



Дисциплина: Электротехника и электроника

Лектор: **Погодин Дмитрий Вадимович**
Кандидат технических наук,
доцент кафедры РИИТ
(кафедра Радиоэлектроники и
информационно-измерительной техники)

Дисциплина изучается в 4 - семестре

АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:

Лекции – 18шт, лабораторные работы - 9шт,

Практические занятия - 9шт

консультации по курсовой работе – в течении семестра

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:

1. Курсовая работа.
2. Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ.
3. Самостоятельное изучение отдельных разделов курса.

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план

№ п/п	Наименование тем	Лекц.	Лаб.	ПЗ	СРС
Часть 1. Электротехника					
	Введение	1			2
1.	Основные понятия, определения, элементы и законы в теории электрических цепей. Цепи постоянного тока.(модели сигналов и элементов электрических цепей).	3	4	2	4
2.	Анализ электрических цепей в установившемся режиме при гармоническом воздействии.	4	4	4	10
3	Частотные характеристики и операторные функции цепей	2	4	2	12
4.	Импульсные сигналы в линейных цепях. Переходные процессы	3	4	2	12
5.	Четырёхполюсники и фильтры электрических сигналов.	2			2
6.	Нелинейные цепи и цепи с распределёнными параметрами.	2			2
7	Электромагнитные устройства и электрические машины.				16

Часть 2. Электроника					
8.	Полупроводниковые приборы. Принцип работы, характеристики, параметры и схемы замещения	6			
8.1	Электропроводность полупроводников	1			2
8.2.	Полупроводниковые диоды	1	2		2
8.3	Биполярные транзисторы	1	2		3
8.4.	Полевые транзисторы.	1			2
8.5	Тиристоры и силовые транзисторы	1			2
8.6	Оптоэлектронные приборы	1			2
9	Общая характеристика аналоговых электронных устройств и интегральных микросхем (ИМС).	1			2
10.	Усилители электрических сигналов.	3	4		8
11.	Операционные усилители (ОУ) и аналоговые устройства на их основе.	2	4		12
12.	Импульсные схемы на основе ОУ и генераторы электрических сигналов	2	4		12
13.	Управляющие электронные схемы.	2	2		8
14.	Источники вторичного электропитания.	1			2
	ИТОГО	34	34		131

ПРАВИЛА АТТЕСТАЦИИ СТУДЕНТОВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ В СООТВЕТСТВИИ С МОДУЛЬНО –БАЛЬНО- РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМОЙ ОЦЕНОК

• **1. Учебный цикл.**

• Учебный семестр состоит из 3 учебных модуля, с аттестацией по модулю путем компьютерного тестирования. Продолжительность первого модуля: 1-6, второго: 8-12 и третьего: 13-18 неделя. Учебный цикл заканчивается итоговой аттестацией - экзаменом путем компьютерного тестирования или по билетам.

• **2 Бальная шкала.**

• В университете действует следующая шкала бально-рейтинговой оценки для дисциплины:

• 86 - 100 баллов – «отлично», 71– 85 баллов – «хорошо», 51 – 70 баллов – «удовлетворительно».

• **3. Распределение баллов на дисциплину по семестру.**

• Экзамен - 50 баллов. Студент сдал экзамен, если он на экзамене получил не менее 25 баллов.

• Остальные 50 баллов распределяются между двумя промежуточными контрольными мероприятиями после 8-ой неделе и после 16 неделе. На каждое из них отводится по 25 баллов, из них 17 баллов за тестирование по теоретическому курсу и 8 баллов за своевременное и успешное выполнение и защиту лабораторных работ

• На одну лабораторную работу выделяется 2 балла. Из них 1 балл за своевременное выполнение и еще 1 балл за своевременную сдачу теоретической части и оформленного отчета работы. Пропуск занятия без уважительных причин отмечается оценкой 0 баллов с отработкой в конце семестра -1 балл.

• «Стоимость» в баллах вопросов в билете на экзамене (зачете), устанавливается преподавателем.

• Отсутствие студента на промежуточном контроле без уважительной причины оценивается нулевым баллом.

Рекомендуемая литература

1. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Ч.1. Линейные электрические цепи. – М.: Энергия, 1978.
2. Электротехника и электроника : учебник для бакалавров, для вузов по направлениям 230100(654600) "Информатика и вычислительная техника" / [О. П. Новожилов](#) . – М. : Юрайт, 2012 . – 653 с. – (Бакалавр) .
3. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника. М., Высш. шк., 2002.
4. Кучумов А.И.. Электроника и схемотехника: Учебное пособие.- М.:Гелиос , 2005.
5. Погодин Д.В., Насырова Р.Г, Краев В.В.. Электротехника. Учебное пособие по дисциплине «Электротехника и электроника». Казань, Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2005. 154с. - 0.9 экз. на студента.
5. Погодин Д.В., Насырова Р.Г., Краев В.В., Куншина Н.Б.. Электроника: Учебное пособие по дисциплине «Электротехника и электроника». Казань, Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. 254с. - 0.9 экз. на студента₅

Дополнительная литература

- **Методические указания к лабораторным работам:**

- 1. Ознакомление с основными измерительными приборами. Погодин Д.В. 2010.
- 2. Исследование частотных характеристик простейших цепей. Погодин Д.В., Краев В.В. 2010.
- 3. Исследование переходных характеристик простейших цепей. Погодин Д.В., Краев В.В. 2010.
- 4. Исследование характеристик одиночных колебательных контуров. Погодин Д.В., Краев В.В. 2010.
- 5. Исследование полупроводниковых диодов. Погодин Д.В. Насырова Р.Г. 2010.
- 6. Биполярные транзисторы. Погодин Д.В. Насырова Р.Г. 2011.
- 7. Исследование усилителя с RC-связью. Погодин Д.В. 2011.
- 8. Линейные устройства на ОУ. Погодин Д.В.. 2011.
- 9. Компараторы напряжений. Евдокимов Ю. К. 2001.

- **Пособия к выполнению курсовой работы:**

- 1. Погодин Д.В., Насырова Р.Г. Расчет частотных и переходных характеристик электрических цепей. Учебное пособие к курсовой и расчетно-графическим работам. Изд-во Казан. гос. тех. ун-та. Казань. 2005 г.

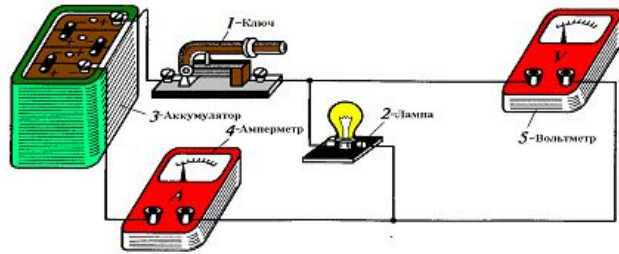
- **Пособия для самоподготовки к тестированию:**

- 1. Учебное пособие для самоподготовки к тестированию по Электротехнике. Погодин Д.В., 2009
- 2. Учебное пособие для самоподготовки к тестированию по Электротехнике. Погодин Д.В., 2009

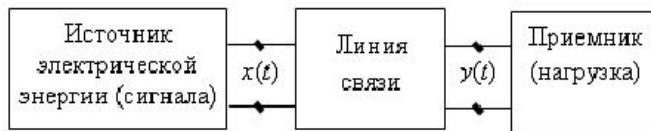
ВВЕДЕНИЕ

- **Электротехника** изучает электромагнитные процессы и возможности их использования для практических целей.
- Основной задачей электротехники являются генерирование (создание), передача на расстояние и преобразование электрической энергии в механическую, световую, тепловую, химическую и другие формы энергии.
- В электротехнике применяются два способа описания электромагнитных явлений:
 - 1. при помощи понятий теории поля; 2. теории электрических цепей. Выбор способа диктуется условиями постановки задачи.
- **Теория поля** оперирует понятиями: плотность тока, напряженность электрического и магнитного поля и описывает электромагнитные процессы уравнениями в частных производных (уравнения Максвелла) решение которых затруднительно даже в простейших случаях.
- **Теория цепей** исходит из приближенной замены реального электротехнического элемента идеализированной моделью — схемой замещения. Процессы в цепи описываются - напряжениями и токами.
- **Электрической цепью** называется совокупность устройств - элементов, предназначенных для прохождения электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий **напряжения и тока**.
- **В общем случае электрическая цепь состоит из трех составляющих: 1.** источников, **2.** приемников электрической энергии и **3.** промежуточных звеньев связывающих источники с приемниками (проводов, измерительных приборов и аппаратов),.
- **Источниками** электрической энергии преобразуют неэлектрическую (химической, молекулярно-кинетической,, механической или другого вида энергии в электрическую энергию. гальванические элементы, аккумуляторы, термоэлементы, генераторы и т.д.
- **Приемниками** электрической энергии (их называют нагрузкой) являются различные исполнительные устройства В них электрическая энергия превращается в световую, тепловую, механическую и т. п.
-
- Электротехника имеет два направления. Они имеют общую физическую основу, но направлены на решение различных технических задач.
- Силовая электротехника – это производство, передача и преобразование электрической энергии в другие виды.
- Информационная электротехника направлена на использование электрических явлений для передачи и обработки информации. Второе направление называют радиоэлектроникой, информационной электроникой, оно изучается в курсе «Теория электрических цепей» и рассмотрено в настоящем пособии.

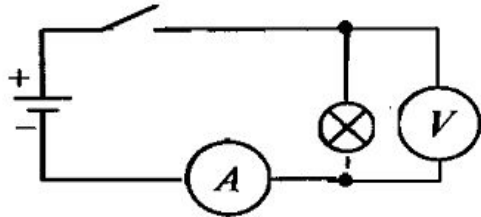
Схема электрической цепи



Электрическая цепь



Структурная схема



Принципиальная схема

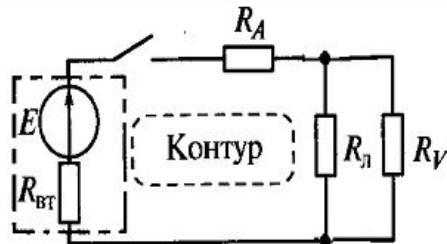


Схема замещения

Электрическая цепь - это совокупность реальных элементов соединенных определенным образом и предназначенных для протекания тока в них.

• **Схема электрической цепи** – это условно - графическое изображение электрической цепи.

Различают три типа электрических схем:

• **1. Структурная схема** – это условное графическое изображение реальной цепи в виде прямоугольников или условно-графических обозначений (УГО), отражающих только важнейшие функциональные части цепи и основные связи между ними (рис.1.1).

• **2. Принципиальная схема** - представляет собой графическое изображение реальной цепи показывающее в виде УГО все элементы цепи и порядок соединения между ними.

• *Каждый реальный элемент имеет свое УГО и буквенное обозначение.*

• **3. Схема замещения, или эквивалентная схема** - это рисунок составленный из УГО идеализированных элементов, которые замещают реальную цепь (элементы) в рамках решаемой задачи.

• *Каждый идеализированный элемент имеет свое УГО и буквенное обозначение*

Электрические величины и единицы их измерения

- **Ток** в проводящей среде – это упорядоченное движение электрических зарядов под действием сил электрического поля.
- **За положительное направление тока** принимается движение положительных зарядов.
- **Количественно ток** - это количество заряда перенесенное через поперечное сечение проводника в единицу времени.
- Постоянный во времени ток обозначают I , а переменный во времени i .
- Если $q(t)$ -переносимый заряд через сечение элемента в момент t , то мгновенный ток равно скорости изменения заряда во времени:

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}.$$

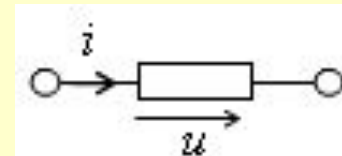
- Если переносимый заряд постоянный Q во времени, то ток постоянный:

$$I = \frac{Q}{t_2 - t_1}.$$

- Единица измерения тока в системе СИ – ампер (А, мА, μ А, нА и т.д.).
- Направление тока на участке цепи указывается стрелкой на проводнике



Андре-Мари Ампер
1775 - 1836



Электрические величины и единицы их измерения

Электрический потенциал – это энергия на перемещение единичного положительного заряда из бесконечности в заданную точку цепи, обозначают φ , единица измерения - [В].

Напряжение – это разность потенциалов $u_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$ между двумя точками цепи

ИЛИ количество энергии, затрачиваемой на перемещение единичного положительного заряда из одной точки в другую:

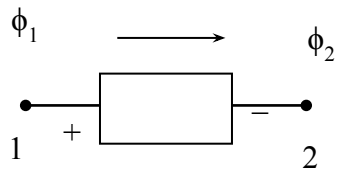


Рис. 1.2

$$U = \frac{W}{Q}$$

$$u = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta q} = \frac{dw}{dq}$$

Единица измерения напряжения в системе СИ – вольт (В).

За положительное направление напряжения принимается направление в сторону меньшего потенциала.

Положительное направление показывают стрелкой параллельно участку цепи или знаками + и – у выводов элемента (участка цепи).



Алессандро Вольта
1745 – 1827

Электрические величины и единицы их измерения

Энергия, затрачиваемая на перемещение заряда

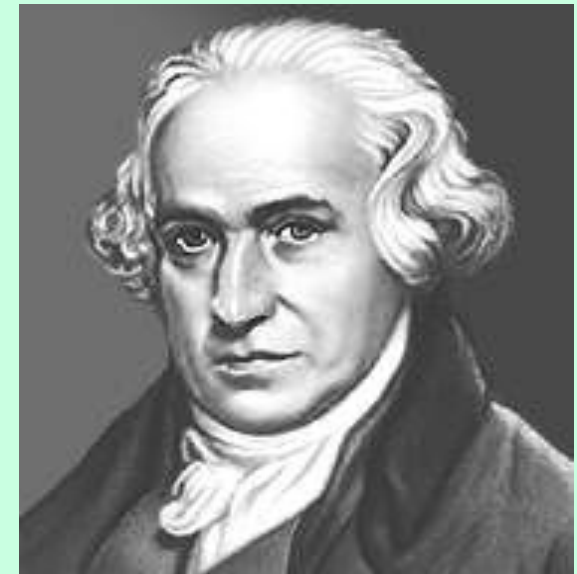
$$w = \int_0^q u dq = \int_{-\infty}^t u i dt$$

Единица измерения энергии – джоуль [Дж].

Мгновенная мощность участка цепи:

$$p = \frac{dw}{dt} = ui .$$

Мощность измеряется в ваттах (Вт).



Джеймс Уатт
1736 – 1819

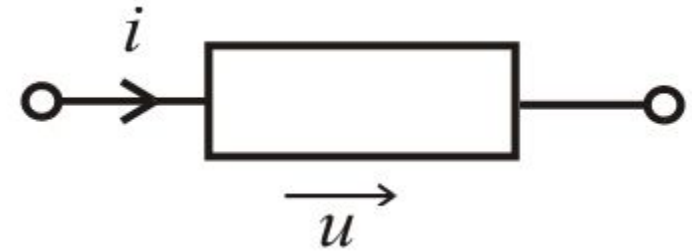
Мгновенная мощность на участке цепи

При совпадении знаков напряжения и тока мощность положительна. Это означает, что участок цепи потребляет энергии.

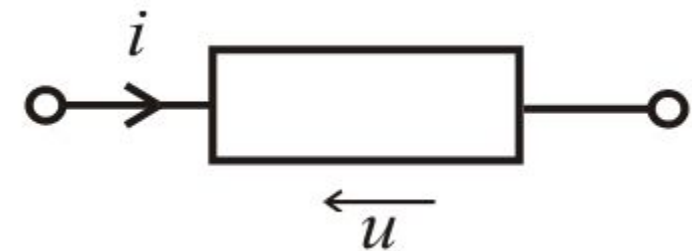
Такие участки цепи называют **пассивными**.

При несовпадении знаков напряжения и тока мощность отрицательна. Это означает, что участок цепи является источником энергии.

Такие участки цепи называют **активными**.



$$p = ui > 0$$



$$p = -ui < 0$$

Математические модели элементов электрических цепей

- При протекании электрического тока в реальном элементе происходят сложные энергетические явления, связанные с преобразованием энергии. Для упрощенного описания процессов, происходящих в реальных элементах, их считают **идеализированными**, т.е. предполагают, что каждый идеализированный элемент обладает лишь одним каким-либо свойством: либо поглощать или накапливать энергию, либо создавать. В электротехнике все элементы считаются **идеализированными**.
- Для отображения свойств реальных элементов составляют схему из ряда идеальных. Такие схемы называют схемами замещения (эквивалентная схема)
- Все элементы подразделяют на **активные и пассивные**.

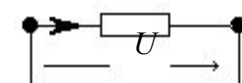
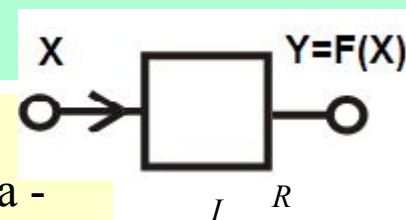


Рис. 3.2

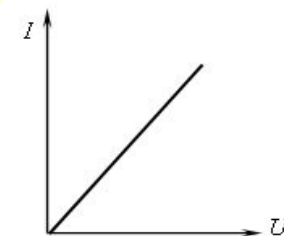


Рис. 3.1

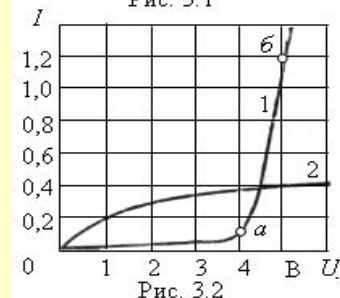


Рис. 3.2

3.1. Способы описания свойств элементов цепей. (Основных способа три)

1. Аналитический – в виде электрической характеристики (уравнения) элемента - это зависимость между физическими величинами, определяющими принцип работы элемента $y=F(x)=Kx$, где: y -отклик, x -воздействие.

Например, для сопротивления $I = U/R$, $Q=CU$ -емкость, $\psi=LI$ -индуктивность.

2. Графический – это график электрической характеристики элемента.

Для линейного сопротивления вольт-амперная характеристика (ВАХ) приведена на рис. 3.3., а ниже приведены ВАХ нелинейного элемента.

3. Параметрический – свойства элемента задаются числом - параметром элемента, который определяется из электрической характеристики, как отношение отклика к воздействию:

$$\text{Параметр} = \frac{\text{Отклик}}{\text{Воздействие}} = K = \frac{Y}{X}, \text{ например } R = \frac{U}{I}$$

В зависимости от характера входного сигнала различают три вида параметров:

статические, дифференциальные и комплексные.

Электротехника и электроника

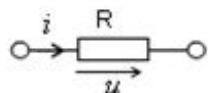
Классификация элементов электрических цепей

Идеализированные элементы электрических цепей

Пассивные элементы

Активные элементы

Сопротивление



1. Эл. хар $U=f(I)=RI$
 $I=U/R$

2. Параметр $R=U/I$
сопротивление-[Ом];

$G=I/U$
проводимость-[См]

3. Ур элемента

$$u=Ri, \quad i=Gu,$$

4. Мг. мощность

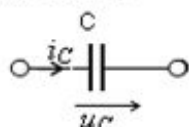
$$p(t)=ui=\frac{u^2}{R}=Ri^2 \geq 0$$

5. Реал.эл

Резистор-

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Емкость



1. $Q=f(U)=CU,$

2. $C = \frac{q}{U}, \quad C = \frac{dq}{dt}$
емкость-[Ф]

3. $i_C = C \frac{dU_C}{dt}$

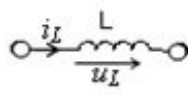
4. $p(t)=ui=Cu \frac{du}{dt} = \begin{cases} >0 \\ <0 \end{cases}$

$$W_C = \int u i dt = \frac{Cu^2}{2}$$

5. Конденсатор:

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

Индуктивность



$\Psi=f(I)=LI$

2. $L = \frac{\Psi}{I}, \quad L = \frac{d\Psi}{di}$
индуктивность-[Гн]

3. $u_L = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di}{dt}$

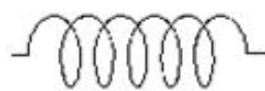
4. $p(t)=ui=Li \frac{di}{dt} = \begin{cases} >0 \\ <0 \end{cases}$

$$W_L = \int p(t) dt = \frac{Li^2}{2}$$

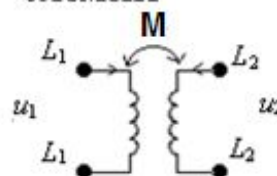
5.

Катушка

ндуктивности:



Взаимно-индуктивный элемент



1. $u_2 = \pm M \frac{di_1}{dt}$

2. М-коэф. взаим

3. $u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt}$

$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$

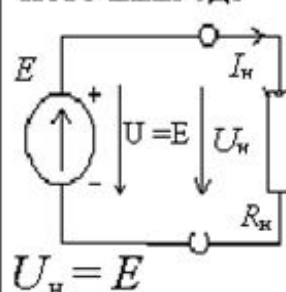
4 $p_1 = u_1 i_1 = p_2 = u_2 i_2$

$u_2 = n u_1, \quad i_1 = \frac{i_2}{n}$

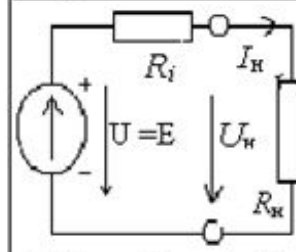
$n = \frac{\omega_2}{\omega_1}$

Трансформатор

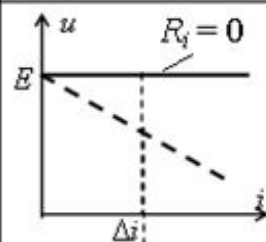
Идеальный источник эдс



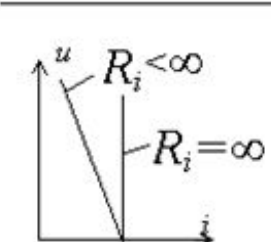
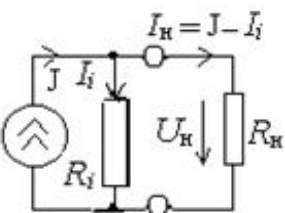
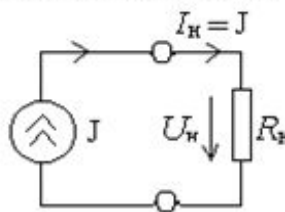
$$U_H = E$$



$$U_H = E - I_H R_i$$



Идеальный источник тока



Преобразования напряжения и тока пассивными элементами

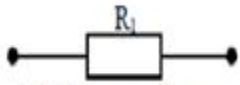
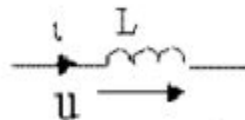
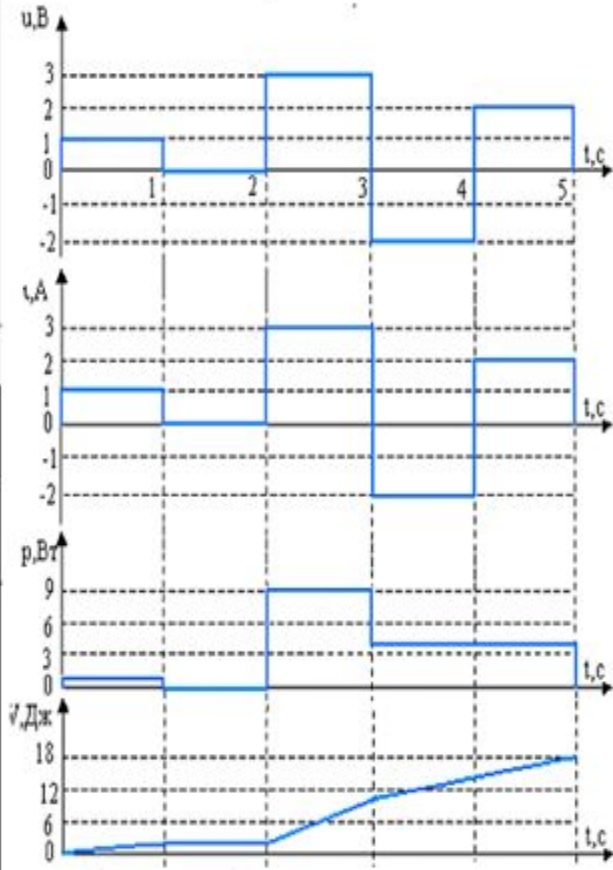


Рис 1.3 Условное обозначение резистора.

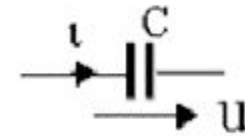
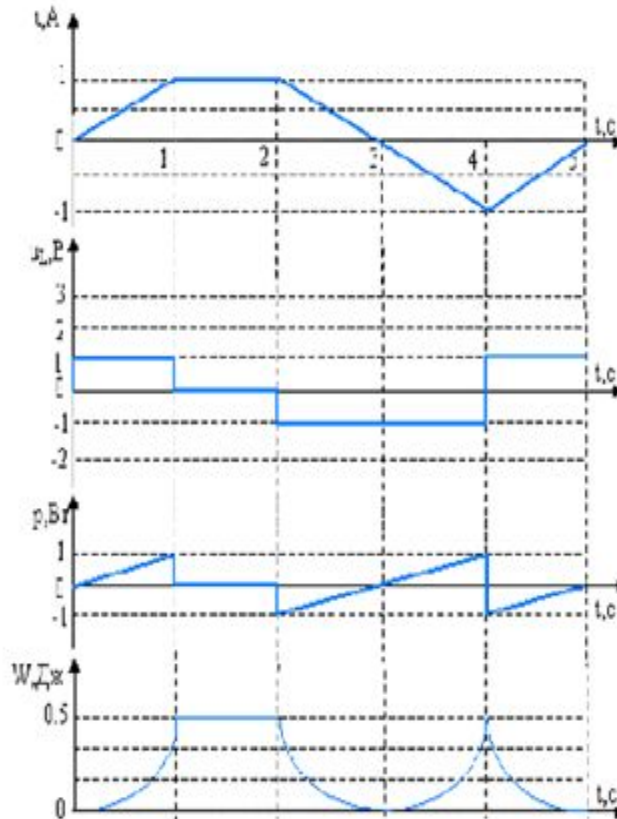
$$u = Ri, \quad i = Gu, \quad p = ui = u^2/R = i^2R = u^2g.$$

$$W_R = \int_0^t u i dt$$



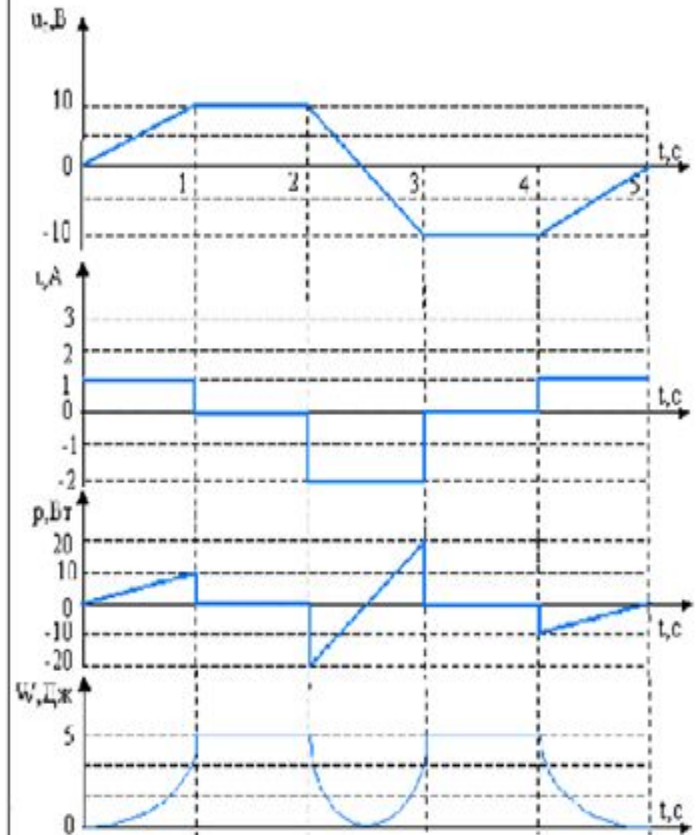
$$u_L = \frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad W_L = \int p(t) dt = \frac{Li^2}{2} = \frac{Lu^2}{2}$$

$$p(t) = ui = Li \frac{di}{dt} = \begin{cases} > 0 \\ < 0 \end{cases}$$



$$i = dq/dt = d(C u_c)/dt = C du_c/dt,$$

$$p_c = u_c i = C u_c du_c/dt \quad W_c = \int_{-\infty}^t p_i dt = \int_0^t C u_c du_c = \frac{C u_c^2}{2}$$



Преобразования напряжения и тока пассивными элементами

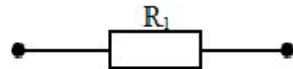
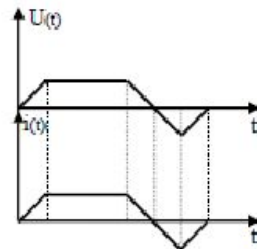


Рис. 1.3 Условное обозначение резистора.

$$I = Ru$$



Основной параметр резистора – сопротивление R , единица измерения Ом [Ом] или проводимость $G = \frac{1}{R}$, единица измерения Сименс.

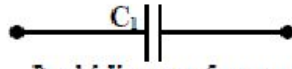
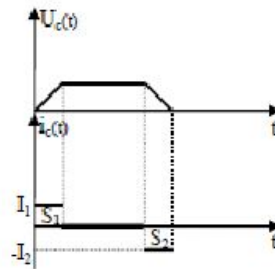


Рис. 1.5 Условное обозначение конденсатора.

$$U_c(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_c(x) dx$$



Основной параметр конденсатора – емкость C , единица измерения – Фарада [Ф].

На рисунке $S_1 + S_2 = 0$.

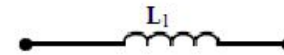
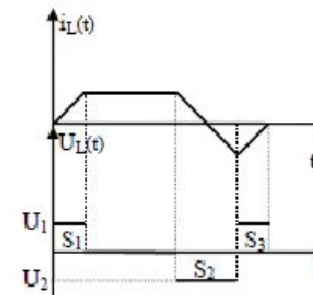


Рис. 1.7 Условное обозначение индуктивности.

$$U(t) = -\partial DC = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t U(x) dx$$



Основной параметр катушки индуктивности – индуктивность L , единица измерения – Генри [Гн].

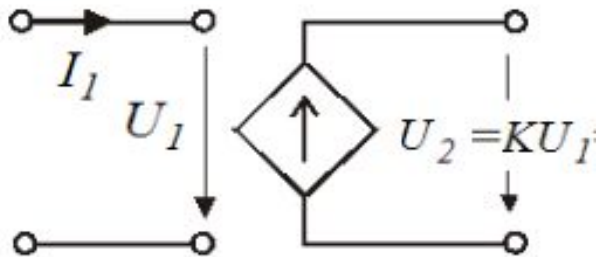
На рисунке $S_1 + S_2 + S_3 = 0$

Зависимые источники сигналов

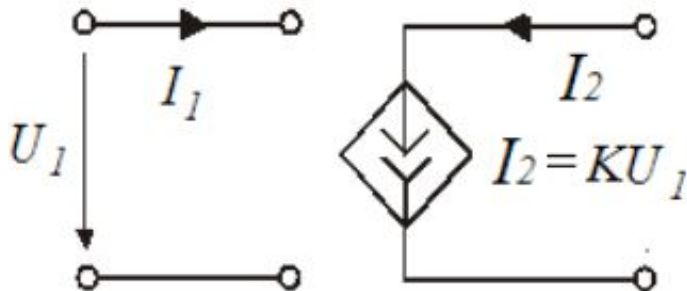
Все источники сигналов подразделяются на:

1. независимые – в них напряжения и токи не зависят от токов и напряжений на других участка цепи; Независимые рассмотрены ранее.
2. зависимые - в них напряжения и токи создаваемые ими зависят от токов и напряжений на других участках цепи. Рассмотрим зависимые источники:

1. Источник напряжения управляемый напряжением (ИНУН)

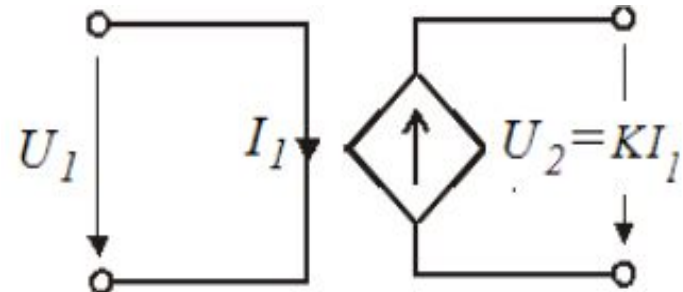


2. Источник тока управляемый напряжением (ИТУН)

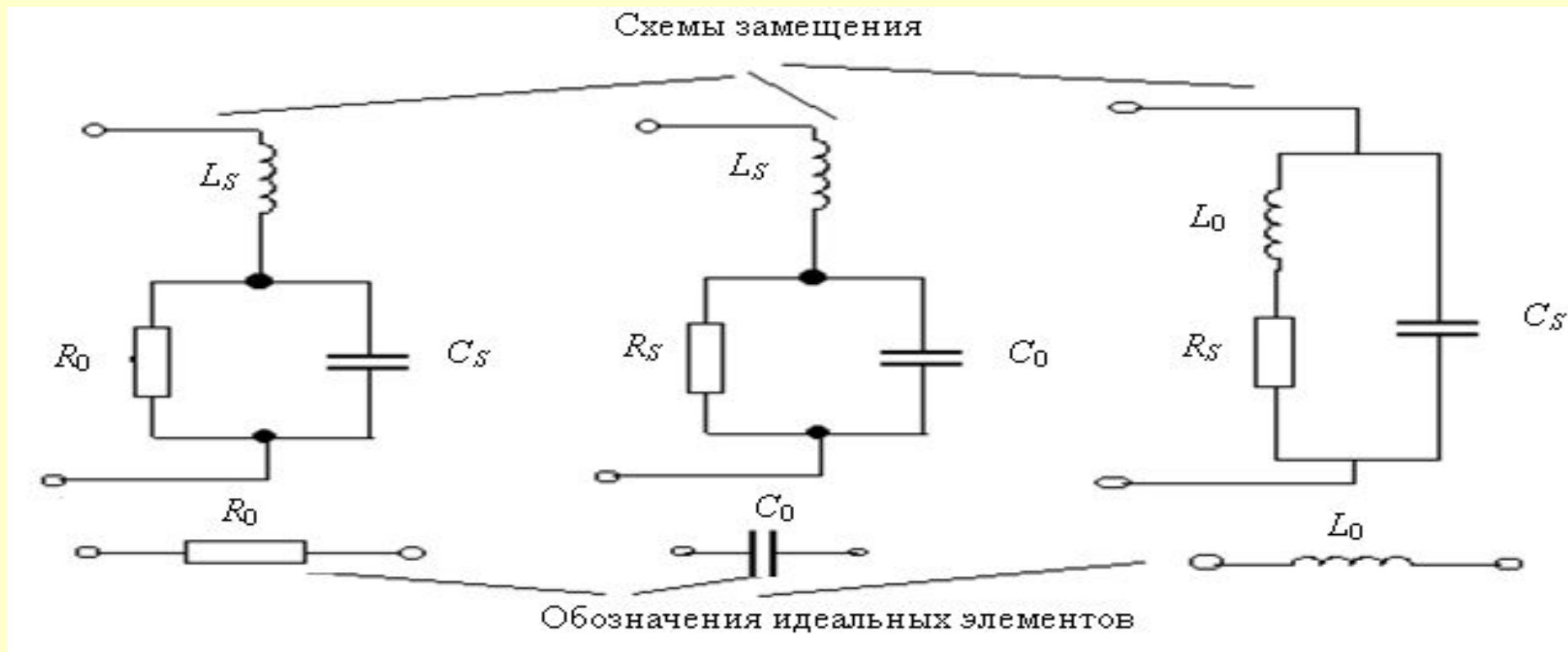


3. Источник тока управляемый током (ИТУТ)

4. Источник напряжения управляемый током (ИНУТ)



Схемы замещения реальных пассивных элементов



Индексами «0» обозначены основные элементы схем, а индексами «S» –вспомогательные, которые учитывают дополнительные процессы, протекающие в элементах. Элементы с индексами S называют паразитными, так как они мешают работе основного. Например, для всех элементов на высоких частотах необходимо учитывать индуктивности выводов элементов, а также емкость, которая всегда существует между ними. Для емкости необходимо учитывать несовершенство диэлектрика между пластинами (R_S – сопротивление утечки), для индуктивности R_S – резистивное сопротивление провода, которым намотана катушка индуктивности.

Основные топологические понятия

• **Узел** – точка соединения трех и более ветвей (см. рис.1.) – совмещенный и разнесенный узел.
Независимых узлов $N_u = y - 1$, где y - общее число узлов $y = 2$, $N_u = 1$.

• **Ветвь** – участок цепи между двумя узлами по элементам которого протекает общий ток. (см. рис 2)

В простейшем случае ветвь состоит из одного элемента или из элементов соединенных последовательно. Общее число ветвей схемы – v .
 $v = 3$

• **Контур** – состоит из ветвей которые образуют замкнутый путь для протекающего тока. (см. рис 2).

Число независимых контуров $N_k = v - y + 1 - m$, где v - число ветвей, y - число узлов схемы, m - число источников тока.

($N_k = v - y + 1 - m - v_T$, где v_T - число ветвей с источниками токов). $N_k = 3 - 1 + 1 = 2$

• Узлы и ветви называются **независимыми** если отличаются одной ветвью.

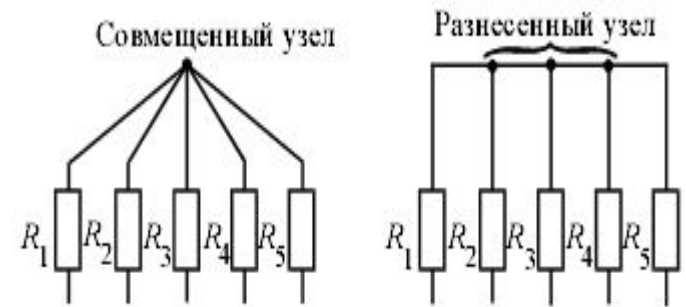


Рис.1.

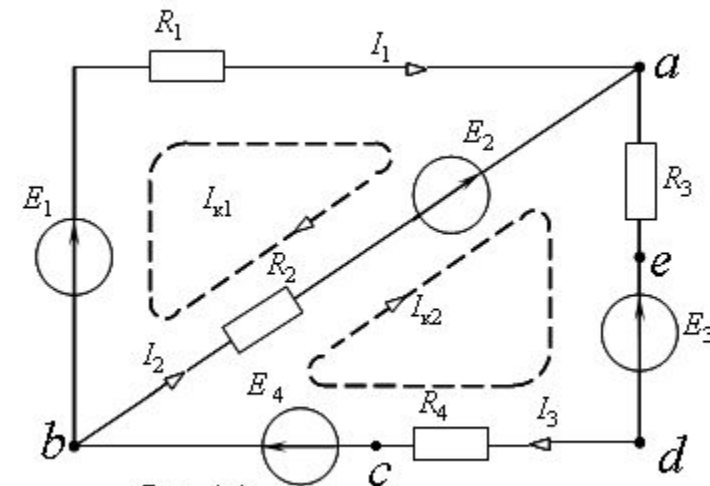


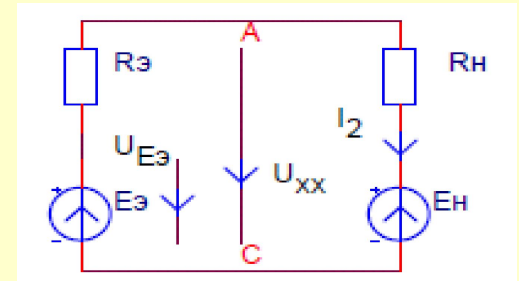
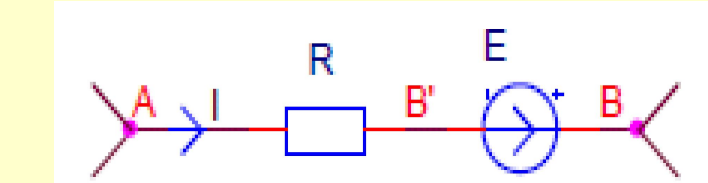
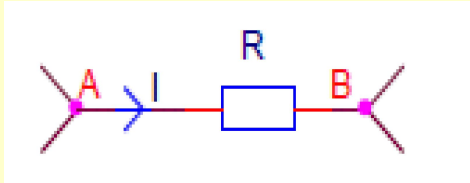
Рис. 1.1

Рис.2.

1.2. ЗАКОНЫ ОМА

- Закон Ома устанавливает связь между током, напряжением и параметрами элементов в неразветвленной электрической цепи и позволяет рассчитывать в них токи. Рассмотрим три формулировки закона Ома.
- 1. Закон Ома для участка цепи не содержащего источников ЭДС.**

Немецкий физик Г. Ом (1787-1854) экспериментально установил, что ток на пассивном участке цепи с полным сопротивлением R (рис.1.3а) определяется соотношением (1.1): где U - потенциалы на выводах участка цепи в узлах a и b , - падение напряжения на участке цепи.



$$i = \frac{\varphi_a - \varphi_{ab}}{R} = \frac{u}{R}$$

Рис.1.3 а)

$$i = \frac{\pm U_{ab} \pm \sum E}{\sum R} = \frac{(\varphi_a - \varphi_b) + E}{R_1 + R_2}$$

б)

$$I = \frac{\pm \sum E}{\sum R} = \frac{E_э - E_н}{R_э + R_н}$$

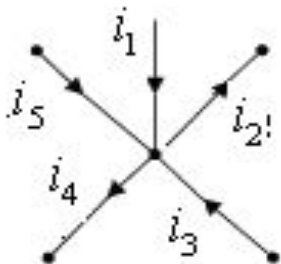
в)

- 2. Обобщенный закон Ома для участка цепи, содержащего источники ЭДС** (см. рис.1.3б). На пассивном участке положительное направление тока и напряжения совпадают. Для записи закона Ома:
 - выбирают положительное направление тока,
 - ЭДС E и напряжение в выражении (1.3) записывают со знаком плюс, если их направления совпадают с направлением тока, и со знаком минус, когда их направления противоположны направлению тока.
- Если при расчете ток окажется с отрицательным знаком, то действительные направления тока противоположно первоначально выбранному направлению.
- 3. Закон Ома для полной цепи** (рис.1.3в), т.е. для замкнутой цепи (для контура): ток в простой одноконтурной цепи выражается уравнением (1.4)
- где - алгебраическая сумма ЭДС источников ЭДС в контуре. ЭДС в выражении (1.4) берутся со знаком "плюс" если выбранное направление тока и ЭДС совпадают и со знаком "минус" если не совпадают; - арифметическая сумма всех резисторов контура.

1.3. ЗАКОНЫ КИРХГОФА



Густав Роберт
Кирхгоф
1824 - 1887



$$i_1 - i_2 + i_3 - i_4 - i_5 = 0$$

Рис. 1.4. Схема,
поясняющие применение
первого закона Кирхгофа

- **Законы Кирхгофа называют уравнениями соединений.**
- **Первый закон Кирхгофа** устанавливает связь между токами, сходящимися в узле (рис.1.4а) электрической цепи:
алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

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

где n — число ветвей, подключенных к узлу.

- При записи уравнений по первому закону Кирхгофа токи, направленные к узлу, берут, обычно со знаком «*плюс*», а токи, направленные от узла, - со знаком «*минус*» или наоборот.
- Например, для узла на рис.1.4а:.
- Если в процессе решения ток оказался с отрицательным знаком, значит его направление противоположно выбранному.
- Число независимых уравнений по первому закону Кирхгофа

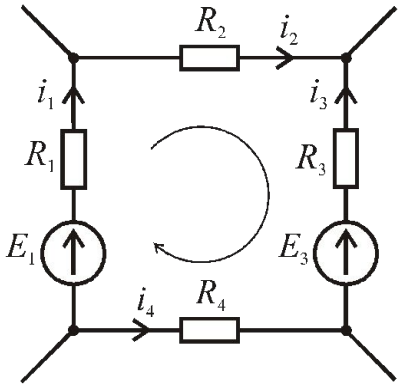
$$n_y = -1$$

где y - число ветвей схемы

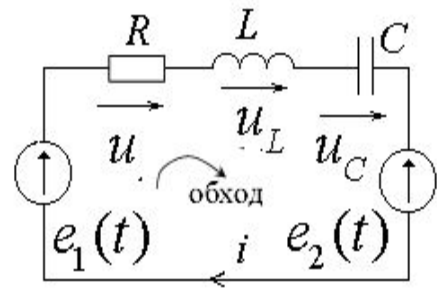
Второй закон Кирхгофа

$$\sum_1^m u_k = 0$$

$$\sum_1^m u_k = \sum_1^n e_k$$



$$R_1 i_1 + R_2 i_2 - R_3 i_3 - R_4 i_4 = E_1 - E_3$$



Второй закон Кирхгофа устанавливает связь между напряжениями на элементах контура электрической цепи (рис.1.4б). Он имеет две формулировки.

- **Формулировка 1:** алгебраическая сумма напряжений на всех элементах контура, включая источники ЭДС, равна нулю, т. е. (1.7).
- **Формулировка 2** в любом контуре алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжения на всех элементах контура (1.6), где n - число источников ЭДС в контуре, m - число пассивных элементов в контуре, u_k - напряжение или падение напряжения на k -м элементе контура.

• При записи уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо:

- задать условно-положительные направления, токов и напряжений на элементах;
- выбрать условно-положительное направление обхода контура, обычно по часовой стрелки, его показывают дугой в контуре;
- записать уравнение, пользуясь одной из формулировок, причем ЭДС и напряжения, входящие в уравнение, берут со знаком «плюс», направления совпадают с направлением обхода контура, и со знаком «минус», если они противоположны.

Число независимых уравнений по второму закону Кирхгофа, равно числу независимых контуров: $N_k = v - y + 1 - m$.

Например, для контура (рис.1.4б) при указанном направлении обхода уравнения имеют вид

$$u_L + u_C + u_R = e_1(t) - e_2(t) \quad \text{или} \quad L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = e_1(t) - e_2(t) \quad \text{-(формулировка 1)}$$

$$u_L + u_C + u_R - e_1(t) + e_2(t) = 0 \quad \text{или} \quad L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt - e_1(t) + e_2(t) = 0 \quad \text{-формулировка 2)}$$

1.3.2. Закон Джоуля – Ленца

- Закон Джоуля – Ленца устанавливает связь между энергией W_R , выделяемой в сопротивлении нагрузки R , током I , проходящим через него, временем T прохождения тока и искомой величиной сопротивления нагрузки

$$W_R = \int_0^T R i^2 dt,$$

- при $i = I = const$;
- Выделяемая на сопротивлении нагрузки энергия в единицу времени ся мощностью и обозначается буквой P . Измеряется в Вт (Ватт).

- $P = W_R / T = I^2 R$.

Энергетический баланс в электрических цепях

- При протекании токов по сопротивлениям электрическая энергия преобразуется в тепловую. На основании закона сохранения энергии количество тепла, выделяющегося в единицу времени в сопротивлениях электрической цепи, равно энергии, доставляемой за то же время источниками питания.

- Уравнение энергетического баланса

$$\sum_{i=1}^m P_{\text{ист}i} = \sum_{j=1}^n P_{\text{прием}j},$$

где $\sum P_{\text{ист}i} = \sum (\pm E_i \cdot I_i) + \sum (\pm U_i J_i)$; $\sum P_{\text{прием}j} = \sum R_j I_j^2$

- Если направление тока I , протекающего через источник ЭДС E , совпадает с направлением ЭДС, то источник ЭДС доставляет в цепь в единицу времени энергию (его мощность), равную $E \cdot I$, которая с положительным знаком входит в уравнение энергетического баланса.
- , где $U_{ab} \cdot J_k$ – мощность, доставляемая в цепь источником тока (a – узел, к которому притекает ток J_k , b – узел, из которого этот ток вытекает).

4.8. Основные задачи теории электрических цепей

- Основных задач три.

• **1) Задача анализа** электрической цепи состоит в отыскании откликов $y(t)$, т.е. токов и напряжений на интересующих нас участках цепи по заданной схеме

- и воздействиям $x(t)$. Схематично задача анализа показана на рис. 4.25.

Задача анализа имеет единственное решение (она однозначна).

- В общем виде в электротехнике задача анализа состоит в нахождении токов во всех ветвях схемы.

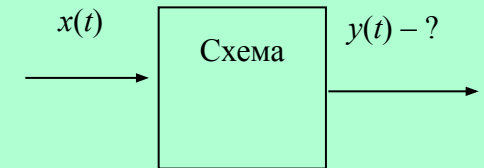


Рис. 4.25

• **2) Задача синтеза** электрической цепи состоит в отыскании схемы цепи (структуры цепи) и параметров ее элементов по заданным откликам и воздействиям. Схематично задача синтеза показана на рис. 4.26.

- Задача синтеза сложнее задачи анализа и обычно она неоднозначна,
- т.е. можно создать ряд схем с одной и той же функцией цепи.
- Окончательный вариант схемы выбирается на основе дополнительных
- требований к ней. **Рис. 4.26**

• Например:

- 1) Синтезировать схему при минимальной стоимости ее деталей;
- 2) Синтезировать пассивную схему, используя только элементы R и C .

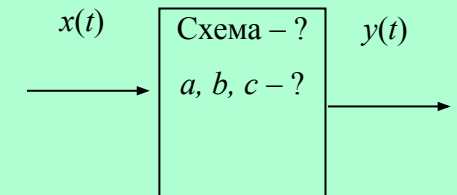


Рис. 4.26

- **3). Обратная задача** состоит в отыскании воздействия,
- когда известен сигнал на выходе цепи и схема электрической цепи.
- Схематично задача синтеза показана на рис. 4.27.

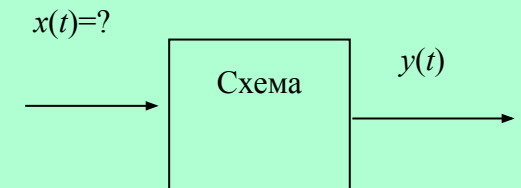


Рис. 4.27

Электрические цепи постоянного тока. 2.1 Общие сведения

- Электротехника началась с освоения энергии постоянного тока (гальванические элементы).
- В настоящее время устройства постоянного тока имеют большое практическое применение на транспорте (двигатели подъемных механизмов, трамваев, троллейбусов, электровозов, электрокар), при электрохимическом получении металлов (электролизные ванны), в космической технике, в радиоэлектронике, компьютерной технике и т.д.
- Применение высоковольтных ЛЭП постоянного тока большой протяженности экономически оказывается более целесообразно, чем ЛЭП переменного тока.
- В настоящее время основными источниками постоянного напряжения (ИПН) являются: 1.- выпрямительные преобразователи (выпрямители), 2. - химические аккумуляторы, 3.- электромашинные генераторы постоянного тока, 4. – источники, преобразующие энергию Солнца при помощи фотоэлементов, 5. – магнетогидродинамические генераторы (МГД-генераторы) и т.д.

• Особенности режима постоянного тока в электрических цепях.

$$i = I = const \quad u = U = const$$

При расчете электрических цепей в режиме постоянного тока:

- Напряжения на зажимах индуктивности равно нулю :

$$U = L \frac{di}{dt} = L \frac{dI}{dt} = 0$$

и ток через емкость будет равен нулю:

$$i = c \frac{du}{dt} = c \frac{dU}{dt} = 0$$

- При расчете цепей в режиме постоянного тока индуктивности заменяются короткозамкнутым участками цепи, а емкости – разомкнутыми

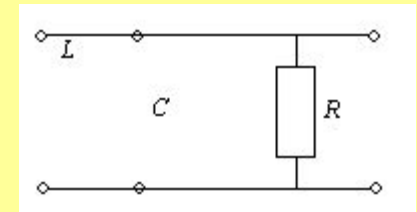
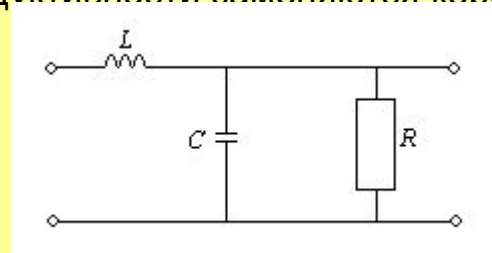
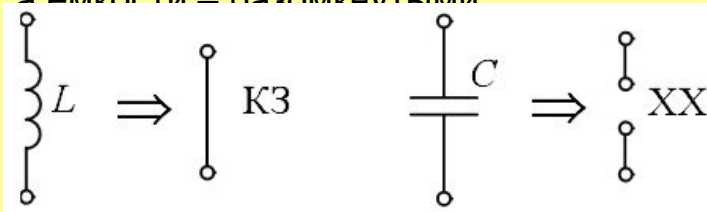


Схема замещения цепи в режиме постоянного тока.

При анализе ЭЦ постоянного тока, пассивными элементами схем являются только резистивные элементы, т. к. сопротивления индуктивных элементов постоянному току равны нулю, а сопротивления емкостных элементов при этом равны бесконечности.

Закон Ома и законы Кирхгофа для цепей постоянного тока

- **Закон Ома** для любой ветви цепи постоянного тока определяется аналогично общей формуле, в которой вместо мгновенных значений u и I используются значения постоянного напряжения U и тока I :

$$I = U/R \text{ или } U = IR. (1.9)$$

- Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью. Она обозначается как G и измеряется в сименсах (См) $G=1/R. (1.10)$

- **Первый закон Кирхгофа** для любого узла цепи постоянного тока записывается аналогично общей формуле (1.1), у которой переменные во времени токи ik заменены на постоянные токи I_k

где K – число ветвей, подходящих к данному узлу цепи (не менее трех). Токи, направленные к узлу, будем считать положительными и вводить в уравнение (1.11) со знаком (+), а токи, направленные от узла, – отрицательными и вводить в уравнение со знаком (-). Например

$$\text{для узла } a: J - I_1 - I_5 = 0; \quad \text{для узла } c: I_3 + I_4 + I_5 - J = 0;$$

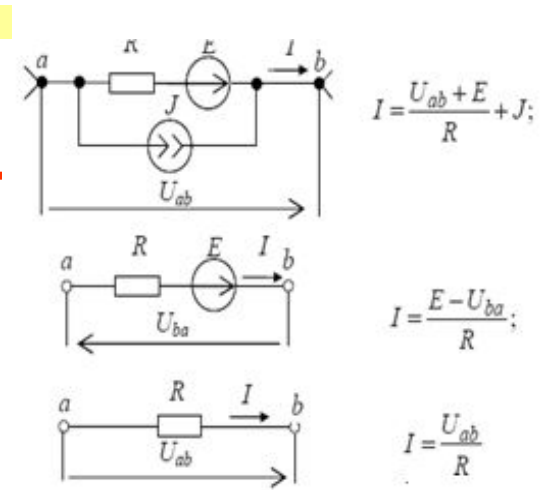
- **Второй закон Кирхгофа** для любого контура цепи постоянного тока записывается аналогично формуле (1.2), у которой переменные во времени величины e_q и u_p заменены постоянными величинами E_q и U_p .

- Как и прежде, ЭДС и токи, совпадающие с принятым направлением обхода контура, будем считать положительными и записываются со знаком (+), а не совпадающие с обходом контура, отрицательными и вводить в уравнение со знаком (-).

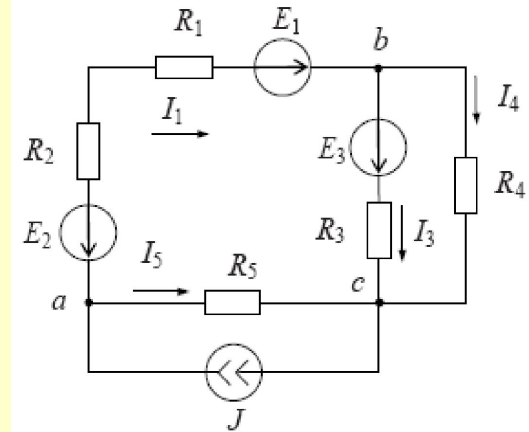
- Например, для контура abc : $R_1 I_1 + R_2 I_1 + R_3 I_3 - R_5 I_5 = E_1 - E_2 + E_3$

- **Баланс мощностей**

$$\sum_{i=1}^m P_{\text{ист}i} = \sum_{j=1}^n P_{\text{прием}j}, \quad \text{где } \sum P_{\text{ист}i} = \sum (\pm E_i \cdot I_i) + \sum (\pm U_i J_i); \quad \sum P_{\text{прием}j} = \sum R_j I_j^2$$



$$\sum_{k=1}^n I_k = 0; \quad \sum_{k=1}^n E_k = \sum_{l=1}^m R_l I_l;$$



ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ и принципы ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ

- Основные уравнения теории цепей делятся на компонентные и топологические. Компонентные уравнения, например, закон Ома, связывают сигналы одного элемента. Топологические уравнения, например, законы Кирхгофа, связывают сигналы разных элементов.

3.1 Закон Ома

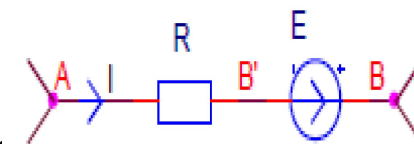
Закон Ома в простейшей форме связывает напряжение и ток сопротивления (см. рис. 3.1):



$$i = \frac{u_{AB}}{R} \quad (3.1)$$

- В сопротивлении ток и напряжение совпадают по направлению, т. к. ток течет от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом; поэтому отношение берётся со знаком «+».

- В случае если в ветви есть сопротивление и источник э. д. с., закон Ома обобщается следующим образом (см. рис. 3.2):



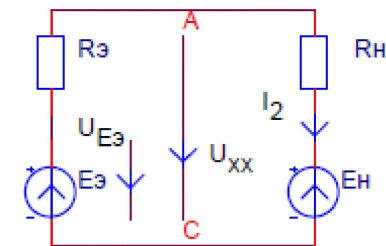
$$i = \frac{u_{AB} + e}{R} \quad (3.2)$$

- В числителе алгебраически (с учётом знака) складывается внешнее напряжение и все источники э. д. с. ветви — со знаком «+» берутся те, направление которых совпадает с направлением тока, со знаком «-» берутся противоположные — а в знаменателе складываются сопротивления ветви.

Закон Ома для одноконтурной цепи выглядит следующим образом:

(3.3):

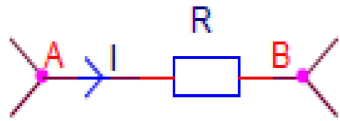
- Со знаком «+» берутся источники э. д. с., совпадающие по направлению с током, со знаком «-» берутся противоположные (см. рис. 3.3).



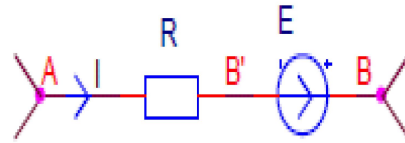
$$i = \frac{e_3 - e_n}{R_3 + R_n}$$

1.2. ЗАКОНЫ ОМА

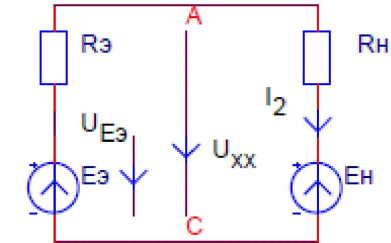
- Закон Ома устанавливает связь между током, напряжением и параметрами элементов в неразветвленной электрической цепи и позволяет рассчитывать в них токи. Рассмотрим три формулировки закона Ома.
- 1. Закон Ома для участка цепи не содержащего источников ЭДС.**
- Немецкий физик Г. Ом (1787-1854) экспериментально установил, что ток на пассивном участке цепи с полным сопротивлением R (рис.1.3а) определяется соотношением (1.1):
- где U - потенциалы на выводах участка цепи в узлах a и b , - падение напряжения на участке цепи.



$$i = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R} = \frac{U_{ab}}{R}$$



$$i = \frac{\pm U_{ab} \pm \sum E}{\sum R} = \frac{(\varphi_a - \varphi_b) + E}{R_1 + R_2}$$



$$I = \frac{\pm \sum E}{\sum R} = \frac{E_y - \sum I_i}{R_y + R_i}$$

Рис.1.3 а)

- 2. Обобщенный закон Ома для участка цепи, содержащего источники ЭДС** (рис.1.3б), выражается уравнением

- На пассивном участке положительное направление тока и напряжения совпадают.
- Для записи закона Ома: 1. выбирают положительное направление тока,
- 2. ЭДС E и напряжение U в выражении (1.3) записывают со знаком плюс, если их направления совпадают с направлением тока, и со знаком минус, когда их направления противоположны направлению тока.
- Если при расчете ток окажется с отрицательным знаком, то действительные направления тока противоположно первоначально выбранному направлению.

- 3. Закон Ома для полной цепи** (рис.1.3в), т.е. для замкнутой цепи (для контура): ток в простой одноконтурной цепи выражается уравнением (1.4)

- где $\sum E$ - алгебраическая сумма ЭДС источников ЭДС в контуре. ЭДС в выражении (1.4) берутся со знаком "плюс" если выбранное направление тока и ЭДС совпадают и со знаком "минус" если не совпадают; $\sum R$ - арифметическая сумма всех резисторов контура.