Предмет: **Теоретические основы электротехники**

Лектор: **Вишняков Сергей Викторович**

Структура курса:

3 семестр:

- лекции (36 часов)
- лабораторно-практические занятия (36 часов)
- расчетное задание
- экзамен

4 семестр:

- лекции (36 часов)
- лабораторно-практические занятия (36 часов)
- курсовая работа
- экзамен

Теория поля

(кроме ЭЛ-15)

5 семестр:

- лекции (36 часов)
- практика (18 часов)
- расчетное задание
- экзамен

Рекомендуемая литература

Учебники*:*

Теоретические основы электротехники. Т.1 / К. С. Демирчян, и др. – СПб.: Питер, 2003 - 463 с.

Теоретические основы электротехники. Т. 1. Основы теории цепей. Под ред. П.А. Ионкина, М.: Высш. шк. -1976. -544 с.

Теоретические основы электротехники. Т. 1. К.М. Поливанов, М.: Энергия -1965. -360 с.

Задачники*:*

Сборник задач по теоретическим основам электротехники/под ред. Бутырина П.А. -М.:Издательский дом МЭИ, 2012, Т.1, 595с.

Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники. Под ред. П.А. Ионкина, М.: Энергоиздат -1982. -544 с.

Сборники лабораторно-практических работ*:*

В электронной форме

Модели электромагнитных явлений

Сложность модели

Отдельные частицы, их взаимодействие

Квантовая электродинамика

Специальная теория относительности

Взаимодействие множеств частиц, макроскопических объектов в пространстве

Классическая электродинамика

Теория электрических цепей

Функционирование устройств, электрических сетей

Квантовая электродинамика

Элементарные частицы

	масса покоя, кг	Заряд, Кл	спин
электрон	$9{,}11 \bullet 10^{-31}$	$-1{,}6 \bullet 10^{-19}$	1/2
протон	$1{,}62 \bullet 10^{-27}$	$1{,}6 \bullet 10^{-19}$	1/2
фотон	0	0	1

Принцип неопределенности $dpdx \sim \hbar/2$

Уравнение Шредингера $$\frac{1}{2}\square\,\Delta\psi(x,y,z,t) + E\psi(x,y,z,t) = j\square\,\frac{\partial\psi(x,y,z,t)}{\partial t}$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$ - дифференциальный оператор Лапласа

$j^2 = -1$ - мнимая единица

$\psi(x,y,z,t)$ - комплексная волновая функция

Классическая электродинамика

Уравнения Максвелла

в дифференциальной форме

$$\begin{cases} \left[\nabla \times \overline{H}\right] = \bar{\mathrm{j}} + \dfrac{\partial \overline{D}}{\partial t} \\ \left[\nabla \times \overline{E}\right] = -\dfrac{\partial \overline{B}}{\partial t} \\ \left(\nabla \cdot \overline{D}\right) = \rho \\ \left(\nabla \cdot \overline{B}\right) = 0 \end{cases}$$

в интегральной форме

Закон полного тока

Закон электромагнитной индукции

Теорема Гаусса (магнитное поле)

Теорема Гаусса (электрическое поле)

$$\begin{cases} \oint_L \overline{H} \cdot \overline{dl} = I_{\text{ПОЛН}} \\ \oint_L \overline{E} \cdot \overline{dl} = -\dfrac{\partial \Phi}{\partial t} \\ \oint_S \overline{B} \cdot \overline{ds} = 0 \\ \oint_S \overline{D} \cdot \overline{ds} = Q \end{cases}$$

Материальные уравнения среды

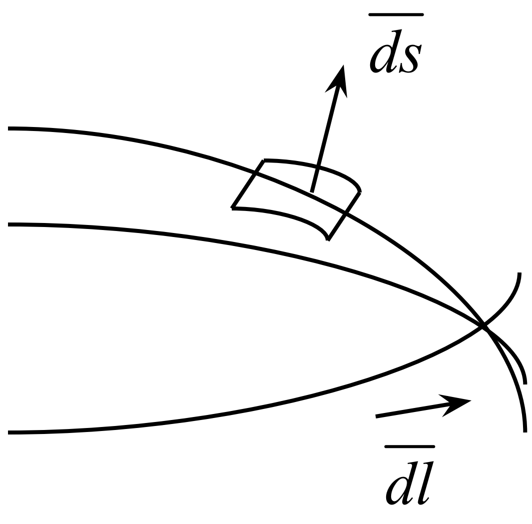
$$\overline{D} = \varepsilon_0 \overline{E} + \overline{P}$$

$$\overline{B} = \mu_0 \overline{H} + \overline{M}$$

в линейной изотропной среде

$$\overline{D} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \overline{E} = \varepsilon_a \overline{E}$$

$$\overline{B} = \mu_r \mu_0 \overline{H} = \mu_a \overline{H}$$



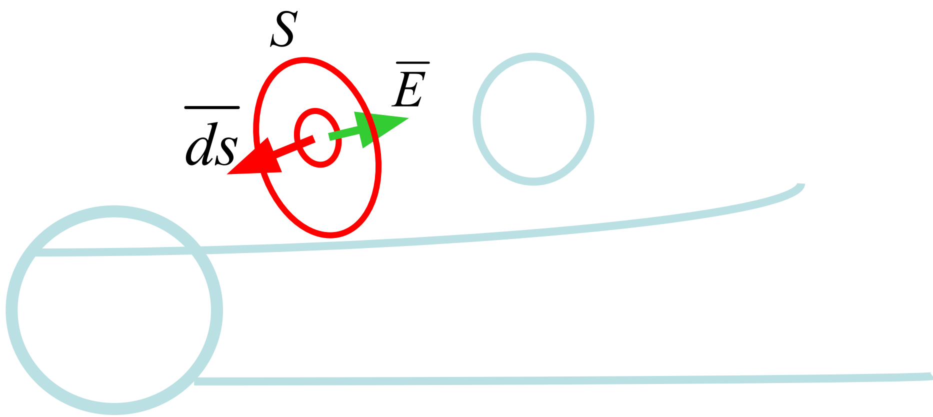
Дифференциальный оператор Гамильтона (набла)

$$\nabla = \bar{i}\,\frac{\partial}{\partial x} + \bar{j}\,\frac{\partial}{\partial y} + \bar{k}\,\frac{\partial}{\partial z}$$

Теория цепей - Интегральные величины

Ток

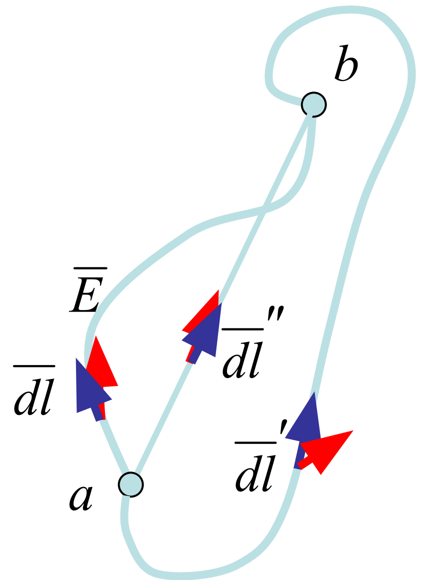
$$i = \int_S \left(\sigma \overline{E} + \frac{\partial \overline{D}}{\partial t} \right) \overline{dS}$$



Напряжение (разность потенциалов)

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = -\int_b^a \overline{E}\,\overline{dl} = \int_a^b \overline{E}\,\overline{dl}$$

$$\int_a^b \overline{E}\,\overline{dl} = \int_a^b \overline{E}\,\overline{dl}' = \int_a^b \overline{E}\,\overline{dl}''$$



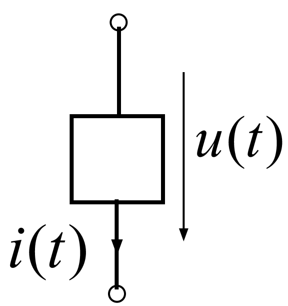
Мощность и энергия

Мощность:

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

$$W(t) = \int_{-\infty}^{t} p(\vartheta)\,d\vartheta$$

Для элемента с двумя полюсами:



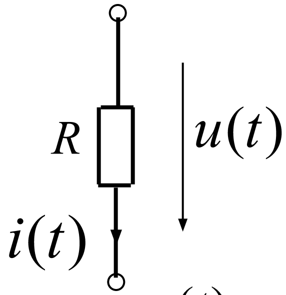
$$p(t) = u(t)i(t)$$

$$p(t) > 0 \quad \rightarrow \quad \frac{dW}{dt} > 0$$

$$p(t) < 0 \quad \rightarrow \quad \frac{dW}{dt} < 0$$

Пассивные двухполюсные элементы - сопротивление

Резистивный элемент



$u(t) = R\,i(t)$ - закон Ома

$i(t) = g\,u(t)$

$g = R^{-1}$

Единицы измерения:

[*R*] – Ом

[*g*] – См (Сименс)

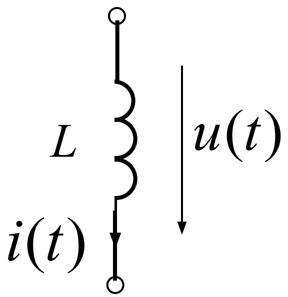
Мощность и энергия:

$$p(t) = u(t)i(t) = Ri^2(t) = gu^2(t)$$

$$p(t) > 0 \quad \forall t$$

Пассивные двухполюсники – индуктивность и емкость

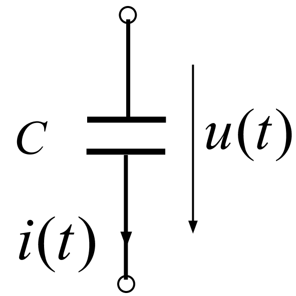
Индуктивный элемент



$$u(t) = L\frac{di(t)}{dt}$$

$$i(t) = \frac{1}{L}\int\limits_{-\infty}^{t} u(t)dt = i(0) + \frac{1}{L}\int\limits_{0}^{t} u(t)dt$$

Емкостной элемент



$$i(t) = C\frac{du(t)}{dt}$$

$$u(t) = \frac{1}{C}\int\limits_{-\infty}^{t} i(t)dt = u(0) + \frac{1}{C}\int\limits_{0}^{t} i(t)dt$$

Единицы измерения:

[*L*] – Гн (Генри)

[*C*] – Ф (Фарад)

Мощность и энергия:

$$p(t) = u(t)i(t) = Li(t)\frac{di(t)}{dt}$$

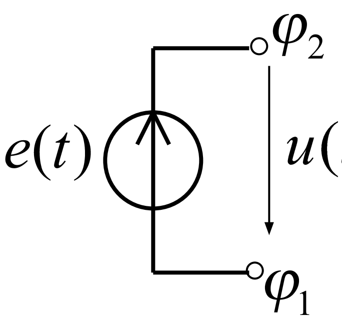
$$p(t) = Cu(t)\frac{du(t)}{dt}$$

$$W(t) = \int\limits_{-\infty}^{t} Li(\vartheta)\frac{di(\vartheta)}{d\vartheta}d\vartheta = L\int\limits_{-\infty}^{t} i(\vartheta)di(\vartheta) = \frac{Li^2(t)}{2}$$

$$W(t) = \int\limits_{-\infty}^{t} Cu(\vartheta)\frac{du(\vartheta)}{d\vartheta}d\vartheta = \frac{Cu^2(t)}{2}$$

Активные двухполюсные элементы

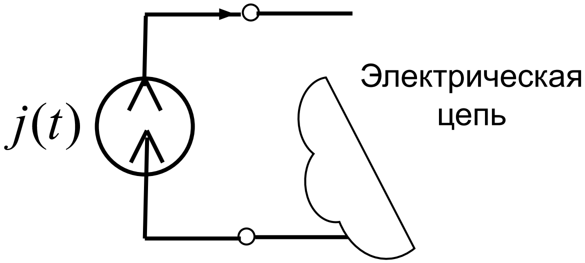
Источник ЭДС



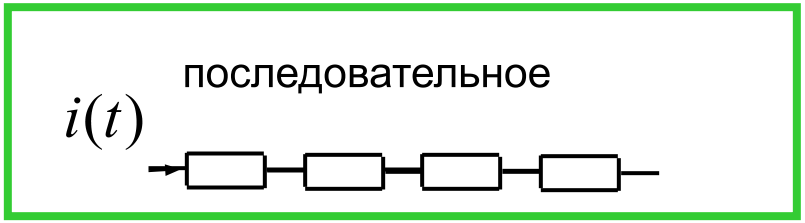
$$u(t) = \varphi_2 - \varphi_1 \equiv e(t)$$

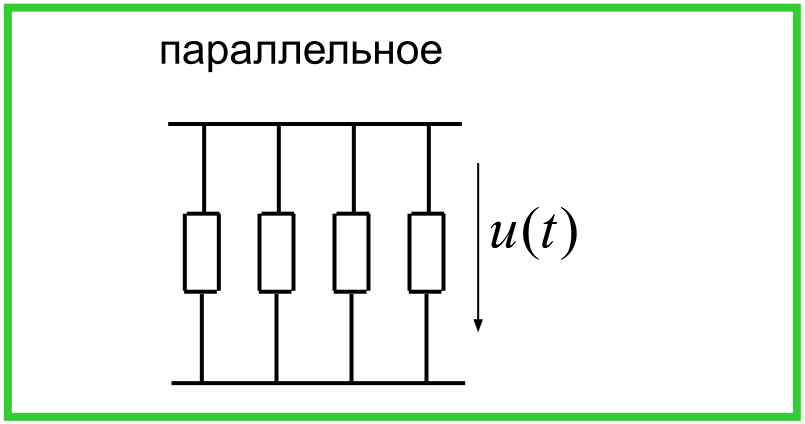
Источник тока

$$i(t) \equiv j(t)$$



Соединение элементов





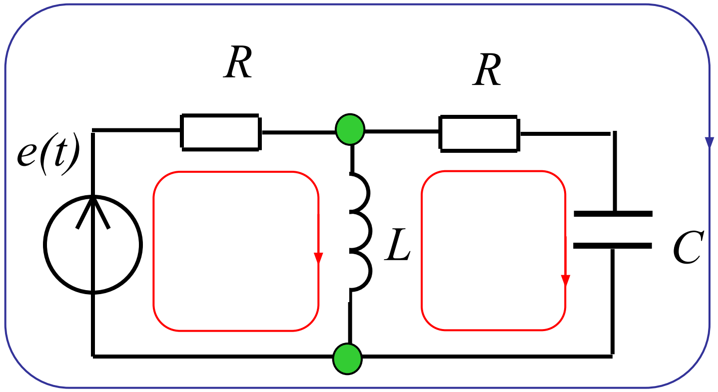
Ветвь – совокупность элементов, соединенных последовательно (через все элементы ветви течет один и тот же ток)

Узел – точка соединения трех и более ветвей

Контур – замкнутая последовательность ветвей, в которой ни одна ветвь и ни один узел не повторяются

Контуры называются независимыми, если каждый контур содержит хотя бы одну ветвь, не входящую в остальные

Сечение – воображаемая линия, разделяющая цепь на части



2 узла

3 контура, 2 независимых контура

3 ветви

Законы Кирхгофа

I закон Кирхгофа   Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю

(вытекающие записываются с «+», втекающие с «-»),

иначе – сумма втекающих токов равна сумме вытекающих

Алгебраическая сумма токов в сечении равна нулю

(вытекающие записываются с «+», втекающие с «-»)

II закон Кирхгофа Алгебраическая сумма падений напряжений по замкнутому контуру равна нулю

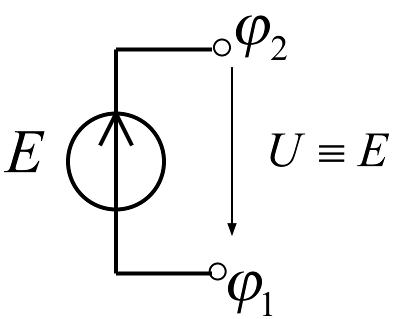
(если падение напряжения сонаправлено с направлением обхода контура, то записывается с «+», иначе с «-»)

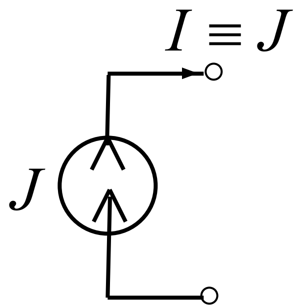
Примечания:

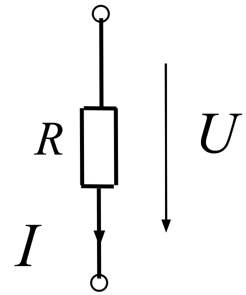
1) Если иного не указано, направления токов и направления обхода контуров могут быть выбраны произвольно
2) При перечислении контуров не учитывают ветви с источниками тока
3) Для расчета неизвестных токов следует составить уравнения по первому закону Кирхгофа для всех узлов цепи кроме одного и по второму закону – для всех независимых контуров

Цепи постоянного тока

$$\frac{d}{dt} = 0 \quad i(t) = const = I \quad u(t) = const = U$$





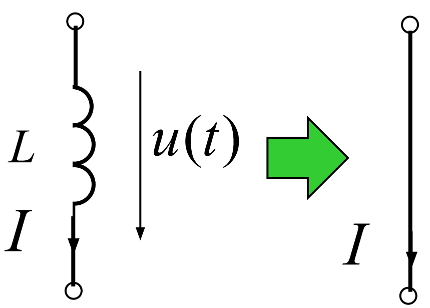


$$U = R\,I$$

$$I = g\,U$$

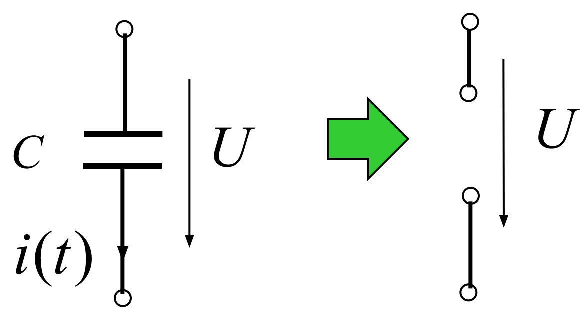
$$g = R^{-1}$$

$$P = UI = RI^2 = gU^2$$



$$u(t) = L\frac{dI}{dt} = 0$$

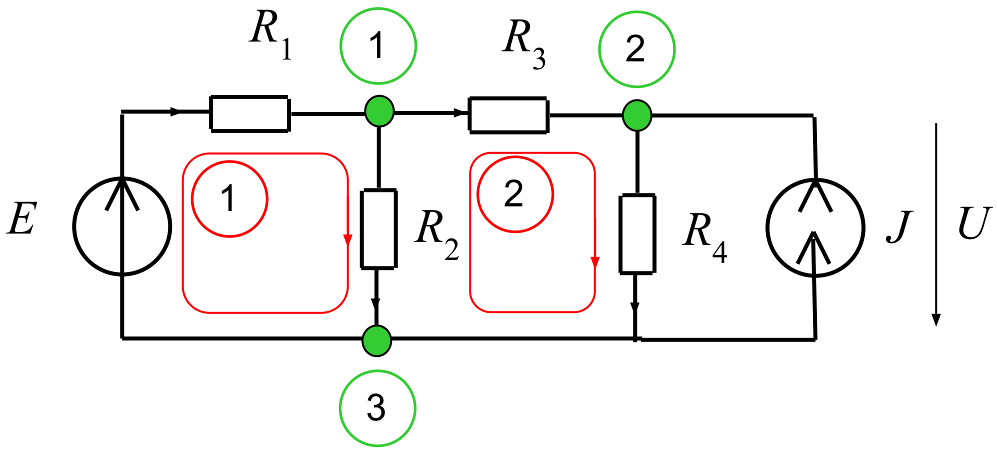
$$P = 0, \quad W(t) = \frac{LI^2}{2}$$



$$i(t) = C\frac{dU}{dt} = 0$$

$$P = 0, \quad W(t) = \frac{CU^2}{2}$$

Пример



По I закону Кирхгофа

$$\begin{cases} -I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ -I_3 + I_4 - J = 0 \end{cases}$$

По II закону Кирхгофа

$$\begin{cases} -E + I_1 R_1 + I_2 R_2 = 0 \\ -I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = 0 \end{cases}$$

Применим II закон Кирхгофа для расчета напряжения на источнике тока:

$$I_4 R_4 - U = 0 \to U = I_4 R_4$$