

Электротехника и электроника

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А.С. **Электротехника: учебник для вузов / А.С.Касаткин, М.В. Немцов.– М.: Изд. Центр «Академия», 2007. – 544 с.**
2. Рекус, Г.Г. **Лабораторный практикум по электротехнике и основам электроники: учеб. пособие для студ вузов, 2-е изд. / Г.Г. Рекус, В.Н. Чесноков. – М.: Высшая школа, 2001 – 255 с.**
3. Гальперин, М.В. **Электротехника и электроника: учебник / М.В. Гальперин. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М, 2007. – 480 с.: ил.**
4. Савилов, Г.В. **Электротехника и электроника: курс лекций / Г.В. Савилов. – М.: Издательско-торговая корпорация «Данилов и К°», 2008. – 324 с.**

Содержание курса

Раздел 1. Электрические цепи: основные понятия об электрических цепях, законы электротехники, параметры и методы расчета эл. цепей.

Раздел 2. Электромагнитные устройства и электрические машины: назначение, устройство и принцип работы трансформаторов, электрических двигателей и генераторов.

Раздел 3. Основы электроники: общие сведения о некоторых типах электронных устройств: выпрямителей, усилителей, логических элементах, элементах памяти и арифметических устройств.

Лекция 1

1.1 Введение в дисциплину

1.2 Общие сведения о производстве, передаче, распределении и потреблении электрической энергии.

1.3 Электрические цепи

1.4 Основные законы электрических цепей

1.5 Методы расчета электрических цепей

Электротехника – наука, изучающая методы и средства применения электрических и магнитных явлений в технике.

Энергетическая система – система электроснабжения (электрическая сеть) – это совокупность электроустановок вырабатывающих, передающих, распределяющих и потребляющих электроэнергию.

Производство электрической энергии

Эл. энергию вырабатывают на эл. станциях трехфазные **синхронные генераторы** путем преобразования других видов энергии:

- энергии движущейся воды на гидравлических эл. станциях;
- химической энергии топлива (твердого, жидкого и газообразного) на тепловых;
- атомной энергии на атомных;
- нетрадиционных видов энергии на солнечных, ветряных и др.

Передача электрической энергии

от источников к потребителям осуществляется с помощью эл. сетей, которые классифицируют:

- ◆ по виду тока – сети постоянного и переменного тока;
- ◆ по значению напряжения – сети низкого (до 1 кВ), среднего (от 1 до 35 кВ), высокого (от 35 до 400 кВ) и сверхвысокого (свыше 400 кВ) напряжения;
- ◆ по конструктивному исполнению – воздушные линии электропередач(ЛЭП) и кабельные ЛЭП;
- ◆ по назначению – межсистемные, магистральные и распределительные.

Передача больших мощностей при низком напряжении технически нецелесообразна и экономически невыгодна, из-за

увеличения сечения проводов и больших потерь мощности.

Т.к. $\Delta P = I^2 R$

Преобразование электроэнергии с низкого напряжения на высокое и наоборот и ее распределение осуществляются на **подстанциях** с помощью преобразующих и распределительных устройств.

Основное преобразующее устройство – **трансформатор**, распределительные устройства – **шины, выключатели, разъединители и т.д.**

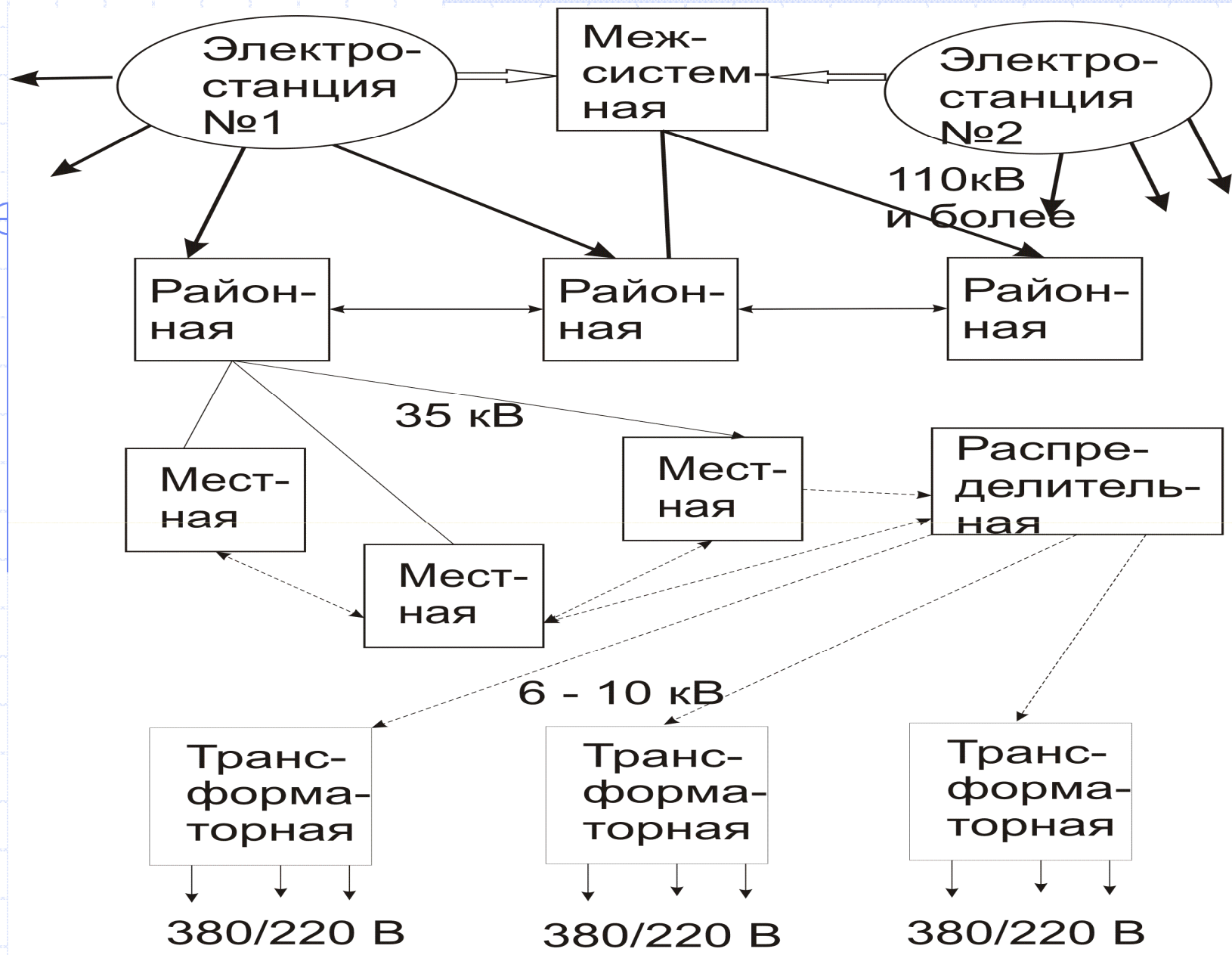


Рис. 1. Типовая структурная схема СЭС

ПОДСТАНЦИИ по назначению в энергосистеме:

- ***межсистемные*** – предназначены для связи между отдельными системами электроснабжения (СЭС). Через них передают большие мощности эл энергии сверхвысокого и высокого напряжения;
- ***районные*** – для питания районных эл сетей.;
- ***местные*** – для питания городов и сел, как правило 10 или 6 кВ;
- ***распределительные*** – для распределения эл энергии. В них отсутствуют трансформаторы;
- ***трансформаторные (ТП)*** – для преобразования средних напряжений в низкие (380/220В).

Потребление электрической энергии

Производство эл энергии и ее потребление – процесс непрерывный и единый во времени. В каждый момент времени выработка электроэнергии должна соответствовать ее потреблению.

Эл энергию нельзя накапливать в больших количествах, не передавая ее потребителям.

Создание единой энергосистемы
повышает надежность
электроснабжения и улучшает качество
электроэнергии, обеспечивает
постоянство напряжения и частоты,
поскольку колебания нагрузки
воспринимаются многими
электростанциями

По надежности (бесперебойности) питания потребители разделяют на категории:

1 категория - потребители, не допускающие перерыва в эл снабжении, т.к. он связан с опасностью для жизни людей, браком продукции и нарушением технологических процессов. Питание этих потребителей осуществляется от 2х и более независимых источников электроэнергии.

2 категория - потребители перерыв в эл. снабжении которых связан с существенным снижением объема продукции. Перерыв питания для таких потребителей допускается на время включения резервного источника питания.

3 категория - остальные потребители, не требующие резервного питания.

1.3 Элементы и параметры электрических цепей

- ◆ **Термины и определения**

ГОСТ Р 52002-2003

- ◆ **Элементы цепи**

- ◆ **Способы соединения элементов**

**Электрод-
вижущая
сила (ЭДС)**
E, В

скалярная величина, характеризующая способность стороннего поля и индуцированного электрического поля вызывать электрический ток

Напряжение
U, В

$$U_{AB} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

скалярная величина, равная линейному интегралу напряженности электрического поля вдоль рассматриваемого пути

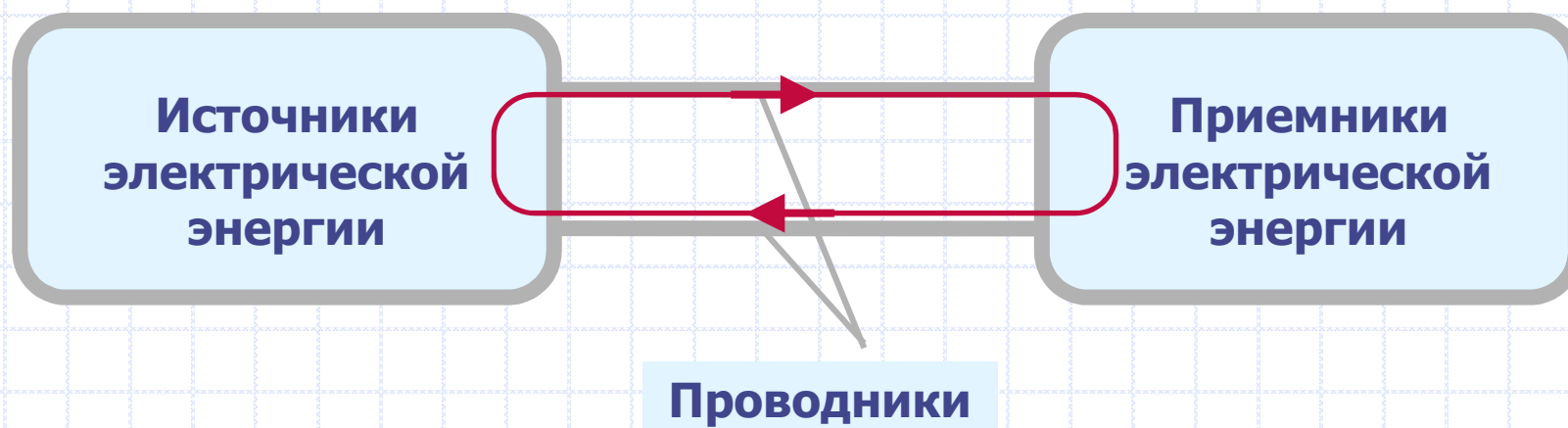
**Электрич.
ток I, А**

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

явление направленного движения свободных носителей электрического заряда, выражаемое скалярной величиной, равной производной по времени от электрического заряда

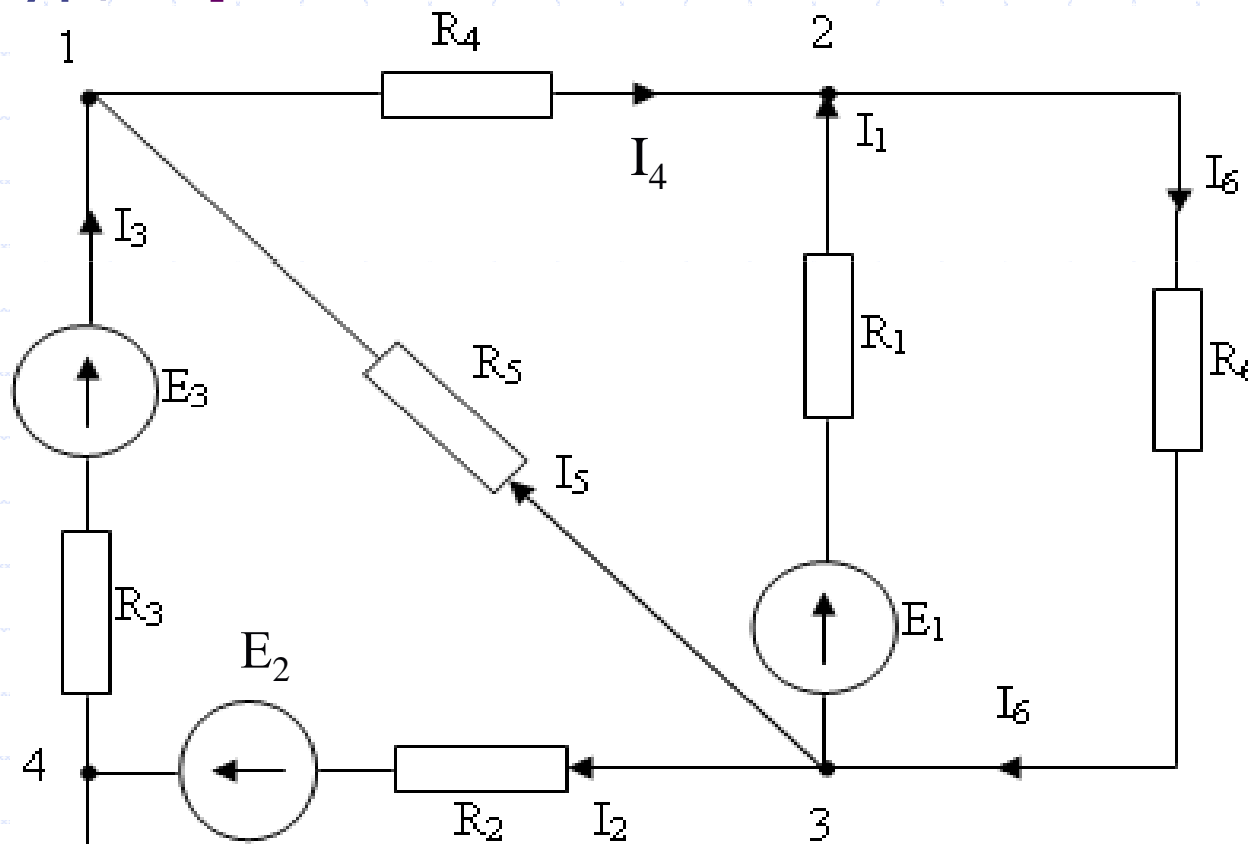
Электрическая цепь

совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об электродвижущей силе (ЭДС) E , электрическом токе I и электрическом напряжении U .



Сложной эл. цепью наз цепь содержащая два и более источника,

неразветвленной – цепь содержащая один контур, а **разветвленной** – два и более.



Топологические параметры схем

Ветвь эл. цепи (схемы) – участок цепи с одним и тем же током.

Узел эл. цепи (схемы) – место соединения трех и более ветвей.

Контур эл. цепи (схемы) – замкнутый путь, проходящий через несколько ветвей.

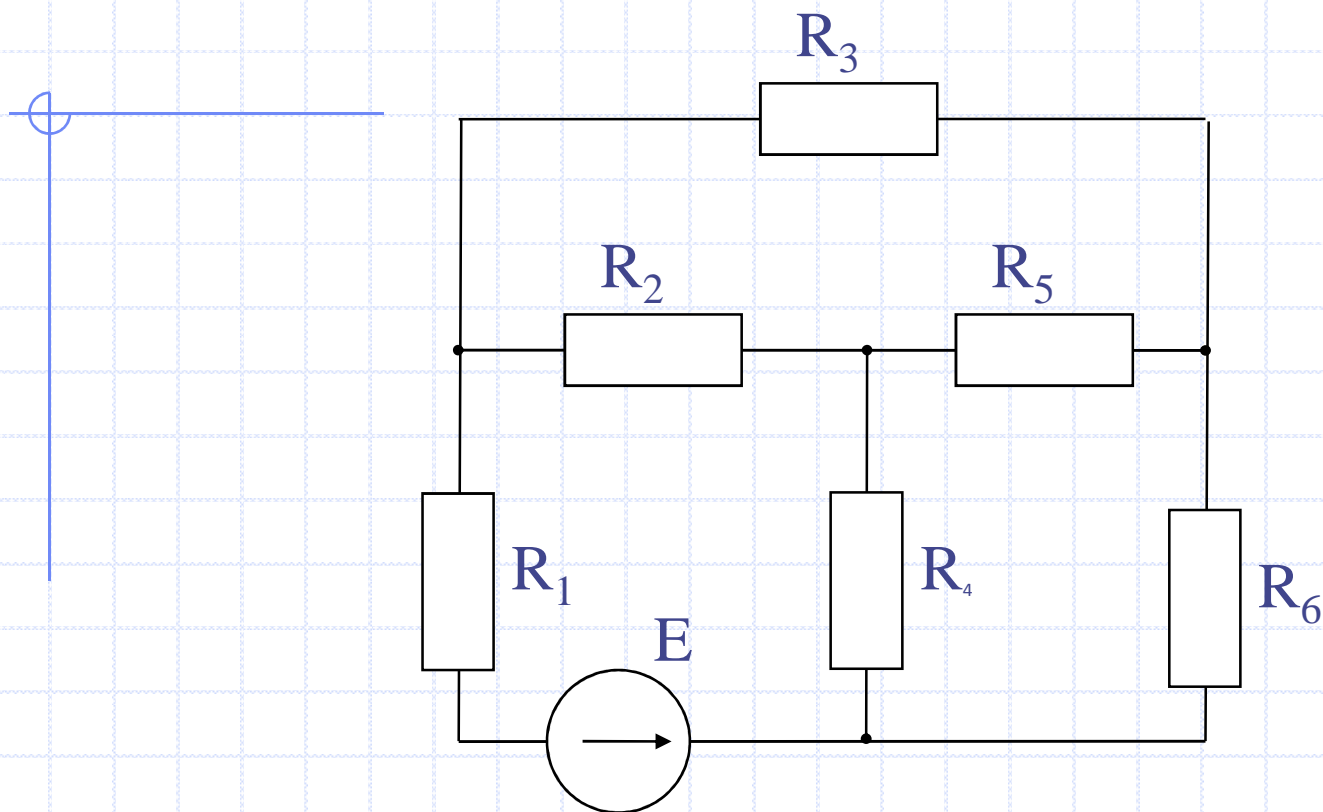
Независимые контуры отличаются друг от друга хотя бы одной ветвью.

$$k_n = B - (Y - 1)$$

k_n – число независимых контуров;

B – число ветвей; Y – число узлов

Для заданной схемы определить:



Число ветвей

Число узлов

Число независимых контуров

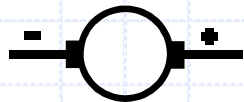
$$B = 6$$

$$Y = 4$$

$$k_H = 3$$

Условные обозначения:

источники (активные элементы цепи)



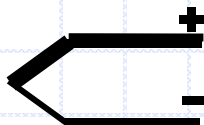
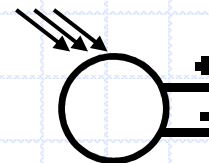
Генератор постоянного тока

Генератор переменного тока



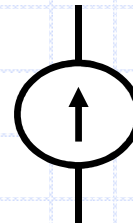
Аккумуляторы и гальванические элементы

Солнечные элементы



Термоэлементы

Источник ЭДС



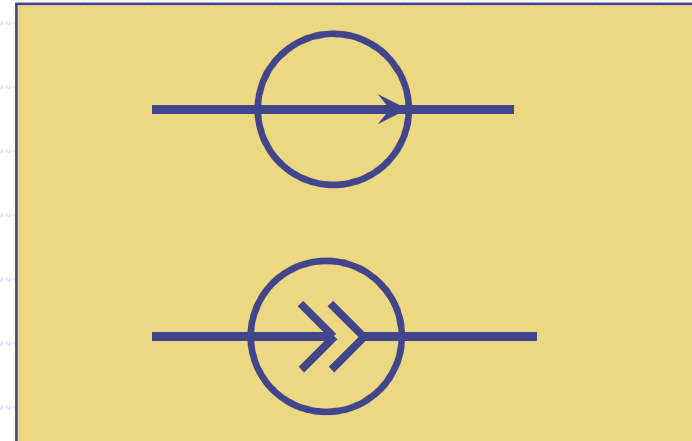
Источники

- ◆ **Электрические генераторы** – преобразуют механическую энергию в электрическую;
- ◆ **Аккумуляторы и гальванические элементы** – преобразуют химическую энергию в электрическую;
- ◆ **Солнечные элементы** – преобразуют световую энергию в электрическую;
- ◆ **Термоэлементы** – преобразуют тепловую энергию в электрическую;
- ◆ **Различные электронные генераторы** – преобразуют электрическую энергию постоянного тока в электрическую энергию переменного тока.

Свойства источников

♦ Виды источников:

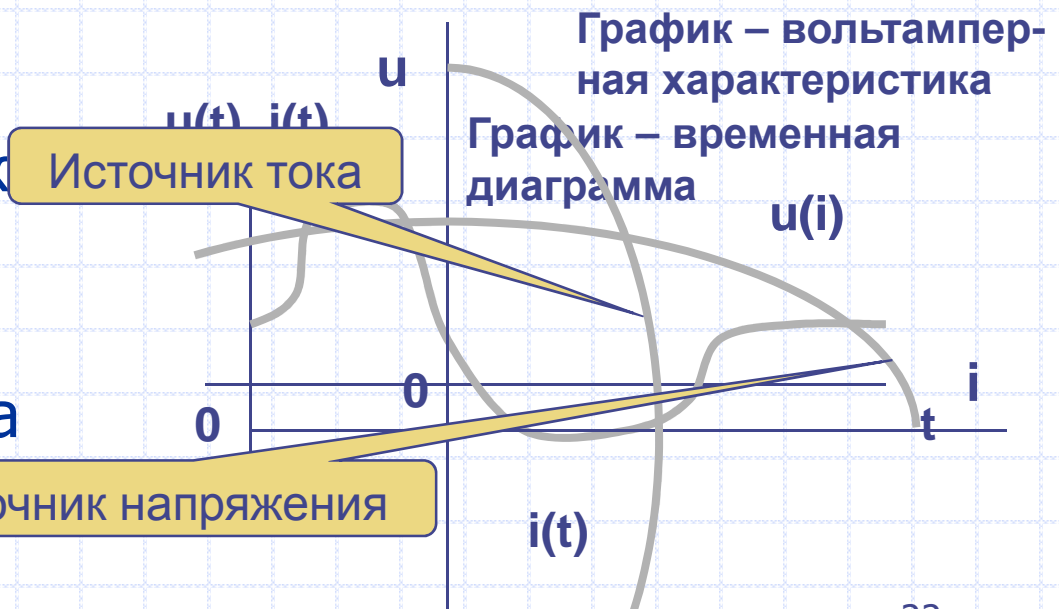
- Источники эл. напряжения
- Источники эл. тока



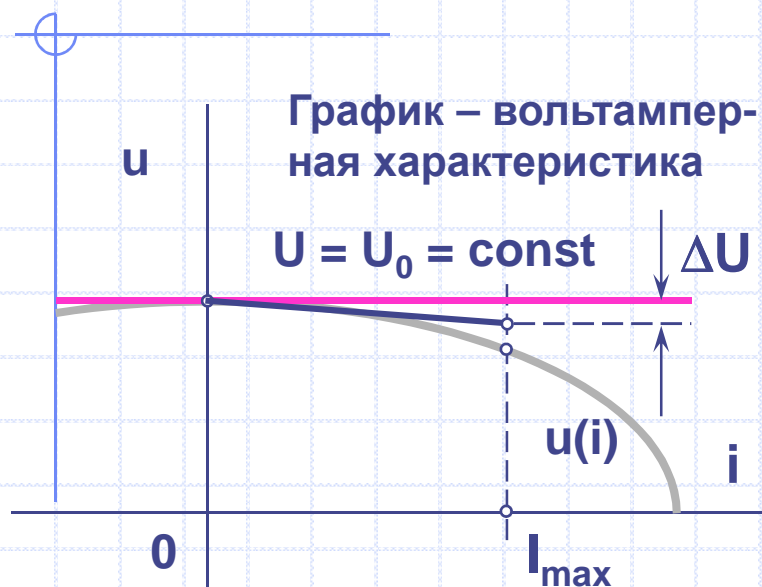
♦ Основные характеристики:

Закон изменения напряжения или тока от времени

Закон изменения напряжения от тока



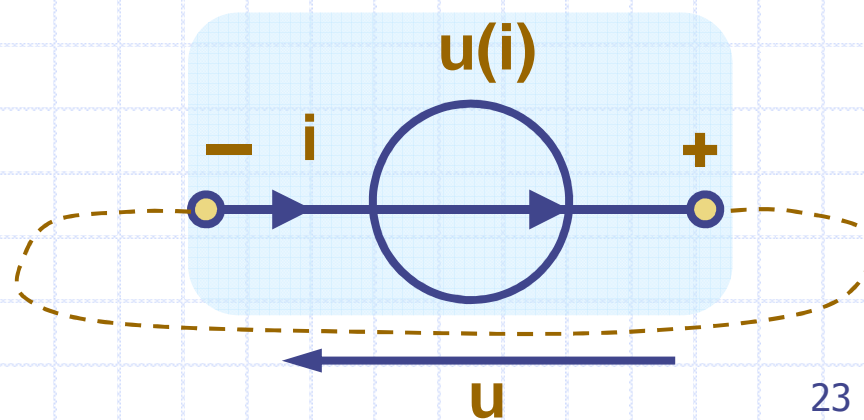
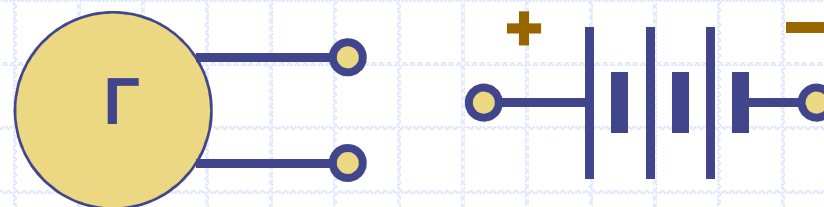
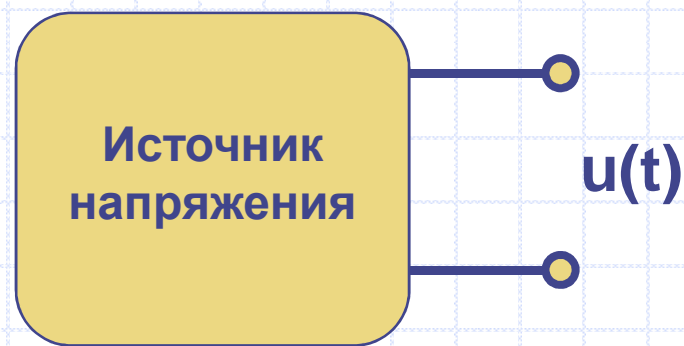
Источники напряжения



$$u(i) = f(i)$$

$$u(i) = U_0 - i \cdot r$$

(7)

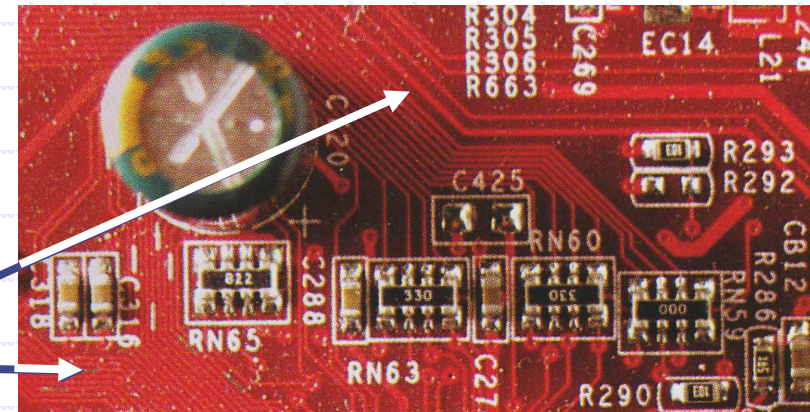
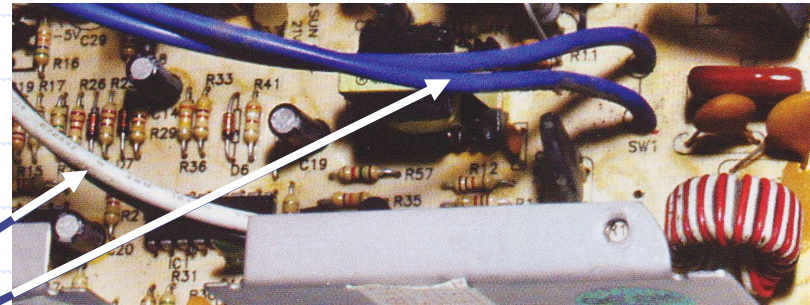


Проводники

- ◆ **Металлы**
- ◆ **Жидкости**
- ◆ **Ионизированные газы**

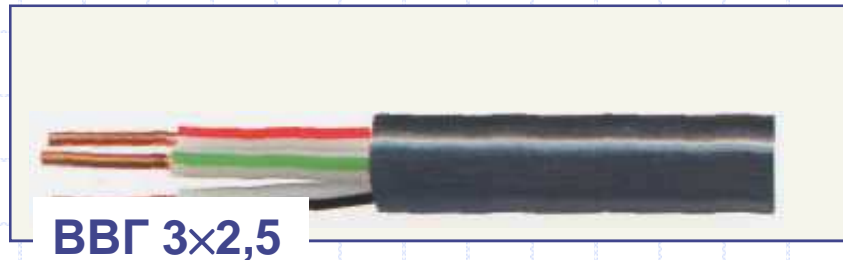
- ◆ **Металлы:**
 - проволока круглого или прямоугольного сечения
 - Полоски фольги, приклеенные к изолятору

Провод СИП 3 – самонесущий в защитной изоляции

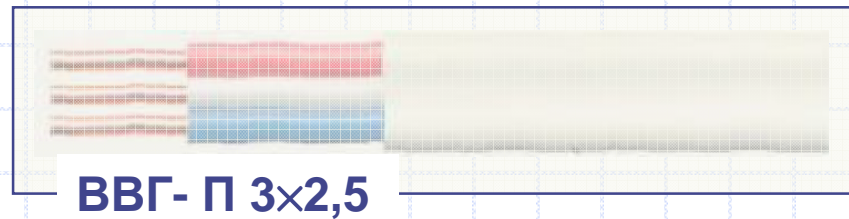


Примеры проводников

Силовой кабель с медными жилами, с ПВХ изоляцией в оболочке из ПВХ пластика пониженной горючести



Силовые кабели с медными жилами, с ПВХ изоляцией в оболочке из ПВХ пластика пониженной горючести в плоском исполнении.



Кабели силовые гибкие с медными многопроволочными жилами, с резиновой изоляцией в резиновой оболочке.



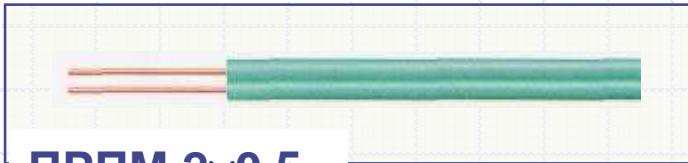
Примеры проводников

Кабель телефонный с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюмополимерной ленты, в полиэтиленовой оболочке



ТПнП 20×0,25

Провод однопарный с медными жилами в полиэтиленовой изоляционно-защитной оболочке для телефонной связи и радификации.



ПРПМ 2×0,5

Провод неизолированный, скрученный из алюминиевых проволок.



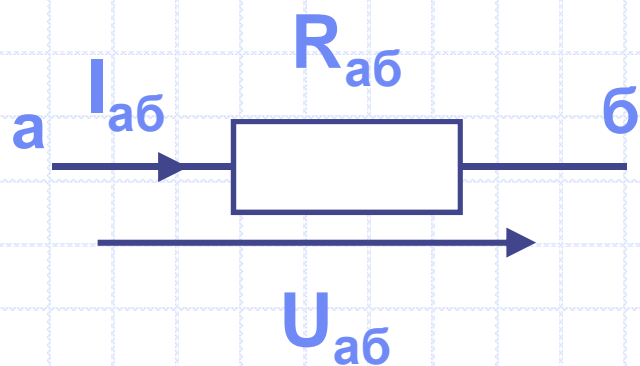
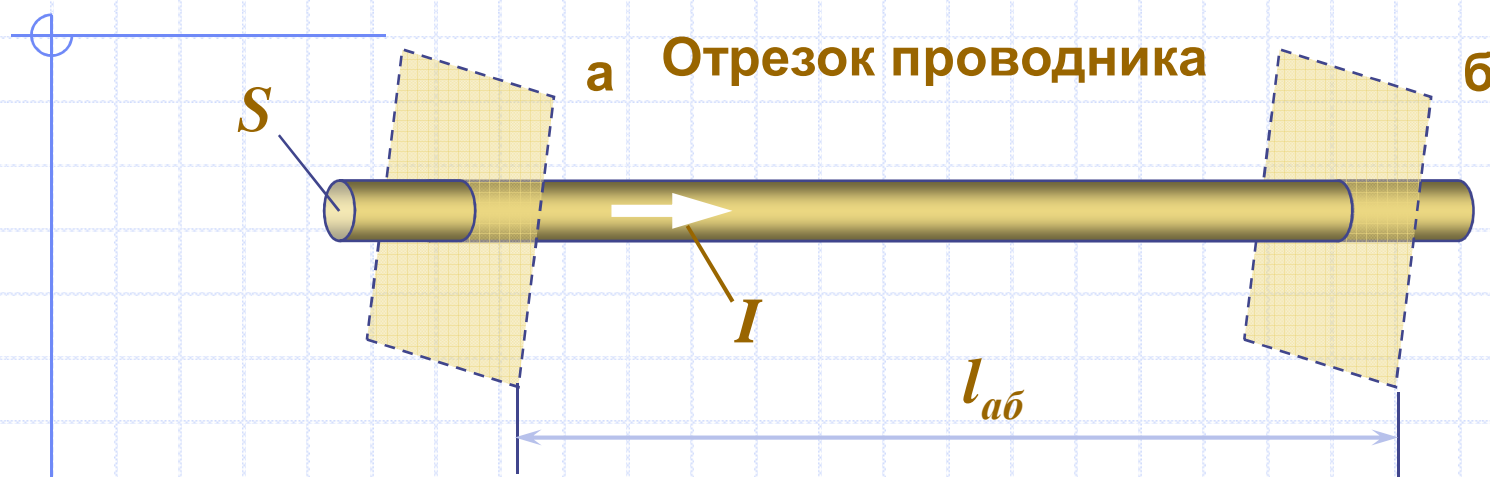
А 35

Провод неизолированный, состоящий из стального сердечника и алюминиевых проволок



АС 90

Проводник в цепи



$$U_{ab} = R_{ab} \cdot I$$

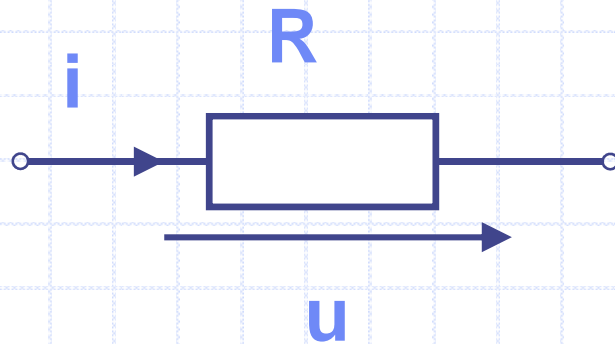
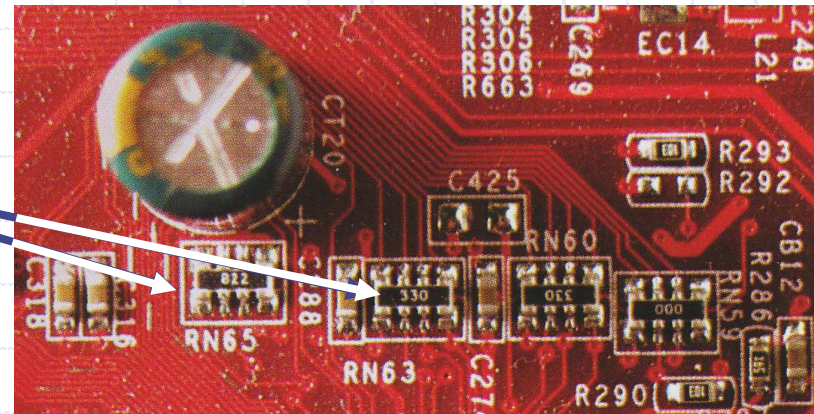
$$R_{ab} = \rho \frac{l_{ab}}{S}$$

ρ - удельное сопротивление материала проводника, Ом·мм²/м

Приемники

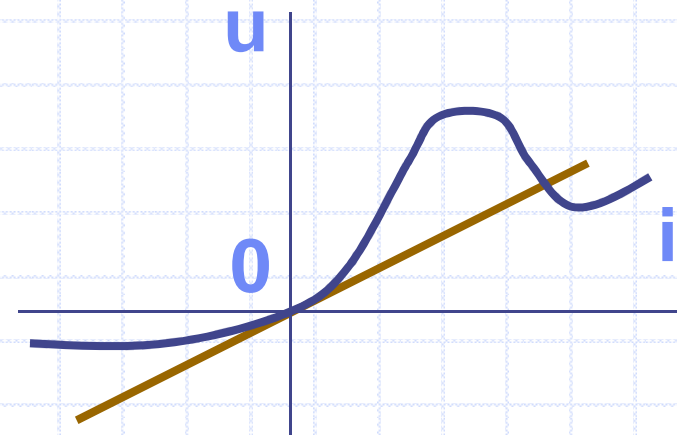
- ◆ **Резисторы** – преобразующие энергию электрического тока в тепловую (**электронагревательные элементы**);
- ◆ **Конденсаторы** – накапливающие энергию электрического тока в виде энергии электрического поля;
- ◆ **Индуктивные катушки** – накапливающие энергию электрического тока в виде энергии магнитного поля;
- ◆ **Электрические двигатели** – преобразующие энергию электрического тока в механическую энергию и накапливающие энергию магнитного поля;
- ◆ Другие приемники, осуществляющие сложные преобразования энергии.

Резисторы



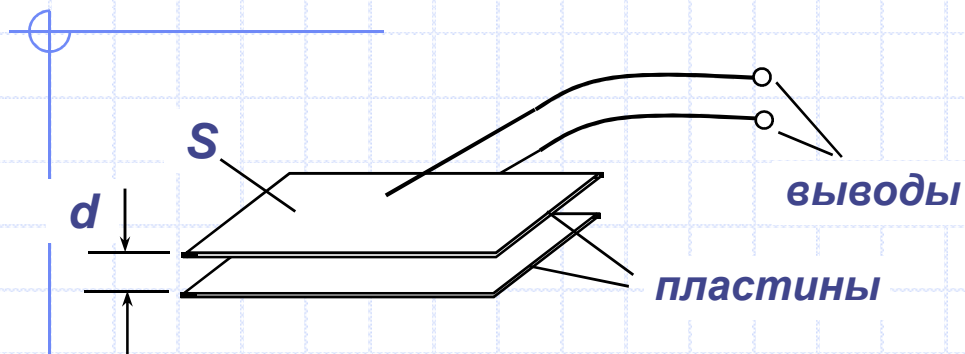
$$i(t) = \frac{1}{R} u(t) = G \cdot u(t) \quad (9)$$

$$G = \frac{1}{R} = \text{const} \quad (10)$$

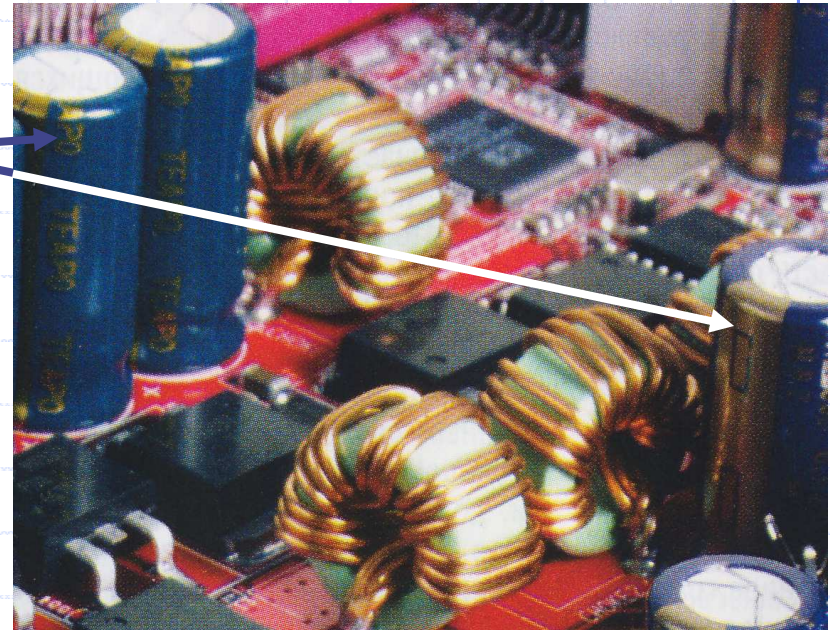


$$i_R(t) = f[u_R(t)]$$

Конденсаторы



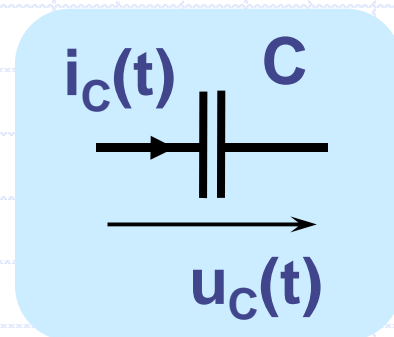
Плоский конденсатор



$$C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{d}$$

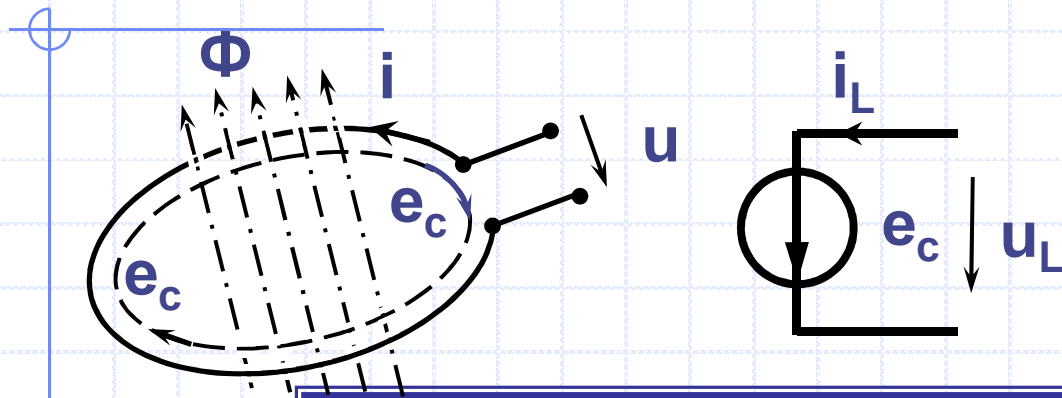
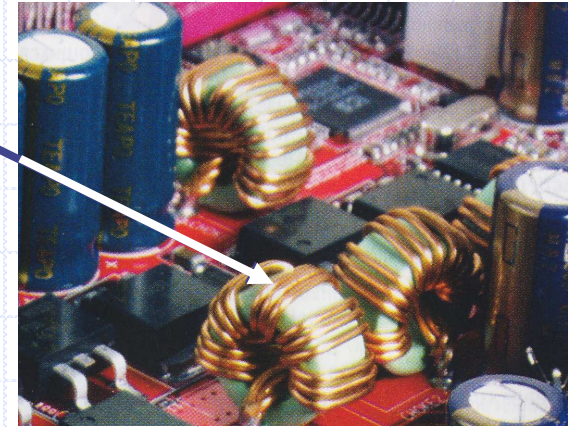
$$q(t) = C \cdot u(t)$$

$$i_c(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$



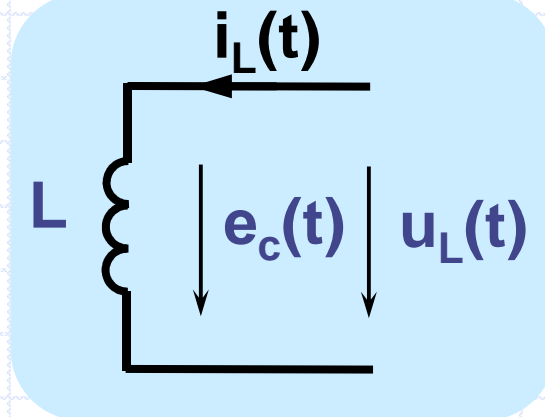
$$i_c(t) = C \frac{du_c(t)}{dt} \quad (11)$$

Индуктивные катушки



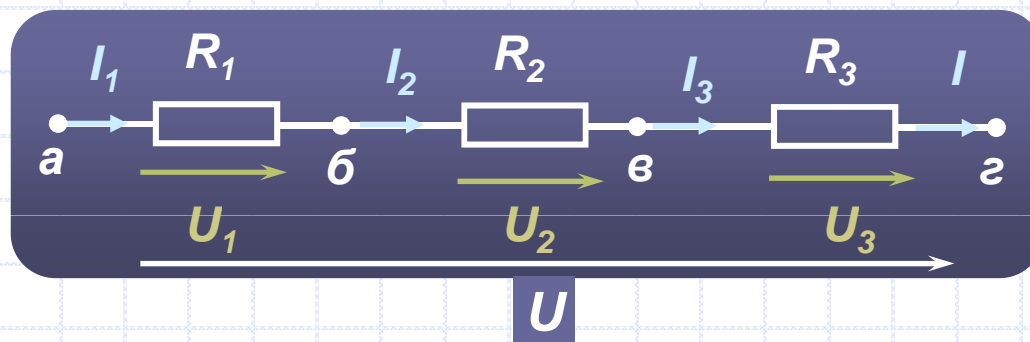
$$u_L(t) = \frac{d\Psi}{dt} = n \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di_L(t)}{dt} = -e_c(t)$$

(12)



Способы соединения элементов

Последовательное соединение

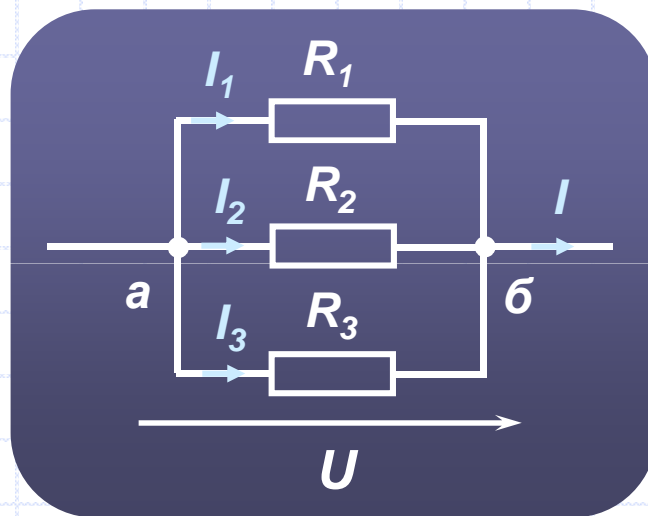


$$I_1 = I_2 = I_3 = I \quad (13)$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\begin{aligned} U &= \varphi_a - \varphi_z = (\varphi_b + U_1) - \varphi_z = (\varphi_b + U_2) + U_1 - \varphi_z = \\ &= (\varphi_z + U_3) + U_1 + U_2 - \varphi_z = U_1 + U_2 + U_3 \end{aligned}$$

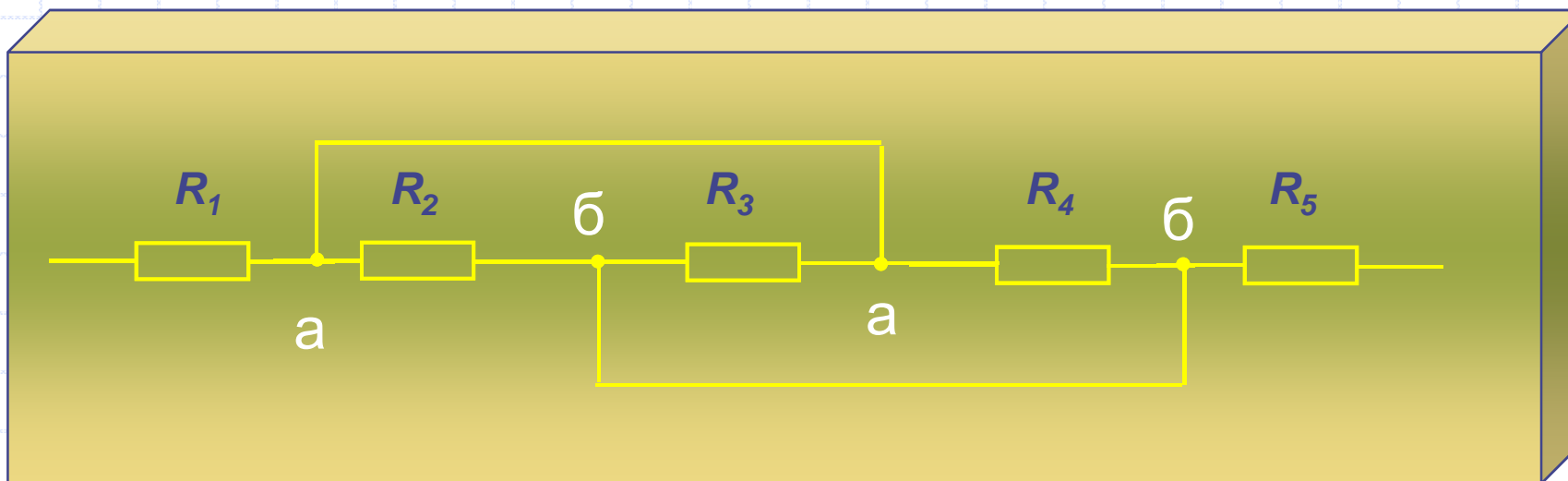
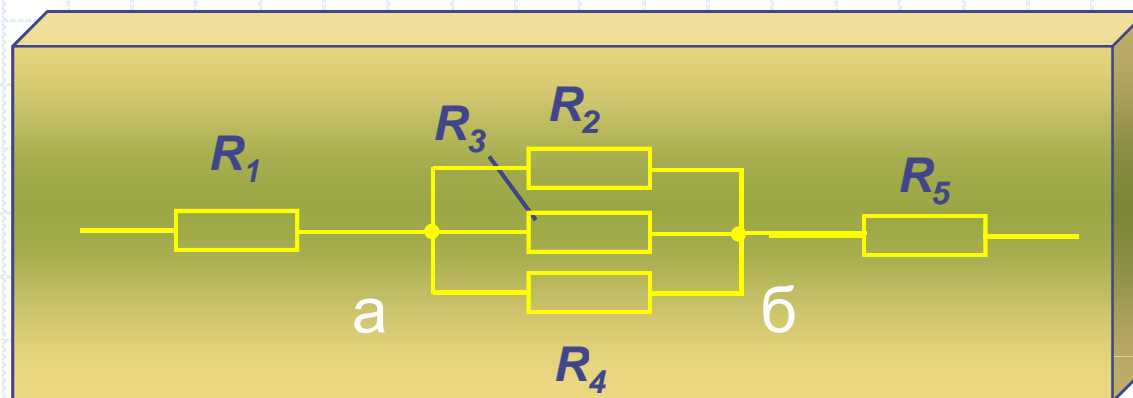
Параллельное соединение



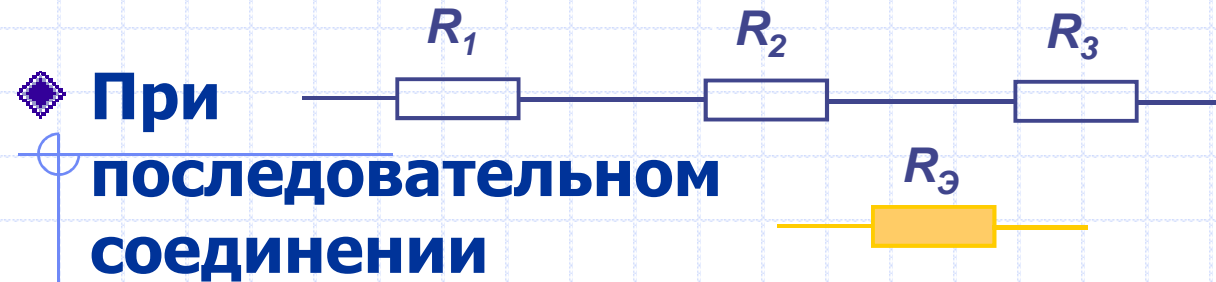
$$U = U_1 = U_2 = U_3 \quad (14)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Смешанное соединение элементов



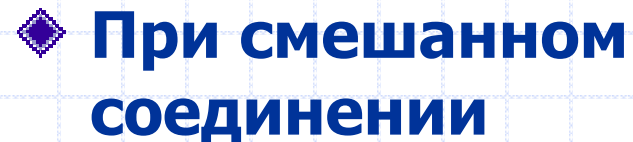
Простейшие преобразования



$$R_3 = R_1 + R_2 + R_3$$



$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

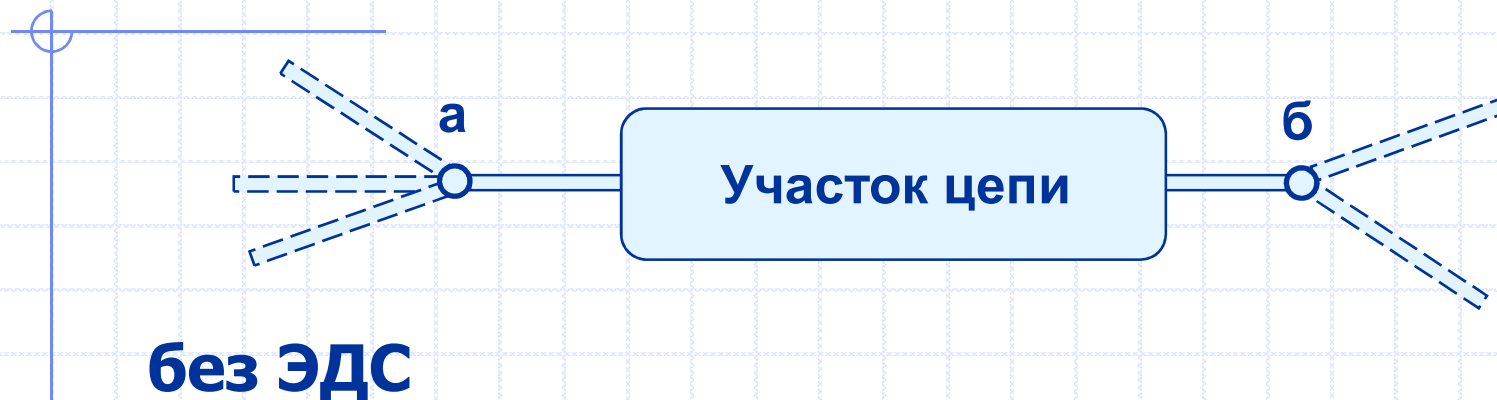


$$R_3 = R_4 + \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} + R_5$$

1.4 Основные законы эл. цепей

- ✓ **Закон Ома**
- ✓ **Первый закон Кирхгофа**
- ✓ **Второй закон Кирхгофа**
- ✓ **Закон Джоуля-Ленца**
- ✓ **Закон электромагнитной индукции**
- ✓ **Баланс мощностей**

Закон Ома для участка (ветви) цепи



$$I = \frac{U_{аб}}{R_{аб}}$$

(1)

содержащего ЭДС стороннего источника

$$I = \frac{U_{аб} \pm e}{R_{аб}} = \frac{(\varphi_a - \varphi_b) \pm e}{R_{аб}}$$

(2)



Первый закон Кирхгофа

алгебраическая сумма токов сквозь любую замкнутую поверхность равна нулю

или

алгебраическая сумма токов в любом узле цепи равна нулю

$$I_1 \pm I_2 \pm \dots \pm I_n = \sum_{k=1}^n \pm I_k = 0 \quad (3)$$

При этом **знак тока определяется по ориентации к поверхности или к узлу.**

Например, ток, направленный от поверхности наружу или от узла, считается положительным, а ток, направленный внутрь поверхности или к узлу – отрицательным.



Второй закон Кирхгофа

алгебраическая сумма напряжений в замкнутом контуре равна нулю

$$\sum_k \pm U_k = 0 \quad (4)$$

алгебраическая сумма напряжений в замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС источников

$$\sum_k \pm U_k = \sum_m \pm E_m \quad (5)$$

Закон электромагнитной индукции

В замкнутом проводящем контуре при всяком изменении магнитного потока, охватываемого контуром, возникает электрический ток

$$\int_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

$$\mathbf{e} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

В проводнике, находящимся в изменяющемся магнитном поле, возникает электродвижущая сила

Закон Джоуля-Ленца

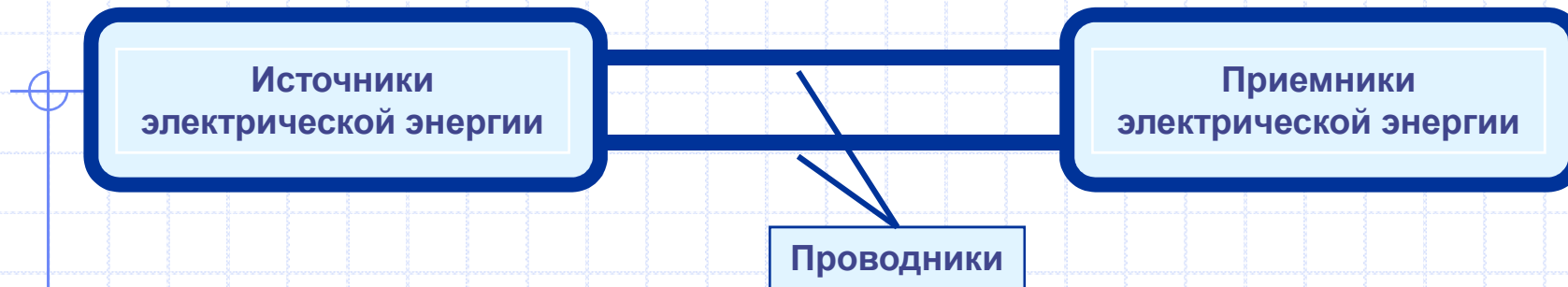
в проводнике скорость преобразования энергии электрического тока в тепловую пропорциональна сопротивлению проводника и квадрату тока

$$p = \frac{dw}{dt} = R \cdot I^2 \quad (6)$$

скорость преобразования энергии называется электрической мощностью



Закон сохранения энергии



Работа, совершаемая в цепи при прохождении токов, равна работе сторонних сил источников

Энергия электрической цепи остается неизменной.

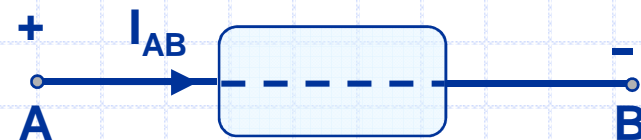
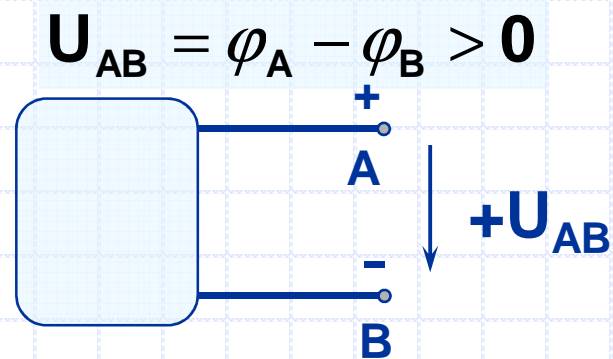
$$w(t) = \text{const}$$

За любой промежуток времени уменьшение энергии всех источников равно увеличению энергии всех проводников и приемников.

$$p_{\text{ист}}(t) + p_{\text{пр}}(t) = 0$$

О направлениях токов и напряжений на участке цепи

- ◆ **положительное** направление напряжения от точки с бóльшим потенциалом к точке с меньшим потенциалом



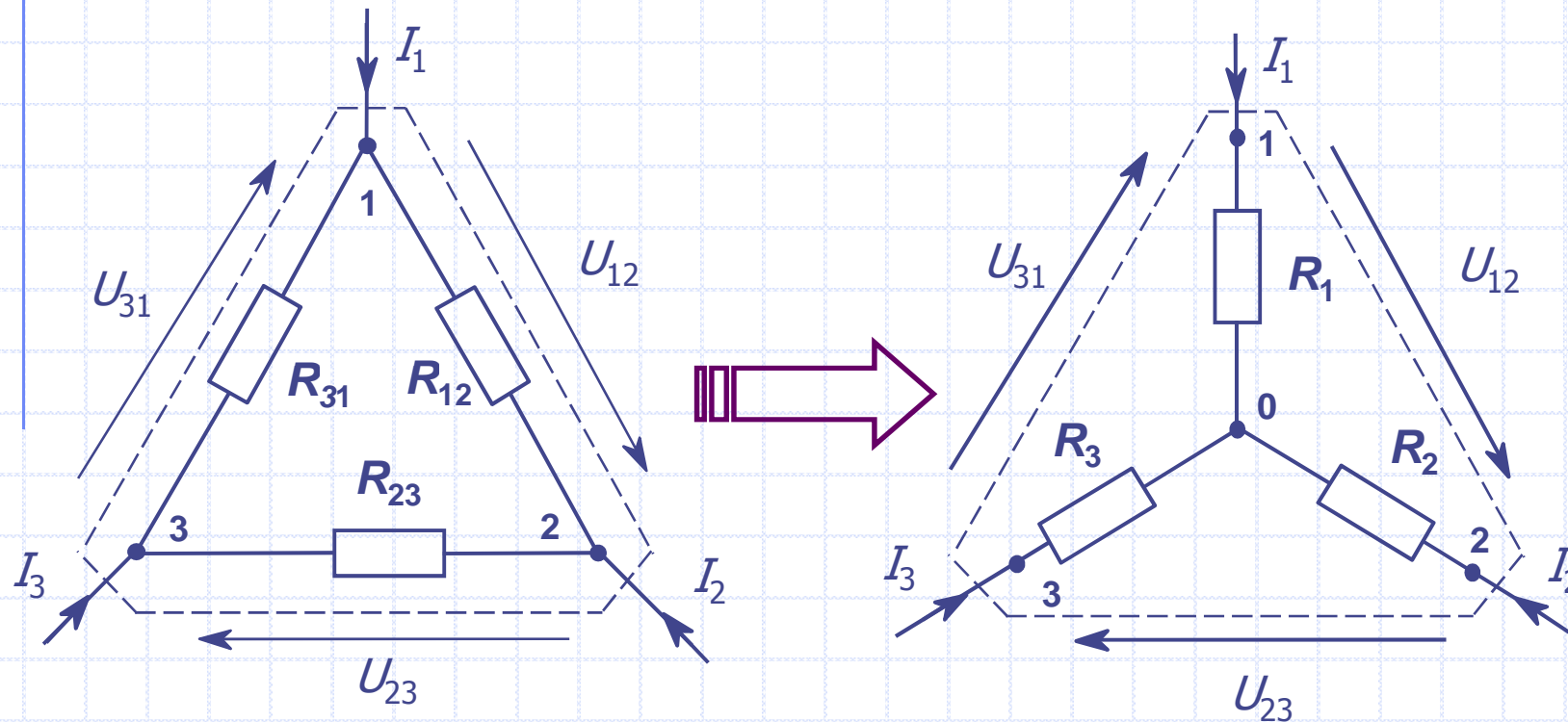
- ◆ **положительное** направление тока это направление движения положительных зарядов, то есть направление от точки с бóльшим потенциалом к точке с меньшим потенциалом

1.5 Методы расчета электрических цепей

- ◆ метод преобразований цепи или метод упрощения схемы цепи (для цепей с одним источником);
- ◆ метод расчета системы уравнений по законам Кирхгофа и Ома (по математической модели цепи);
- ◆ метод наложения (для относительно простых цепей);
- ◆ метод эквивалентного генератора;
- ◆ метод контурных токов;
- ◆ метод узловых напряжений

Мостовое преобразование

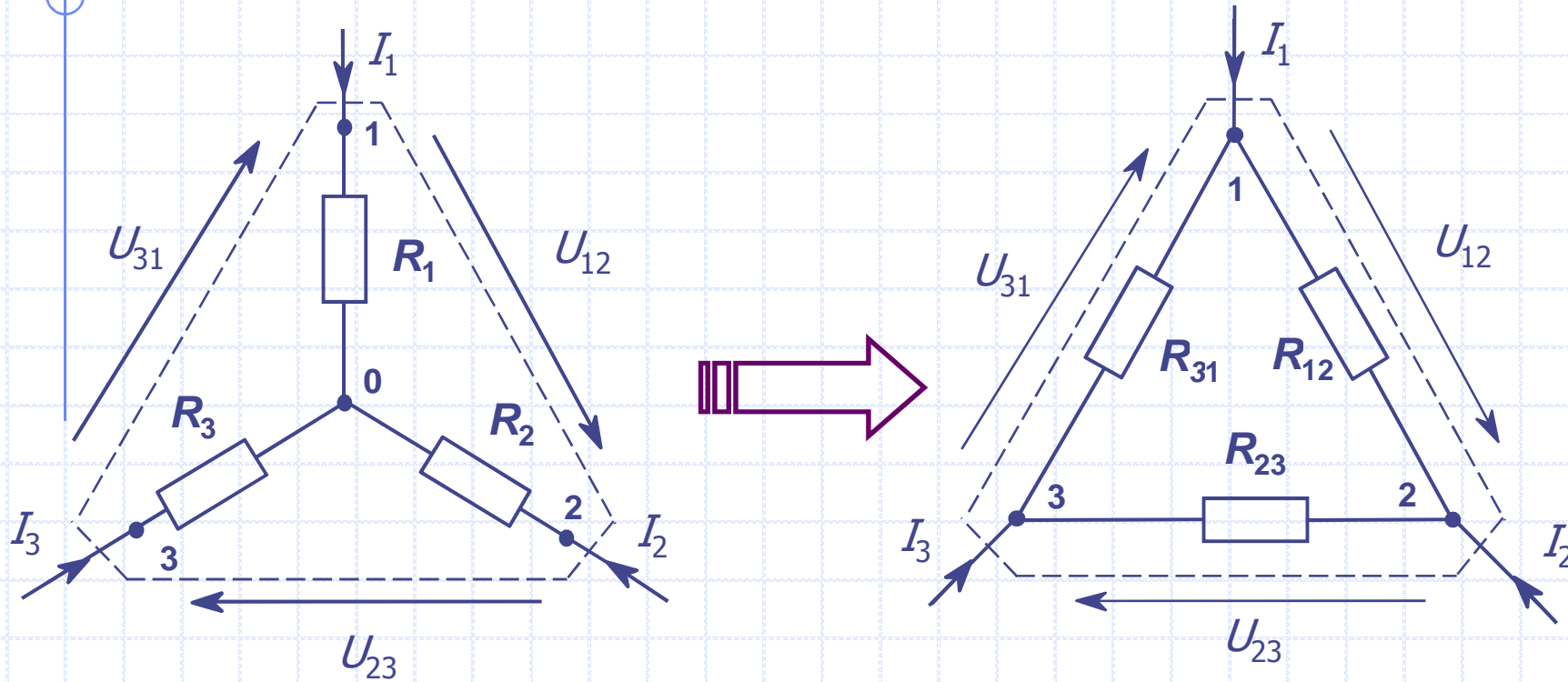
◆ Треугольника в звезду



$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad R_2 = \frac{R_{23} \cdot R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad R_3 = \frac{R_{31} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

Мостовое преобразование

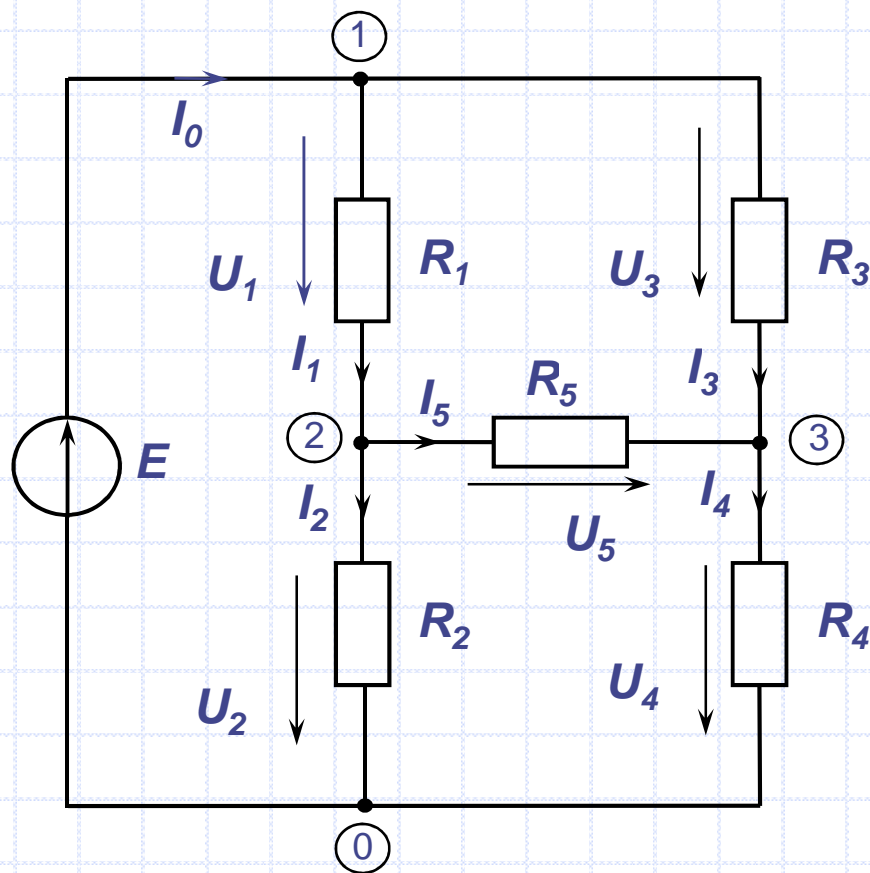
Звезды в треугольник



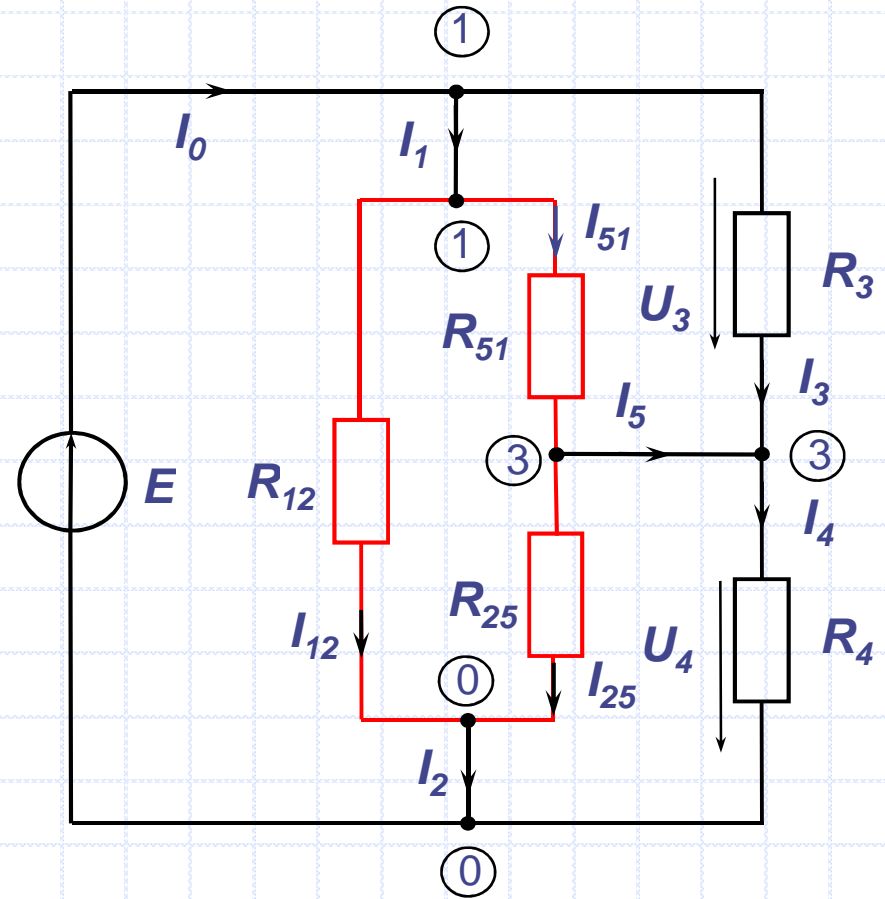
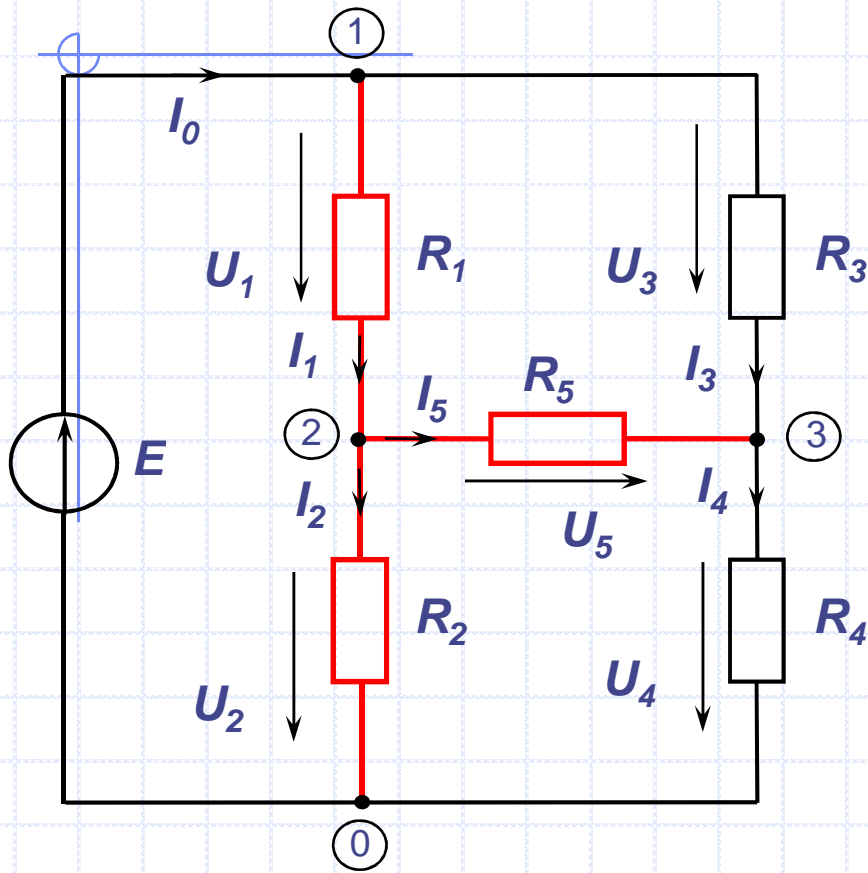
$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3} \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} \quad R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 \cdot R_1}{R_2}$$

Пример расчета методом эквивалентных преобразований

Схема цепи



Преобразование звезды сопротивлений R_1, R_2 и R_5 в треугольник R_{12}, R_{25} и R_{51}

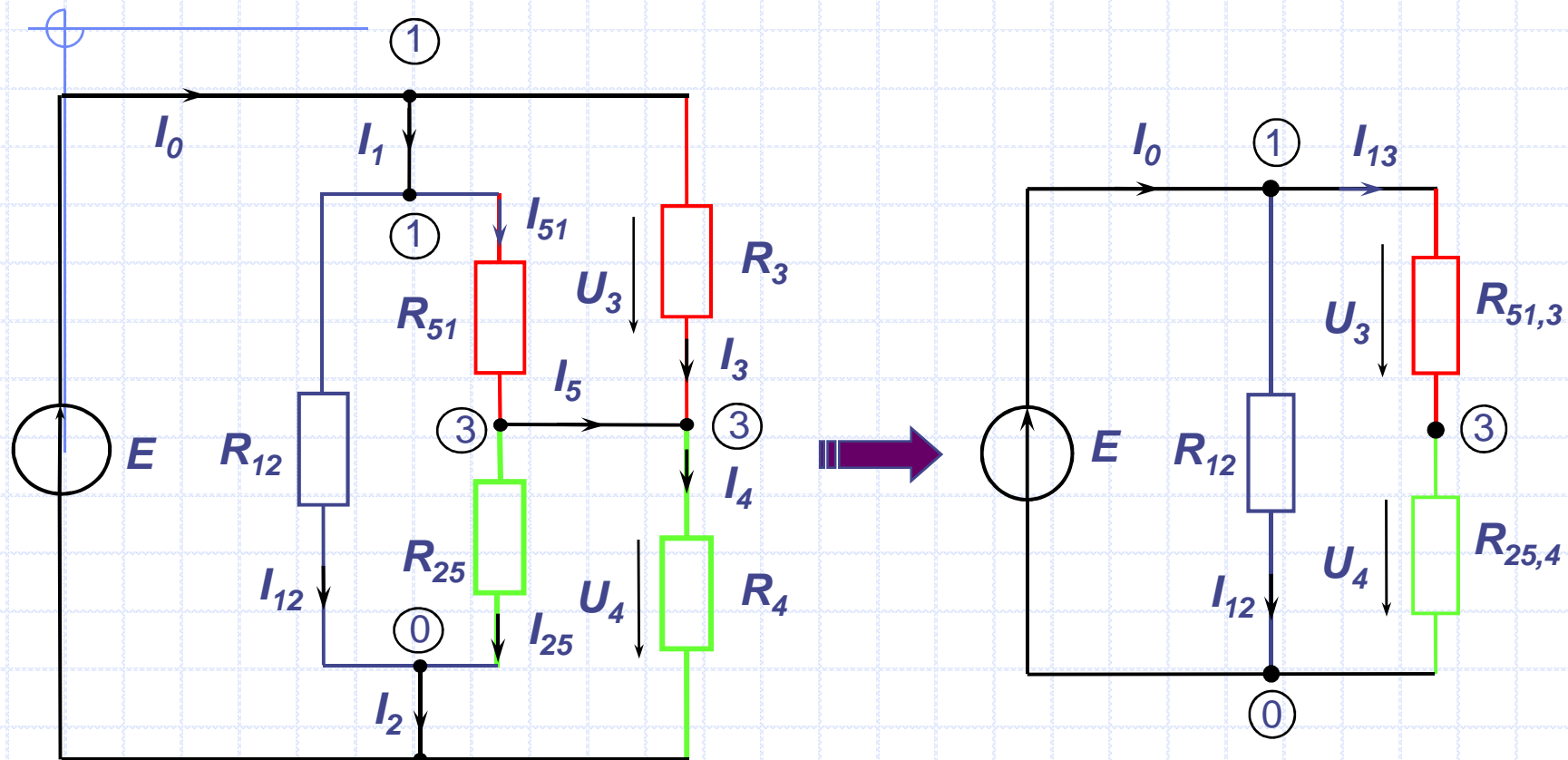


$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_5}$$

$$R_{25} = R_2 + R_5 + \frac{R_2 \cdot R_5}{R_1}$$

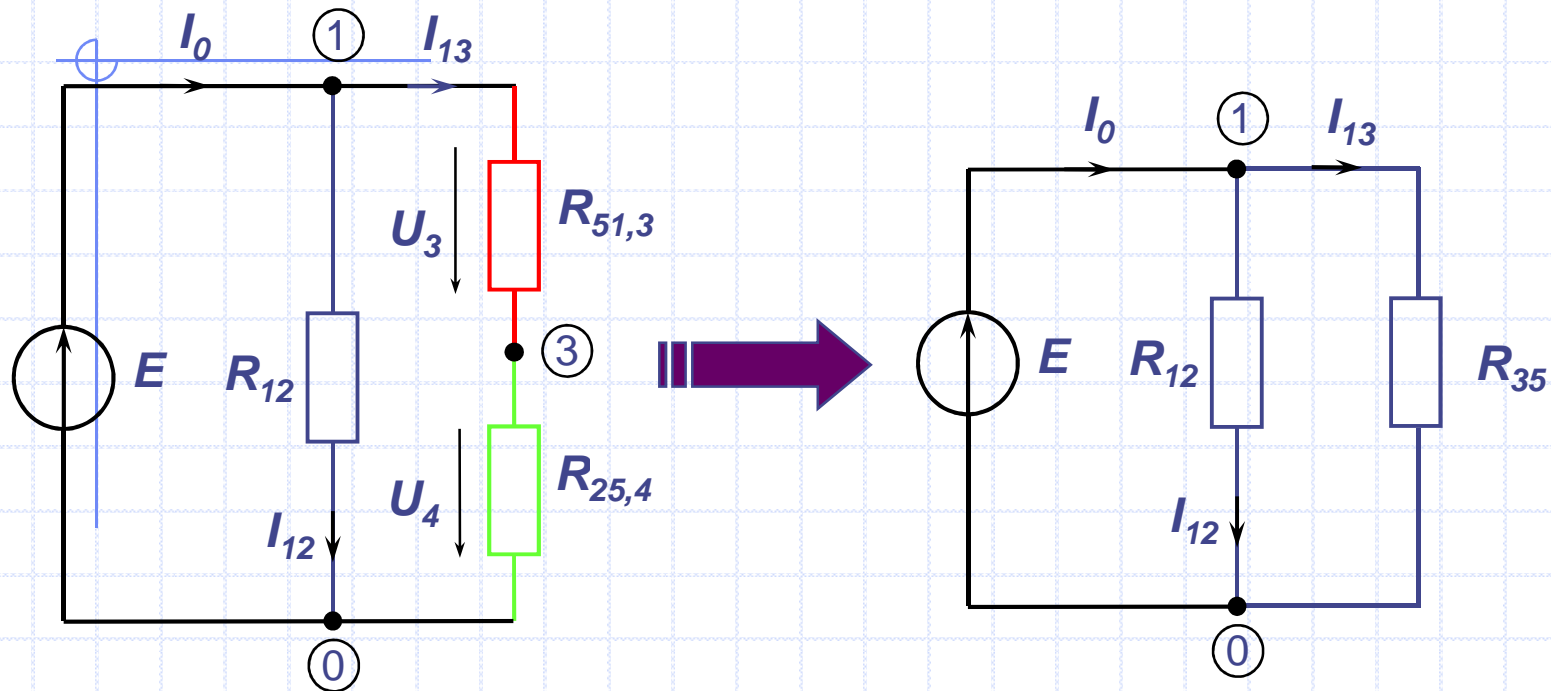
$$R_{51} = R_5 + R_1 + \frac{R_5 \cdot R_1}{R_2}$$

Преобразование параллельного соединения резистивных элементов



$$R_{51,3} = \frac{R_{51} \cdot R_3}{R_{51} + R_3} \quad R_{25,4} = \frac{R_{25} \cdot R_4}{R_{25} + R_4}$$

Преобразование последовательного соединения элементов. Расчет токов и напряжений



$$U_3 = R_{51,3} I_{13}$$

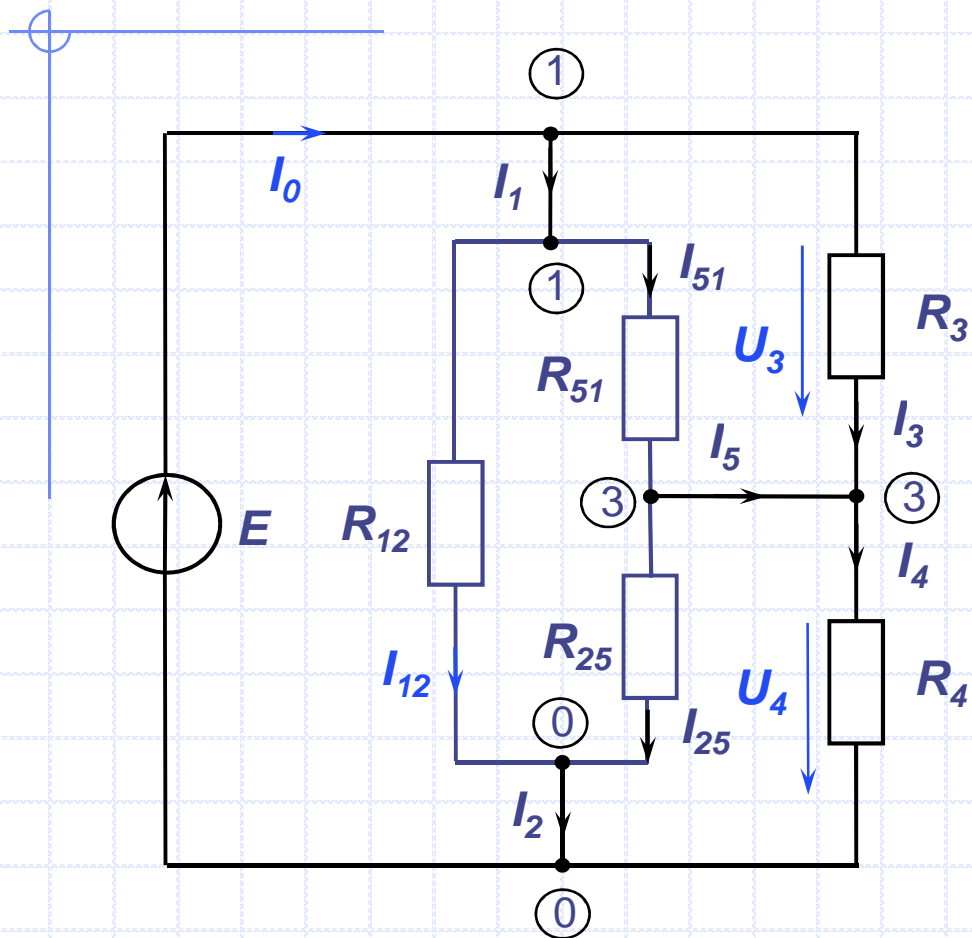
$$U_4 = R_{25,4} I_{13}$$

$$R_{35} = R_{51,3} + R_{25,4}$$

$$I_{12} = \frac{E}{R_{12}} \quad I_{13} = \frac{E}{R_{35}}$$

$$I_0 = I_{12} + I_{13}$$

Расчет токов элементов



$$I_3 = \frac{U_3}{R_3}$$

$$I_{51} = \frac{U_3}{R_{51}}$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4}$$

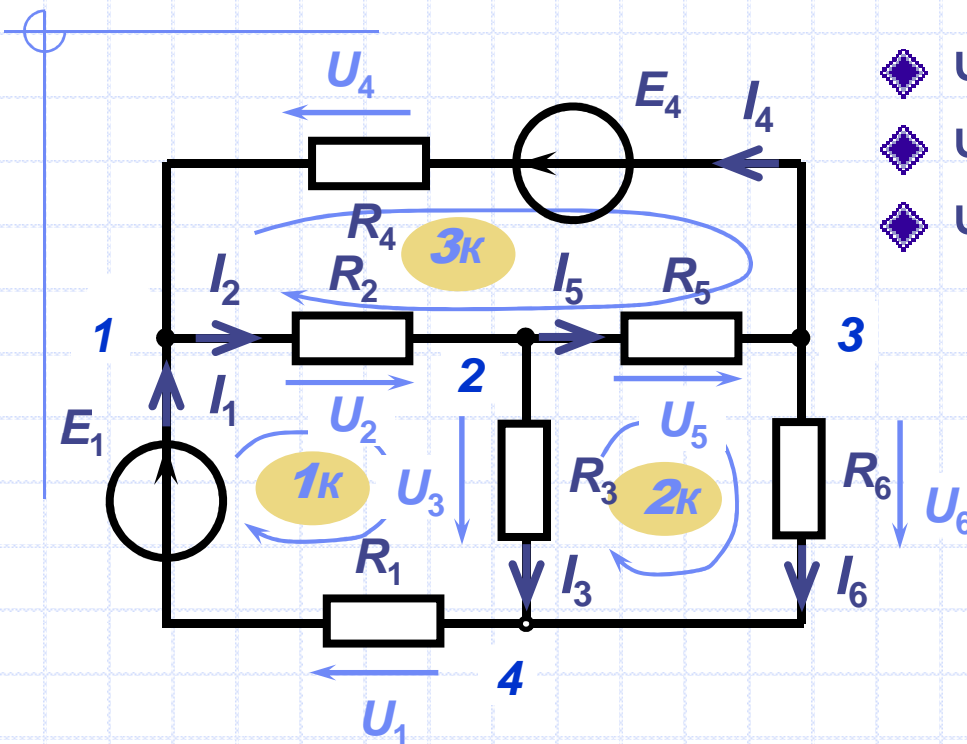
$$I_{25} = \frac{U_4}{R_{25}}$$

$$I_5 = I_4 - I_3$$

$$I_1 = I_{12} + I_{51}$$

$$I_2 = I_{12} + I_{25}$$

Метод расчета цепи с помощью законов Кирхгофа (математической модели)



- ◆ Число ветвей « B »: $B = 6$
- ◆ Число узлов « y »: $y = 4$
- ◆ Число контуров « k »: $k = 3$

$$I_1 - I_2 + I_4 = 0$$

$$I_2 - I_3 - I_5 = 0$$

$$-I_4 + I_5 - I_6 = 0$$

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_1$$

$$-R_3 I_3 + R_5 I_5 + R_6 I_6 = 0$$

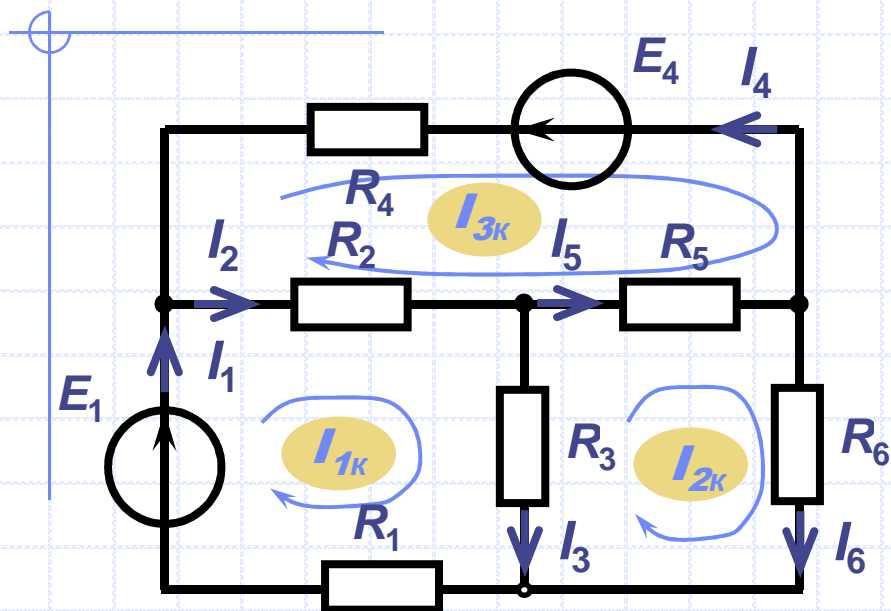
$$-R_2 I_2 - R_4 I_4 - R_5 I_5 = -E_4$$

$$U_{E1} = E_1$$

$$U_{E4} = E_4$$

Система из « B » уравнений ($B = 6$)

Метод контурных токов



$$I_1 = I_{1K}$$

$$I_2 = I_{1K} - I_{3K}$$

$$I_3 = I_{1K} - I_{2K}$$

$$I_4 = -I_{3K}$$

$$I_5 = I_{2K} - I_{3K}$$

$$I_6 = I_{2K}$$

$$\begin{aligned}
 R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_1 &\Rightarrow (R_1 + R_2 + R_3) I_{1K} - R_3 I_{2K} - R_2 I_{3K} = E_1 \\
 -R_3 I_3 + R_5 I_5 + R_6 I_6 = 0 &\Rightarrow -R_3 I_{1K} + (R_3 + R_5 + R_6) I_{2K} - R_5 I_{3K} = 0 \\
 -R_2 I_2 - R_4 I_4 - R_5 I_5 = -E_4 &\Rightarrow -R_2 I_{1K} - R_5 I_{2K} + (R_2 + R_5 + R_4) I_{3K} = -E_4
 \end{aligned}$$

Система из «к» уравнений ($k = 3$)