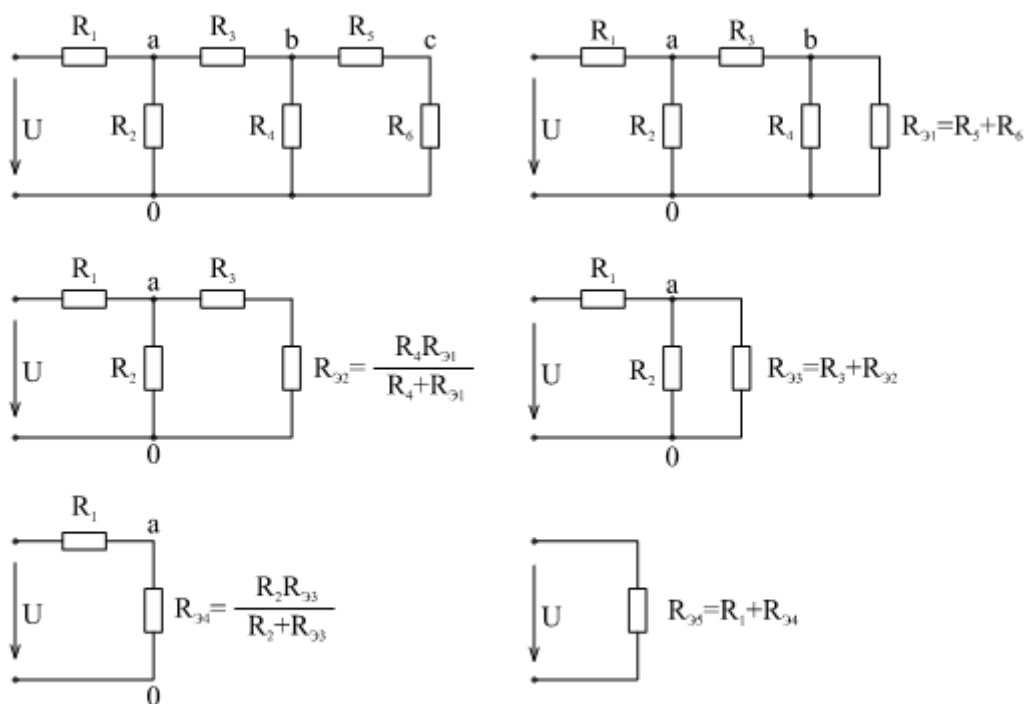


Рис. 3-3

Иногда, выразив параллельные ветви проводимостями:  $G_2 = \frac{1}{R_2}$ ;  $G_4 = \frac{1}{R_4}$  и т.д., получают ответ в виде лестничной дроби:

$$R_{35} = R_1 + \frac{1}{G_2 + \frac{1}{R_3 + \frac{1}{G_4 + \frac{1}{R_5 + \frac{1}{G_6}}}}}$$

Дальнейший анализ проводится в обратной последовательности:

1. Находится ток  $I_1 = \frac{U}{R_{\varphi 5}}$
2. По формуле делителя напряжения находится напряжение:

$$U_{a0} = U \frac{R_{\varphi 4}}{R_1 + R_{\varphi 4}}$$

3. По формуле делителя тока находятся токи:

$$I_2 = I_1 \frac{R_{\varphi 3}}{R_2 + R_{\varphi 3}}; I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_{\varphi 3}}$$

4. Продолжая подобную процедуру:

$$U_{b0} = I_3 R_{\varphi 2}; I_4 = I_3 \frac{R_{\varphi 1}}{R_4 + R_{\varphi 1}} \text{ и т.д. находятся все остальные токи и напряжения.}$$

При известных навыках методом преобразований легко решаются задачи анализа довольно сложных цепей с последовательно-параллельным соединением резисторов.

## 2.23 Вывод формульных соотношений для преобразования треугольника в трёхлучевую звезду и



обратно.

## 2.24 Метод эквивалентного генератора.

## 2.25 Вывод формульного соотношения условия работы активного двухполюсника в согласованном режиме.

## 2.26 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.

$$\Sigma P_{np} = \Sigma P_{ист}$$

$$\Sigma I_k^2 R_k = \Sigma E_k I_k$$

# 3. Однофазный синусоидальный ток

## 3.27 Величины, характеризующие синусоидальный ток, напряжение и ЭДС.

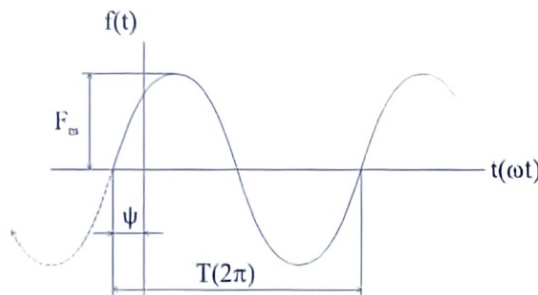
1.  $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$

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

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

### Величины, характеризующие синусоидальный ток, напряжение и ЭДС

Синусоидальный сигнал – это периодические, изменяющиеся во времени ток, напряжение или ЭДС, который можно представить в следующем виде:



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

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

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

$i, u, e$  – мгновенные значения

$I_m, U_m, E_m$  – амплитудные значения

$\psi_i, \psi_u, \psi_e$  – начальные фазы функций

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \text{ – круговая частота} \quad \left| \begin{array}{l} f \text{ – частота} \\ T \text{ – период} \end{array} \right.$$

- 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:

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

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

$$I_{DC}^2 R T = R T \frac{I_m^2}{2}$$

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

Соотношение постоянного и переменного тока

## 3.29 Изображение синусоидально изменяющихся величин на комплексной плоскости.

- Формула Эйлера:

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

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

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

тока.

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

### 3.30 Сложение и вычитание синусоидально изменяющихся величин.

#### Сложение и вычитание синусоидально изменяющихся величин

Сложение:

$$i = i_1 + i_2$$

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) \rightarrow \dot{I}_{1m} = I_{1m} e^{j\psi_1}$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \psi_2) \rightarrow \dot{I}_{2m} = I_{2m} e^{j\psi_2}$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi) \rightarrow \dot{I}_m = I_m e^{j\psi}$$

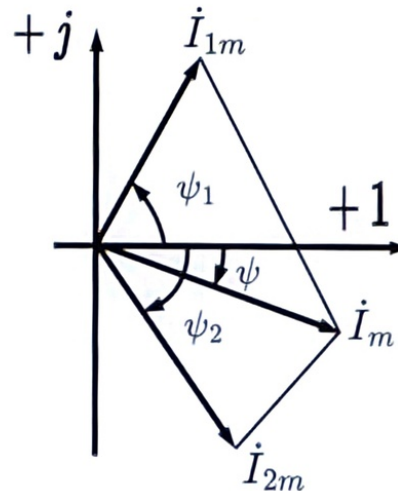
Вычитание:

$$i = i_1 - i_2$$

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t - \psi_1) \rightarrow \dot{I}_{1m} = I_{1m} e^{j\psi_1}$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t - \psi_2) \rightarrow \dot{I}_{2m} = I_{2m} e^{j\psi_2}$$

$$i = I_m \sin(\omega t - \psi) \rightarrow \dot{I}_m = I_m e^{j\psi}$$



### 3.31 Вывод выражения для мощности на резистивном элементе.

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

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

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

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

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

$$I_m U_m \cos 2\omega t - \text{функция косинуса}$$

### 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  $T$ :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

Если ток  $i = I_m \sin \omega t$ , напряжение на участке цепи  $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ , то \$\$

$$P = \frac{1}{T} \int I_m U_m \sin \omega t \sin(\omega t + \varphi) dt = \frac{I_m U_m}{2} \cos \varphi$$

Активная мощность физически представляет собой энергию, которая выделяется

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

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

Единица реактивной мощности - вольт-ампер реактивный (ВАР) Если  $\sin \varphi$

$$i_L(+0) = i_L(-0)$$

— Второй закон коммутации : в начальный момент времени после коммутации при  $t = 0$

$$u_C(+0) = u_C(-0)$$

##### 8.69 Общий порядок расчёта переходного процесса в цепях с одним накоп