Кубанский государственный технологический университет

Институт информационных технологий и безопасности

Кафедра компьютерных технологий и информационной безопасности

Учебная дисциплина

Электротехника и электроника

Лекция № 1

Основные понятия и законы электротехники. Классификация электрических цепей

Учебные вопросы:

1. Введение. Предмет и задачи дисциплины
2. Основные понятия электротехники
3. Основы топологии электрических цепей. Законы Кирхгофа.
4. Классификация электрических цепей

Литература:

1. Зевеке Г.В., Ионкин А.В., Страков С.В. Основы теории цепей: *Учебник для вузов*, - М.: Энергоатомиздат, 1999 г, с. 9 –21.

2. Бакалов В.П., Игнатов А.Н., Крук Б.И. Основы теории электрических цепей и электроники: *Учебник для вузов*, - М.: Радио и связь, 1999 г, с. 7 –19.

3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: *Учебник для вузов*, - М.: Высшая школа, 2003 г, с. 2 –21.

Предметом изучения дисциплины «Электротехника и электроника» являются избранные положения электротехники, а также основные типы электронных устройств, их характеристики и принципы построения электронных схем.

Целью изучения дисциплины «Электротехника и электроника» - формирование у студентов специальной базы знаний по основным направлениям использования электротехнических и электронных устройств и методов их анализа в области защиты информации.

Задача дисциплины – изучение студентами основных принципов передачи и хранения информации с помощью электромагнитных способов преобразования сигналов, принципов построения радиоэлектронных систем передачи информации, основных методов расчета и анализа энергетических параметров и характеристик цепей и устройств, а также особенностей обработки сигналов электронных цепей и устройств с образованием возможных каналов утечки информации.

Дисциплина изучается на 3-м курсе (5 и 6 семестры) - объемом 250 часов: аудиторные занятия – 144 часа, лекции – 72 часа, практические занятия – 36 часов, лабораторные занятия – 36 часов, самостоятельная работа – 116 часов, курсовая работа – 20 часов, экзамен – 5 семестр, зачет – 6 семестр.

2. Основные понятия электротехники

Электротехникой принято называть область практических применений электромагнитных явлений технических устройств сопровождающих производство, преобразование, передачу распределение и потребление электрической энергии.

Практически каждое такое техническое устройство состоит из совокупности разнообразных электрических цепей. ***Несмотря на относительную сложность таких цепей, они содержат ограниченное число сравнительно простых элементов.***

Электрической цепью называется совокупность устройств (элементов), предназначенных для передачи, распределения и взаимного преобразования электрической (электромагнитной) и других видов энергии, если процессы, протекающие в этих устройствах могут быть описаны при помощи понятий электрического тока, напряжения и электродвижущей силе.

Источником электрической энергии называют устройство, создающее (генерирующее) электрические токи и напряжения.

Первичные источники (преобразующие различные виды энергии в электрическую): аккумуляторы, электромашинные генераторы, термоэлементы, фотодиоды, пьезодатчики и т.д.

Вторичные источники (преобразующие электрическую энергию первичных источников в энергию электрических колебаний требуемой формы): генераторы или преобразователи электрических колебаний.

Приемником электрической энергии называют устройство, потребляющее (запасающее) или преобразующее электрическую энергию в другие виды энергии (тепловую, световую, механическую и т.д.)

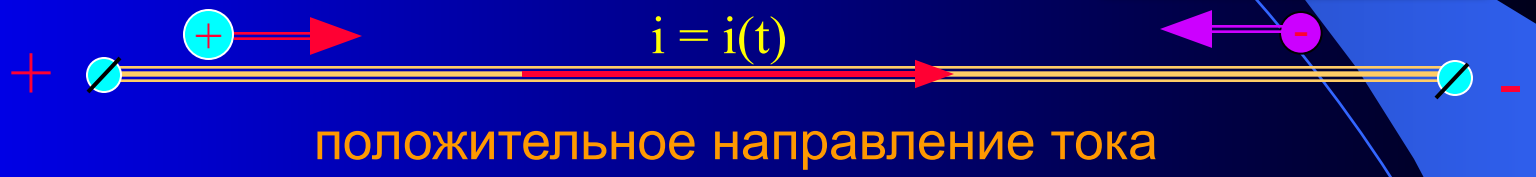
Физическими элементами электрической цепи являются: резисторы, катушки индуктивности, конденсаторы, трансформаторы, диоды , транзисторы и другие элементы электроники.

Понятия *электрического тока* и *напряжения* являются основными понятиями в теории электрических цепей

Электрический ток – это направленное движение электрических зарядов в веществе или вакууме под действием электрического поля

Количественно электрический ток в каждый момент времени характеризуется скалярной величиной $i = i(t)$ - мгновенным значением тока, характеризующим скорость изменения заряда во времени:

$$i(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad \Leftrightarrow \quad [A] = \frac{[Кл]}{[c]}$$



положительное направление тока

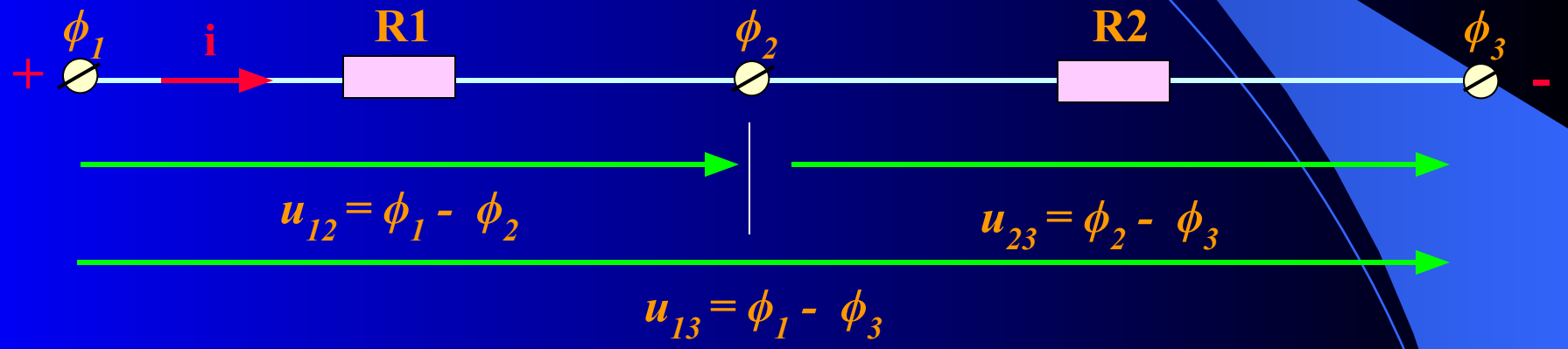
Для установившихся режимов режимов различают два вида токов: постоянный и переменный. Постоянным называют ток, который может изменяться по величине но не изменяет своего знака, сколь угодно долгое время. Переменным током называют ток, который периодически изменяется как по величине, так и по знаку.

Переменные токи подразделяются на *синусоидальные* и несинусоидальные

Электрическое напряжение между двумя точками электрической цепи определяется количеством энергии, затрачиваемой на перемещение единичного заряда из одной точки в другую:

$$u = u(t) = \lim_{\Delta q \to 0} \frac{\Delta W}{\Delta q} = \frac{dW}{dq} \quad \Leftrightarrow \quad [B] = \frac{[Дж]}{[Кл]}$$

Электрическим напряжением называется разность потенциалов между двумя точками электрической цепи.



Электрическая энергия, затраченная на перемещение единичного положительного заряда между двумя точками участка цепи с напряжением u (разностью потенциалов), к моменту времени t определяется уравнением:

$$W = \int_0^q u dq = \int_{-\infty}^t u i dt \qquad где\ W = 0\ при\ t = -\infty \qquad [W] = [Дж]$$

Производная энергии по времени определяет *мгновенную мощность*, потребляемую участком цепи

$$p = \frac{dW}{dt} = u \cdot i \quad \Leftrightarrow \quad [Bm] = [B] \cdot [A]$$

Мгновенная мощность потребляемая участком цепи для рассматриваемого примера:

$$p = u_{12} \cdot i + u_{23} \cdot i = u_{13} \cdot i$$

Знак мощности p определяется знаками напряжения и тока

$p > 0$

- $u > 0$, $i > 0$
- $u < 0$, $i < 0$

Мощность потребляется участком цепи

$p < 0$

- $u > 0$, $i < 0$
- $u < 0$, $i > 0$

Мощность отдается участком цепи (возвращается) источнику

В основе теории электрических цепей лежит принцип моделирования

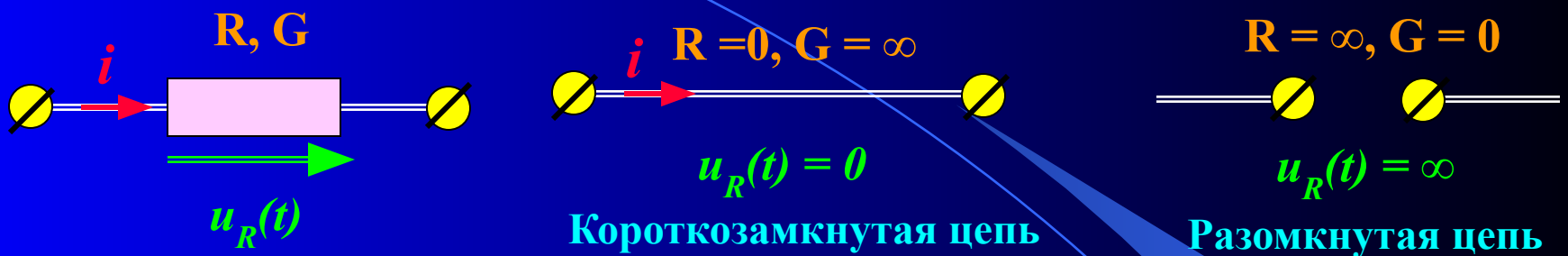
При этом реальные электрические цепи заменяются некоторой идеализированной моделью, состоящей из взаимосвязанных идеализированных элементов, которые в свою очередь представляют собой простые модели, используемые для аппроксимации (приближения) свойств простых физических элементов или физических явлений.

На практике обычно ограничиваются наиболее простыми моделями, обеспечивающими решения задач анализа и синтеза реальной цепи с заданной точностью.

К простейшим идеализированным элементам модели электрической цепи относятся независимые и зависимые источники (активные элементы) и элементы резистивного сопротивления, индуктивности и емкости (пассивные элементы)

Математической моделью электрической цепи называют систему уравнений, описывающую модель электрической цепи, свойства которой близки к свойствам реальной электрической цепи.

❑ Резистивным сопротивлением называют элемент ЭЦ, обладающий только свойством необратимого рассеивания энергии.



Математическая модель, описывающая свойства резистивного сопротивления определяется законом Ома

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = Gu(t) \quad \Leftrightarrow \quad [A] = \frac{[B]}{[Ом]} = [См] \cdot [B]$$

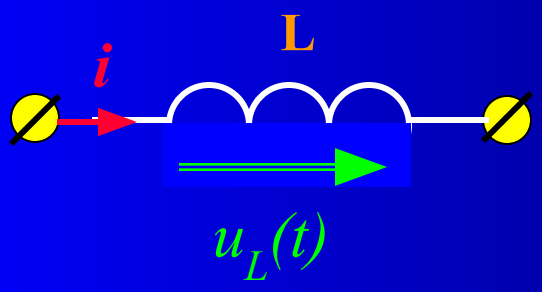
Коэффициенты пропорциональности **R** и **G** называются сопротивлением и проводимостью элемента и являются его количественной характеристикой

Вольт-амперная характеристика (ВАХ)
- если R = const, ВАХ - линейная
- если R = *f(u)*, ВАХ - нелинейная

$$p = u \cdot i = R \cdot i^2 = G \cdot u^2 \geq 0$$

Мощность всегда положительна т.к. резистор только потребляет энергию, превращая ее в тепло

❑ Индуктивным элементом называют идеализированный элемент ЭЦ, обладающий только свойством накопления им энергии магнитного поля.



Математическая модель, описывающая свойства индуктивного элемента определяется соотношением

$$\Psi = L \cdot i \quad \Leftrightarrow \quad [Вб] = [Гн] \cdot [А]$$

Коэффициент пропорциональности **L** называются индуктивностью и является его количественной характеристикой.

Вебер-амперная характеристика (ВАХ)
- если L = const, ВАХ - линейная
- если L = *f(u ,i)*, ВАХ - нелинейная

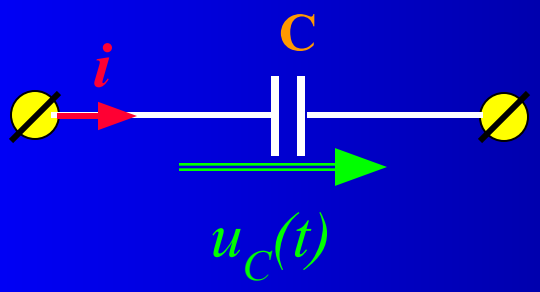
Связь между током и напряжением на индуктивном элементе

$$u(t) = \frac{d\Psi}{dt} = L\frac{di}{dt} \quad \Leftrightarrow \quad i(t) = \frac{1}{L}\int u dt + I_0$$

$$p_L = u \cdot i = L \cdot i \frac{di}{dt} \quad \begin{matrix} > 0 \\ < 0 \end{matrix}$$

$$W_L = \int_{-\infty}^{t} p_L dt = \int_{-\infty}^{t} L \cdot i \frac{di}{dt} dt = \frac{L \cdot i^2}{2} \geq 0$$

❑ Емкостным элементом называют идеализированный элемент ЭЦ, обладающий только свойством накапливать энергию электрического поля.



Математическая модель, описывающая свойства емкостного элемента определяется соотношением

$$q = C \cdot u \quad \Leftrightarrow \quad [Кл] = [Ф] \cdot [B]$$

Коэффициент пропорциональности C называются емкостью и является его количественной характеристикой.

Вольт-кулонная характеристика (ВКХ)
- если C = const, ВКХ - линейная
- если C = *f(u ,i)*, ВКХ - нелинейная

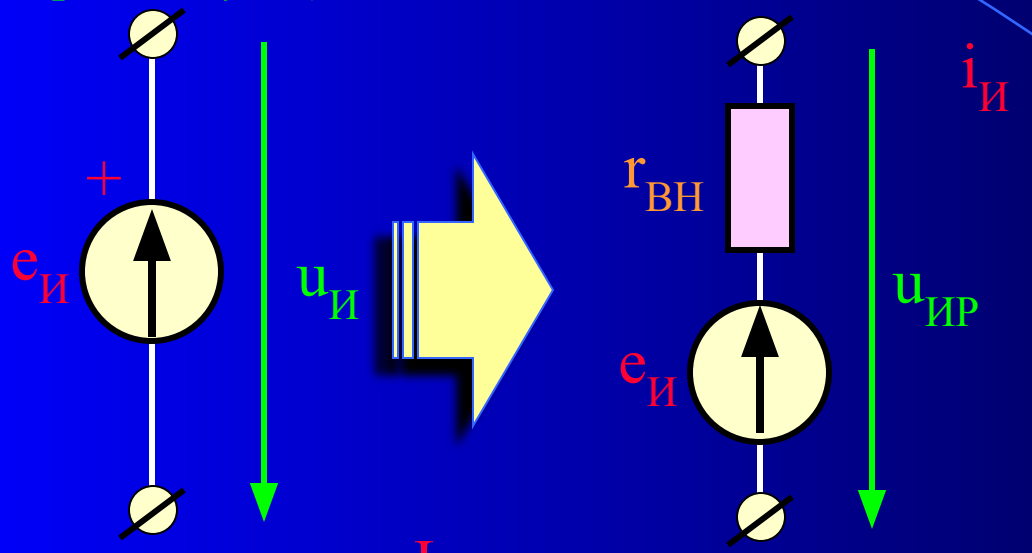
Связь между током и напряжением на емкостном элементе

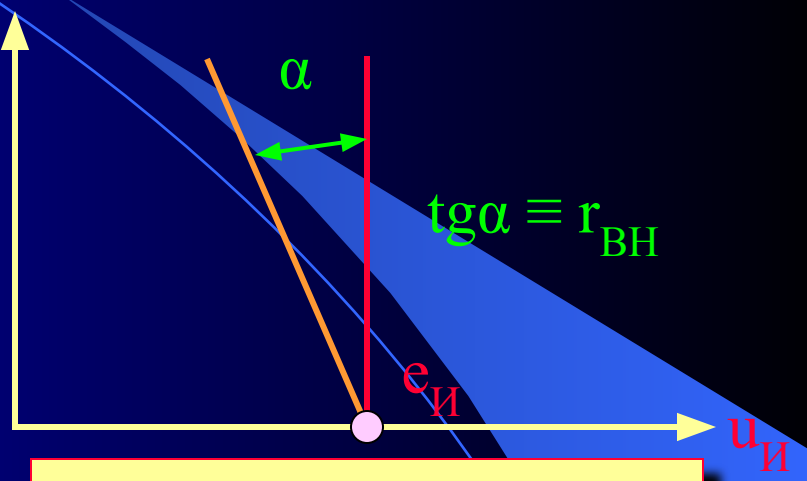
$$i(t) = \frac{dq}{dt} = C\frac{du}{dt} \quad \Leftrightarrow \quad u(t) = \frac{1}{C}\int idt + U_0$$

$$p_C = u \cdot i = C \cdot u \frac{du}{dt} \quad \begin{matrix} > 0 \\ < 0 \end{matrix}$$

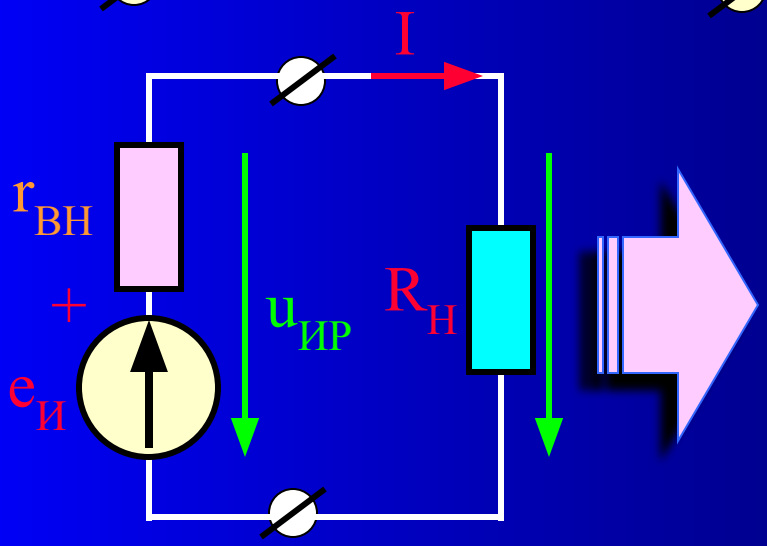
$$W_C = \int_{-\infty}^{t} p_C dt = \int_{-\infty}^{t} C \cdot u \frac{du}{dt} dt = \frac{C \cdot u^2}{2} \geq 0$$

- **Независимым источником напряжения** называют идеализированный двухполюсный элемент ЭЦ, напряжение (ЭДС) на зажимах которого независит от протекающего через него тока (*внутренне сопротивление равно нулю*).





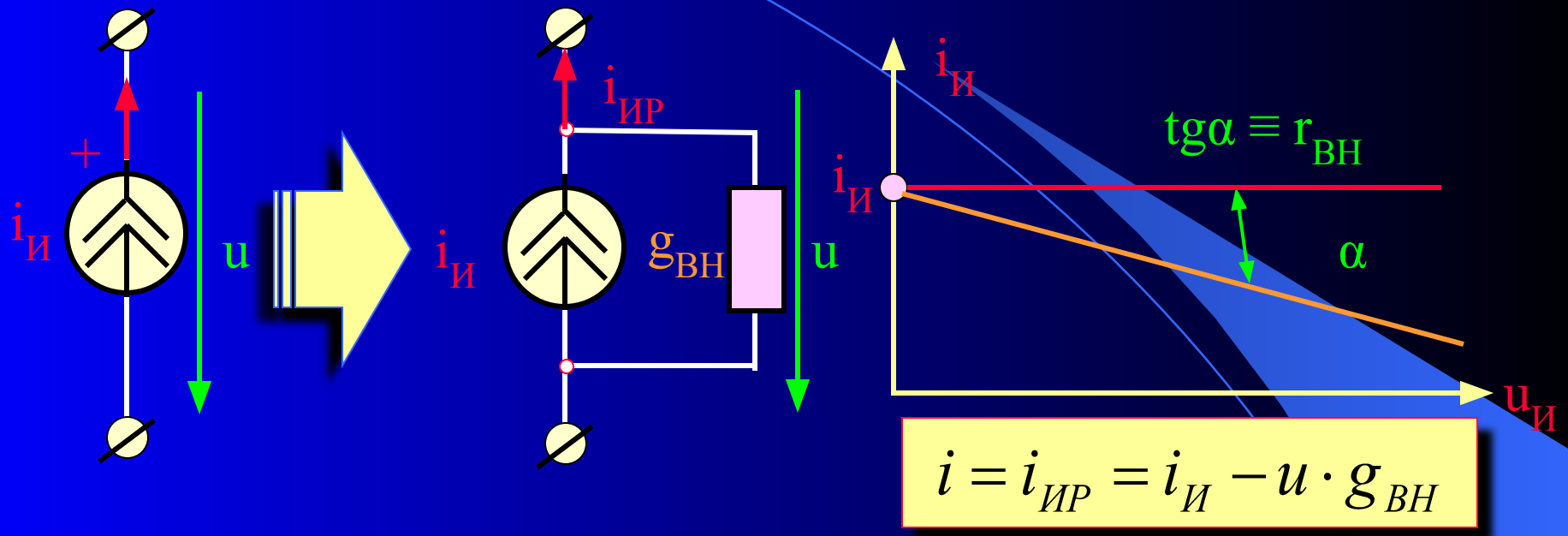
$$u = u_{ИР} = e_И - i \cdot r_{ВН}$$



$$U_H = I \cdot R_H = \frac{E_И \cdot R_H}{R_H + r_{BH}} = \frac{E_И}{1 + r_{BH} / R_H}$$

$$U_H = \lim_{R_H \to \infty} \frac{E_И}{1 + r_{BH} / R_H} \cong E_И$$

- Независимым источником тока называют идеализированный двухполюсный элемент ЭЦ, ток которого независит от напряжения на его зажимах (*внутренне сопротивление бесконечно велико*).



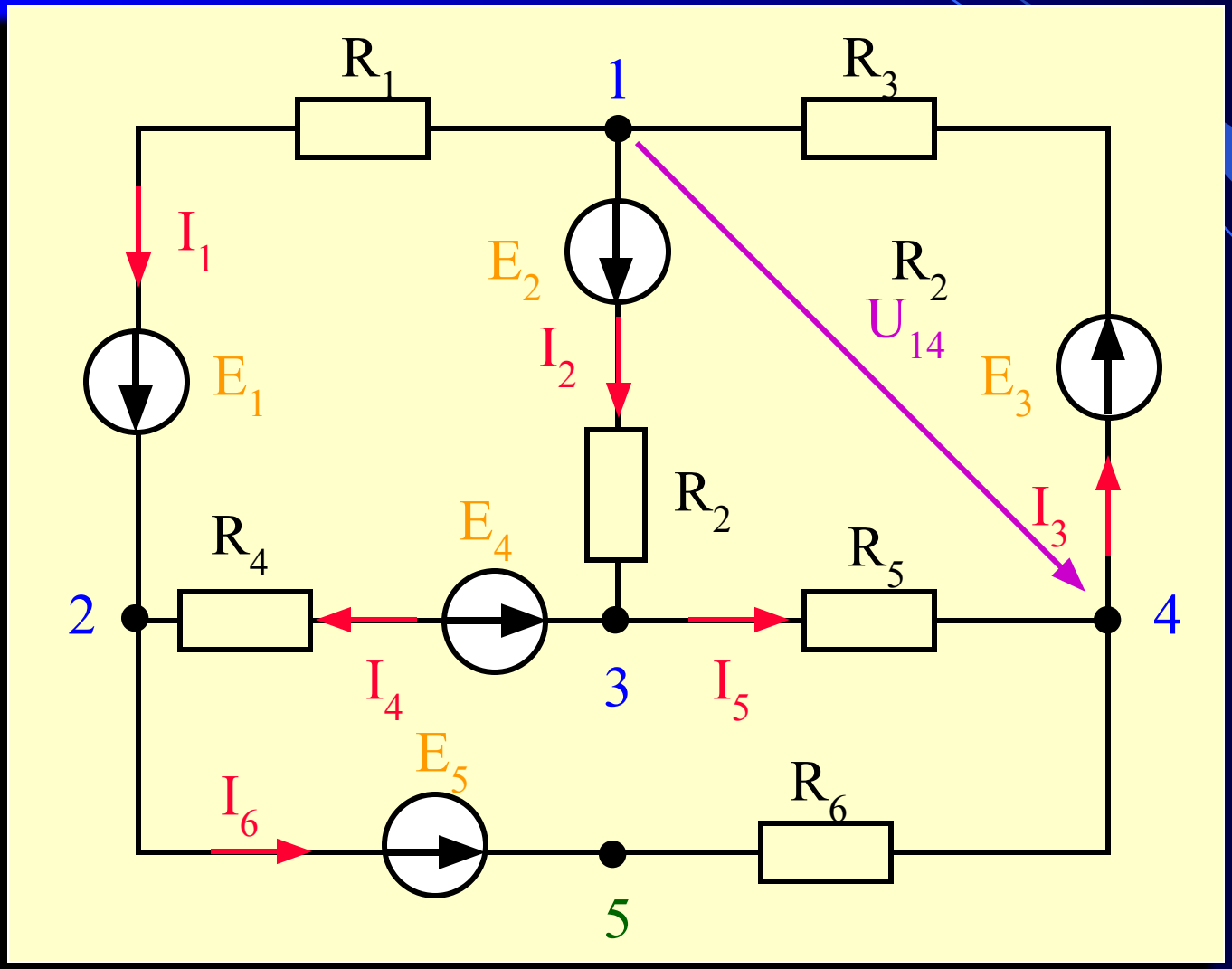
$$i = i_{ИР} = i_И - u \cdot g_{ВН}$$

Свойства реальных источников с конечным внутренним сопротивлением $r_{ВН}$ можно моделировать с помощью независимых источников напряжения и тока с дополнительно включенными резистивными сопротивлениями $r_{ВН}$ или проводимостью $g_{ВН}$.

При таком подходе свойства реальных источников напряжения и тока ближе к свойствам идеальных источников, чем соответственно меньше их $r_{ВН}$ или $g_{ВН}$ по сравнению с аналогичными параметрами нагрузки.

3. Основы топологии электрических цепей. Законы Кирхгофа.

В инженерной практике кроме понятия электрической цепи применяется термин «электрическая схема». В теории цепей схемой обычно называют графическое изображение электрической цепи.



Ветвь, Узел, Контур

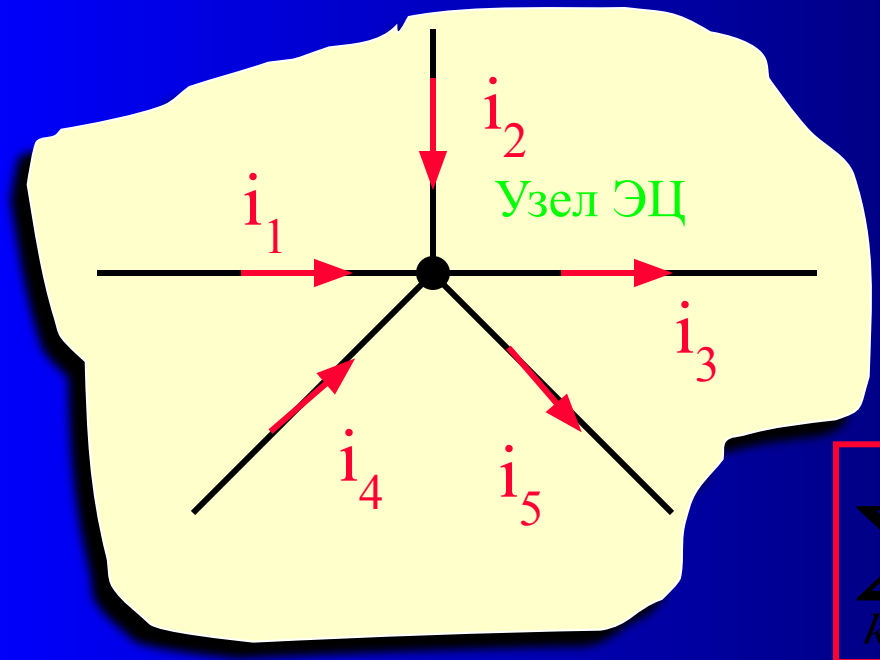
Ветвь – участок ЭЦ, состоящий только из последовательно соединенных элементов с одним и тем же током (6)

Узел – место (точка) соединения трех и более ветвей (4)

Контур – замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, при этом каждый узел в рассматриваемом контуре встречается не более одного раза (3)

Режим электрической цепи произвольной конфигурации полностью определяется первым и вторым законами Кирхгофа (1845 г.)

Законы Кирхгофа являются основными в теории электрических цепей и имеют огромное значение для развития теоретической и практической электротехники.



Первый закон Кирхгофа – закон токов Кирхгофа (ЗТК) применяется к узлам ЭЦ: алгебраическая сумма мгновенных токов ветвей, сходящихся в любом узле электрической цепи равна нулю

$$\sum_{k=1}^{n} i_k = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \sum_{k=1}^{n} I_k = 0$$

При этом для всех токов, положительное направление выбирается одинаковым образом: к узлу или от узла. Например: токи входящие в узел записывается со знаком «минус», а токи выходящие из узла записывается со знаком «плюс».

$$-i_1 - i_2 + i_3 - i_4 + i_5 = 0 \quad \Leftrightarrow \quad i_3 + i_5 = i_1 + i_2 + i_4$$

Для любой ЭЦ составляется: $\Rightarrow$ $N_{УР} = N_{УЗ} - 1$

Второй закон Кирхгофа – закон напряжений Кирхгофа (ЗНК) применяется к ветвям и контурам ЭЦ: алгебраическая сумма мгновенных напряжений ветвей, в любом контуре электрической цепи равна нулю

$$\sum_{k=1}^{n} u_k(t) = 0$$

n – число ветвей, входящих в контур

При этом напряжения, совпадающие с направлением обхода контура, записываются со знаком «+», а не совпадающими – со знаком «-»

$$\sum_{k=1}^{n} u_k(t) = \sum_{k=1}^{m} e_k(t)$$

Алгебраическая сумма мгновенных падений напряжений в любом контуре электрической цепи равна алгебраической сумме мгновенных падений ЭДС, действующих в этом же контуре.

Количество уравнений составляемых по второму закону Кирхгофа

$$M_У = N_В - N_У + 1$$

Метод расчета электрических цепей, основанный на законах Кирхгофа, в которых переменными являются токи в ветвях, называют методом токов ветвей

План анализа ЭЦ методом уравнений Кирхгофа

1. Произвольно выбрать направления всех токов в ветвях исходной схемы.

2. Определить общее количество уравнений, которые необходимо составить по первому и второму законам Кирхгофа.

$$N_{УР} = N_{УЗ} - 1$$

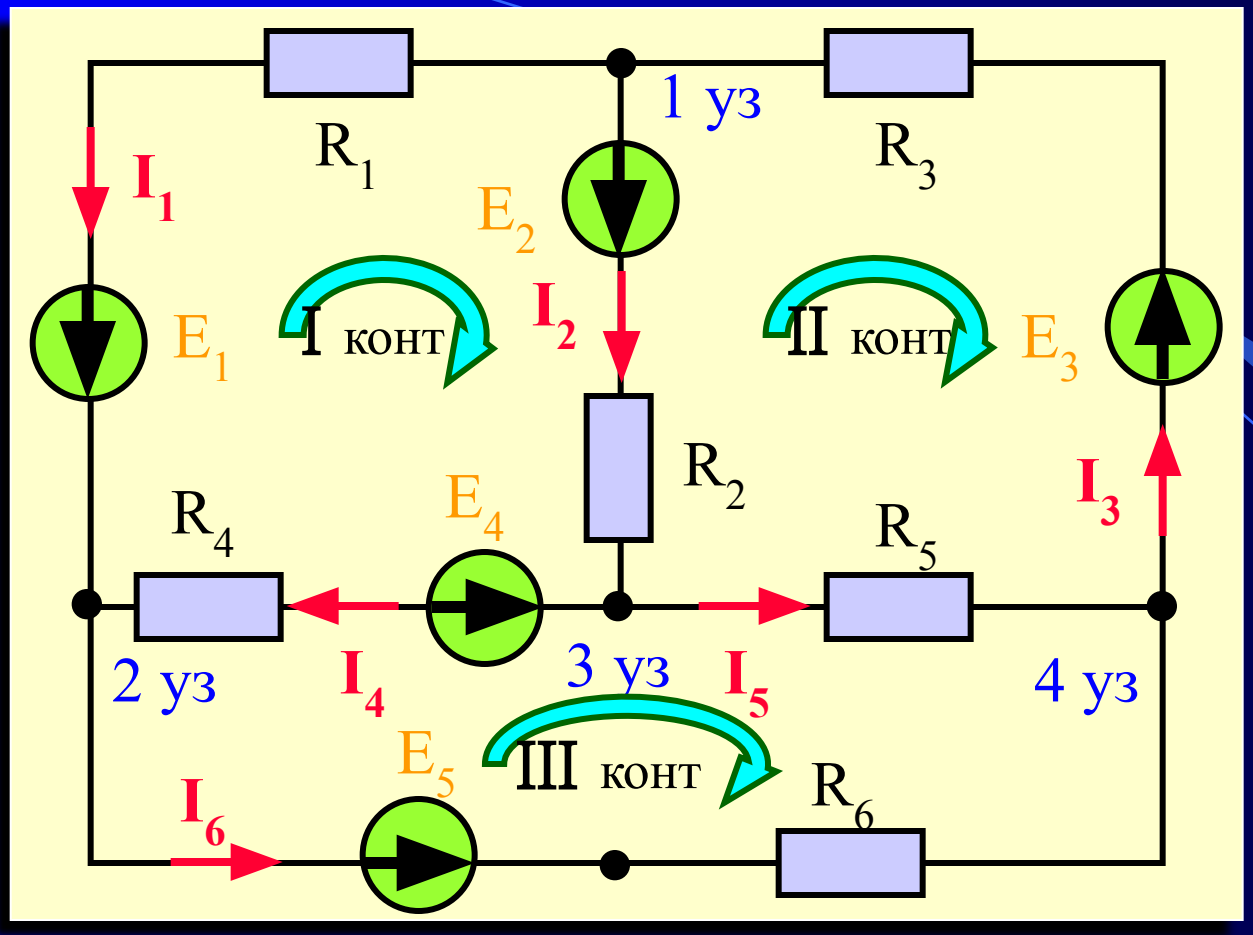
$$M_У = N_В - N_У + 1 - N_{ИТ}$$

3. Записать систему уравнений по первому и второму законам Кирхгофа применительно к рассматриваемой электрической цепи (соблюдая при этом правило знаков)

$$\sum_{k=1}^{n} i_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{n} u_k(t) = \sum_{k=1}^{m} e_k(t)$$

4. Получившуюся систему уравнений решить относительно рассматриваемых токов.



По первому закону Кирхгофа

1 уз $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

2 уз $I_6 - I_1 - I_4 = 0$

3 уз $I_4 + I_5 - I_2 = 0$

Уравнения необходимо решать совместно

По второму закону Кирхгофа

I *конт.* $-I_1R_1 + I_2R_2 + I_4R_4 = -E_1 + E_2 - E_4$

II *конт.* $-I_2R_2 - I_3R_3 - I_5R_5 = -E_2 - E_3$

III *конт.* $-I_4R_4 + I_5R_5 - I_6R_6 = E_4 - E_5$

4. Классификация электрических цепей

В зависимости от количества выводов, которыми элемент подключается к электрической цепи различают: двухполюсники (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, диоды), четырехполюсники (транзисторы, усилители, электрические фильтры) и многополюсники.

Изменение входных напряжений и токов обуславливает изменение токов и напряжений в других элементах электрической цепи. Это изменение вдоль конструкции распространяется в виде электромагнитной волны.

Цепи, размеры которых значительно меньше длины волны ($l << \lambda$), считаются цепями с сосредоточенными параметрами (R,L,C сосредоточены в отдельных элементах).

Цепи, размеры которых соизмеримы с длиной волны или больше ($l \geq \lambda$), считаются цепями с распределенными параметрами (каждый элемент конструкции обладает → R,L,C длинные линии).

ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ	НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ	ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ
Выполняется принцип суперпозиции	**Диоды, транзисторы, элементы с нелинейной ВАХ**	**Процессы модуляции, детектирования**

Задание на самостоятельную работу

Литература:

1. Зевеке Г.В., Ионкин А.В., Страков С.В. Основы теории цепей: *Учебник для вузов*, - М.: Энергоатомиздат, 1999 г, с. 9 –21.

2. Бакалов В.П., Игнатов А.Н., Крук Б.И. Основы теории электрических цепей и электроники: *Учебник для вузов*, - М.: Радио и связь, 1999 г, с. 7 –19.

3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: *Учебник для вузов*, - М.: Высшая школа, 2003 г, с. 2 –21.