

Теоретические основы электротехники

1. ч.1 Линейные электрические цепи

1.1 Электрические цепи постоянного тока

1.2 Электрические цепи переменного тока

1.3 Переходные процессы в электрических цепях

2. ч.2 Нелинейные электрические цепи

2.1 Нелинейные электрические цепи постоянного тока

2.2 Нелинейные электрические цепи переменного тока

2.3 Переходные процессы в нелинейных электрических цепях

$$u_1(t) \downarrow \} \{ \downarrow u_2(t)$$

Электрические цепи постоянного тока

$$U_1(t) \downarrow \left. \vphantom{U_1(t)} \right\} \left. \vphantom{U_2(t)} \right\} U_2(t) \downarrow$$

Содержание лекции

1. Введение

1.1 Вольтамперные характеристики источников и приемников энергии.

1.2 Схемы замещения источников и приемников энергии.

1.3 Электрическая цепь. Узлы и ветви электрической цепи.

2. Методы расчета электрических цепей.

2.1 Законы Ома и Кирхгофа.

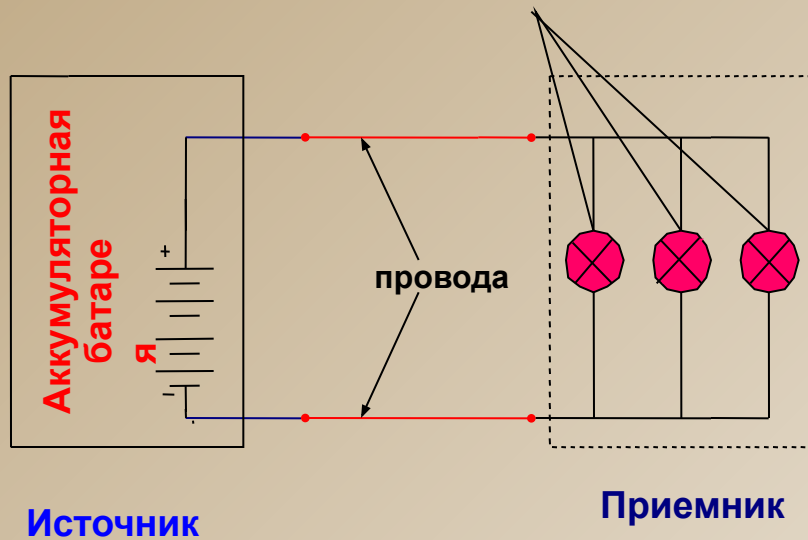
2.2 Применение законов Кирхгофа для расчета электрических цепей.

2.3 Баланс мощности.

$$U_1(t) \quad U_2(t)$$

Простейшая электрическая установка

Электрические лампочки



Электрическая установка состоит из:

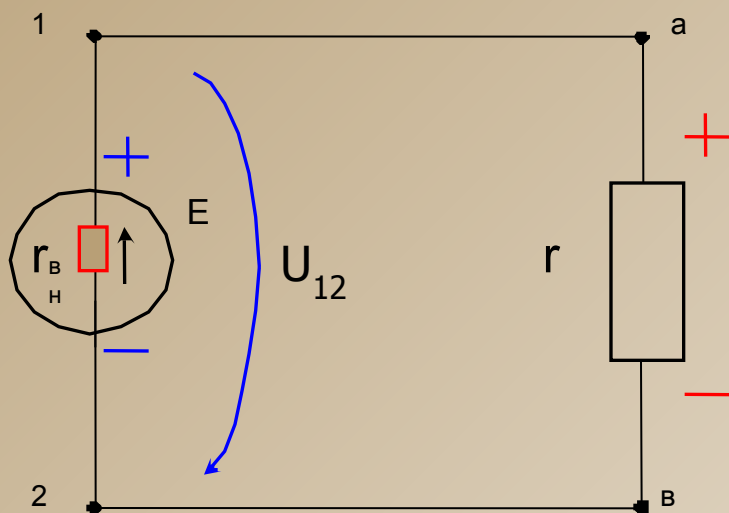
- 1. Источника электрической энергии**
- 2. Соединительных проводов (линии)**
- 3. Приемников электрической энергии**

Совокупность трех элементов – источника, приемника и соединительных проводов представляет собой **электрическую цепь**

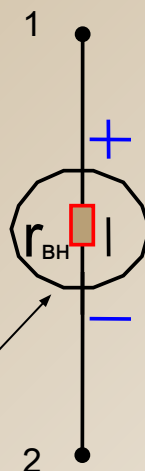
$$U_1(t) \downarrow \quad \left. \begin{array}{l} \downarrow \\ \downarrow \end{array} \right\} U_2(t)$$

Для облегчения изучения процессов в электрической цепи ее заменяют эквивалентной схемой замещения

Схема замещения.



Элементы электрической цепи

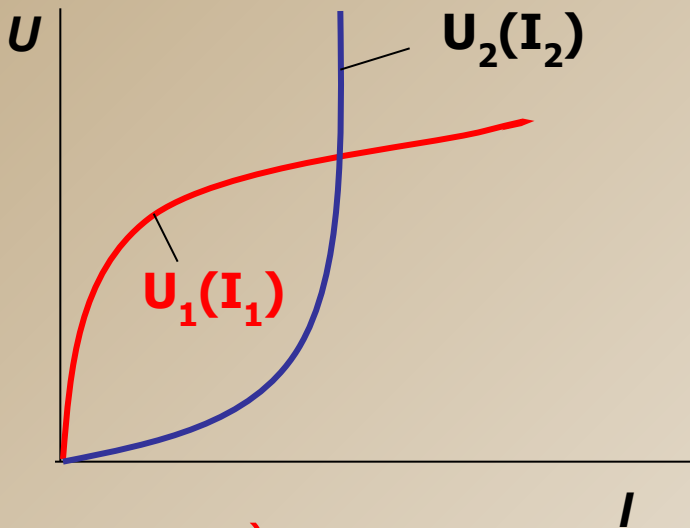
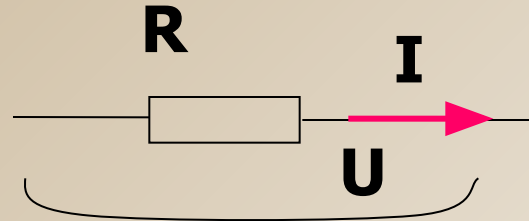
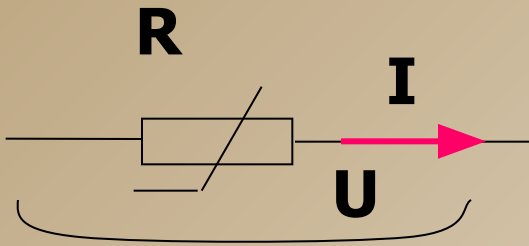


Источник ЭДС

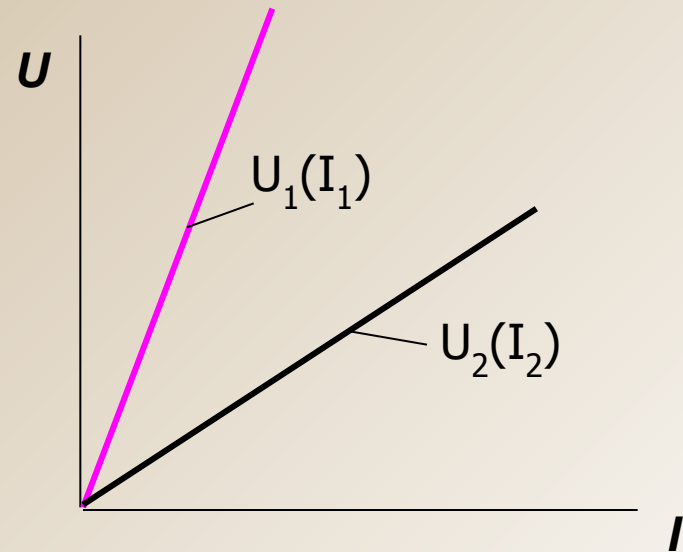


Сопротивление (Нагрузка)

Вольтамперные характеристики (ВАХ) сопротивлений



а)



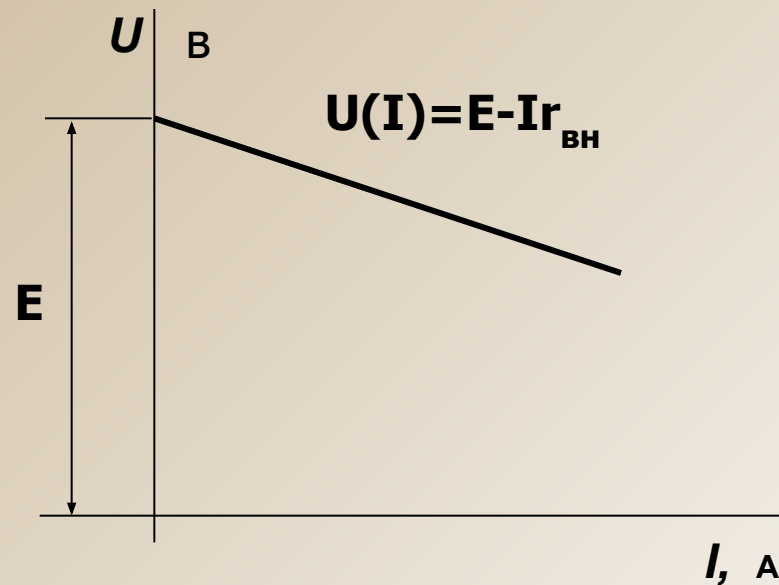
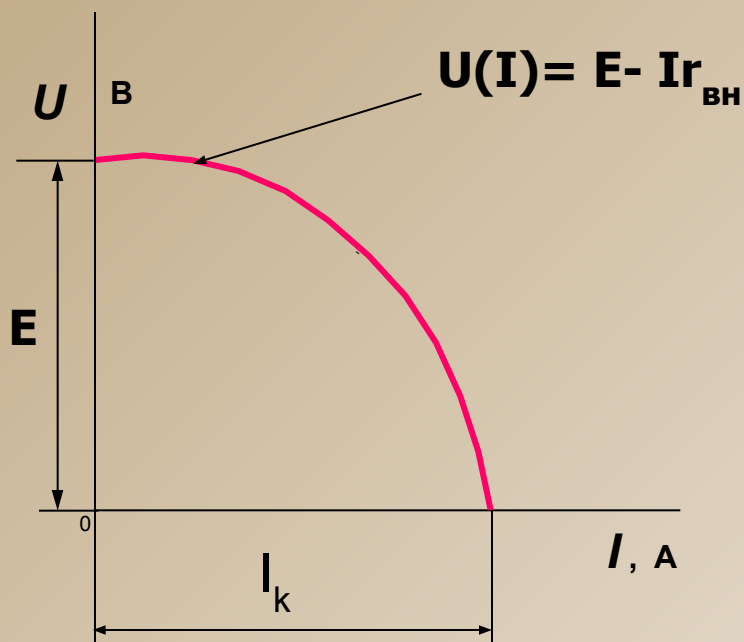
в)

а)-нелинейных сопротивлений

в)-линейных сопротивлений

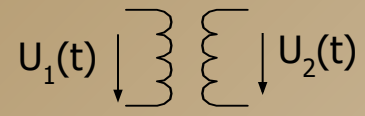


Внешние характеристики источников ЭДС

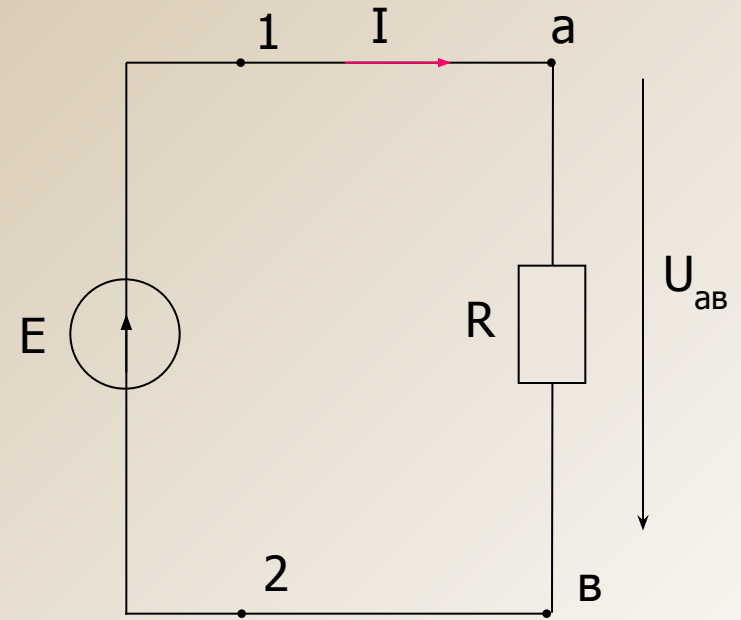
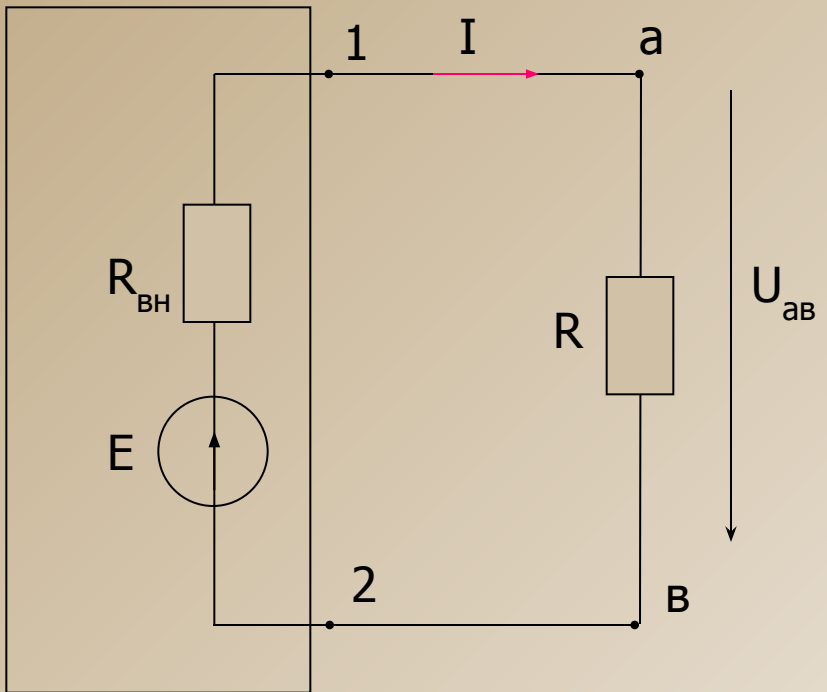


Вах реального источника эдс
(внутреннее сопротивление
нелинейное)

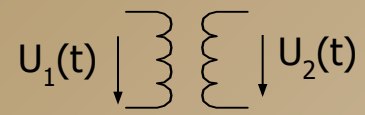
Вах реального источника эдс
(внутреннее сопротивление
линейное)



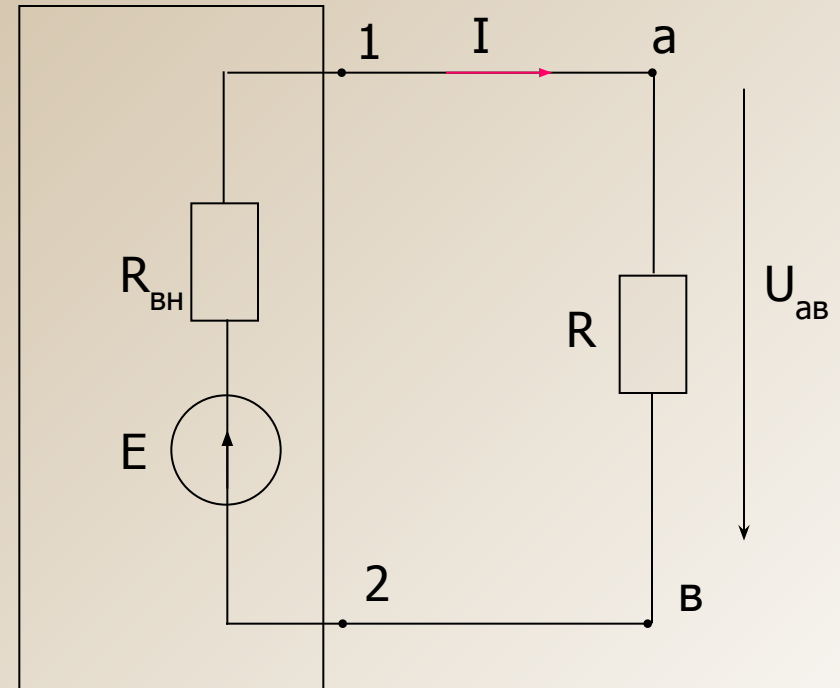
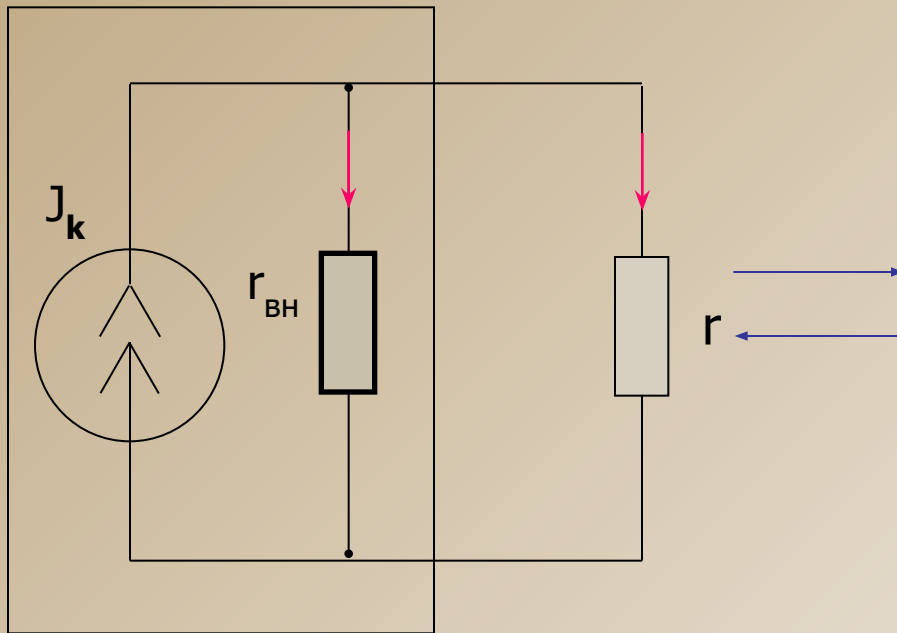
Схемы замещения источников энергии



$R_{вн} \ll R$



Преобразование источника тока в источник ЭДС и обратно



Порядок преобразования источника тока и источника ЭДС

1. Источник тока в источник ЭДС

1. 1 Выбираем любое сопротивление цепи, включенное параллельно источнику тока и считаем его внутренним сопротивлением источника тока.
2. 2 Определяем величину ЭДС $E = J_K R_{вн}$
3. 2 Э.Д.С. и $R_{вн}$ включаем последовательно в цепь вместо преобразованного участка.

2. Источник ЭДС в источник тока

2.1 Отыскиваем сопротивление, включенное последовательно с источником ЭДС, которое считаем его внутренним сопротивлением.

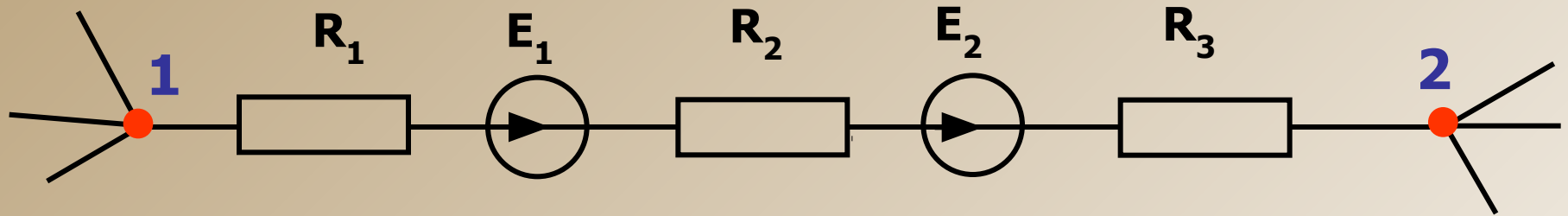
2.2 Определяем величину тока источника тока

$$I_k = \frac{E}{R_{\text{вн}}}$$

2.3 Включаем источник тока и выбранное сопротивление последовательно вместо преобразованного участка. Направление источника тока такое же, как у преобразуемой ЭДС.

$$U_1(t) \quad U_2(t)$$

Узлы и ветви электрической цепи

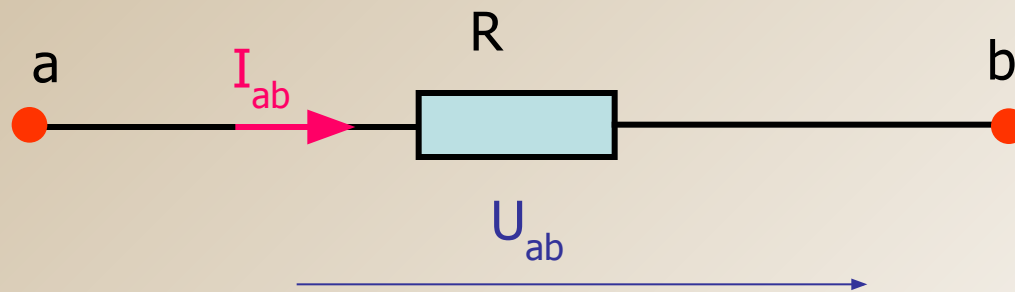
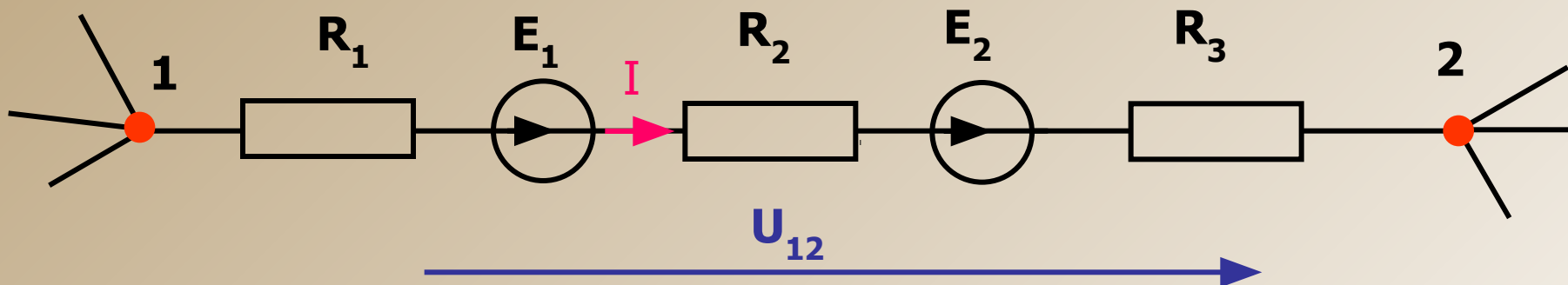


Узел(1,2) - часть электрической цепи ,где соединяется не менее трех ветвей.

Ветвь-участок электрической цепи, размещенный между двумя узлами. Если ветвь содержит источник эдс или тока, то она называется активной, если нет-пассивной.



Условно-положительные направления токов и напряжений





Законы Кирхгофа

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

← Первый закон Кирхгофа

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^m E_k$$

← Второй закон Кирхгофа

Формулировка законов Кирхгофа

1 закон Кирхгофа:

Алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи равна нулю

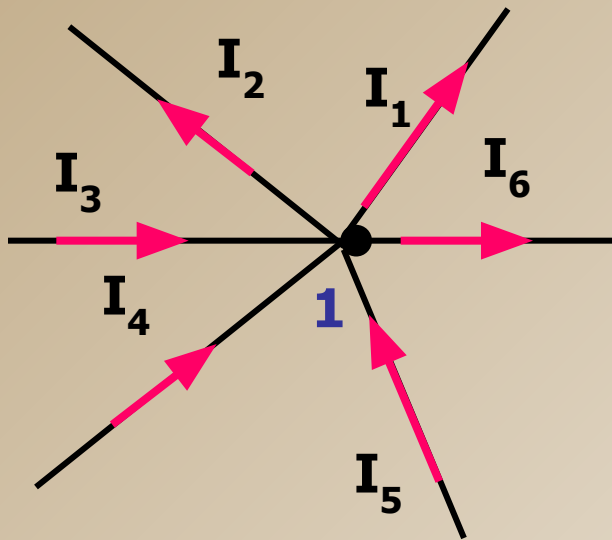
2 закон Кирхгофа:

В любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма напряжений на элементах контура равна алгебраической сумме ЭДС.

$$U_1(t) \downarrow \quad \downarrow U_2(t)$$

Применение законов Кирхгофа

Первый закон Кирхгофа



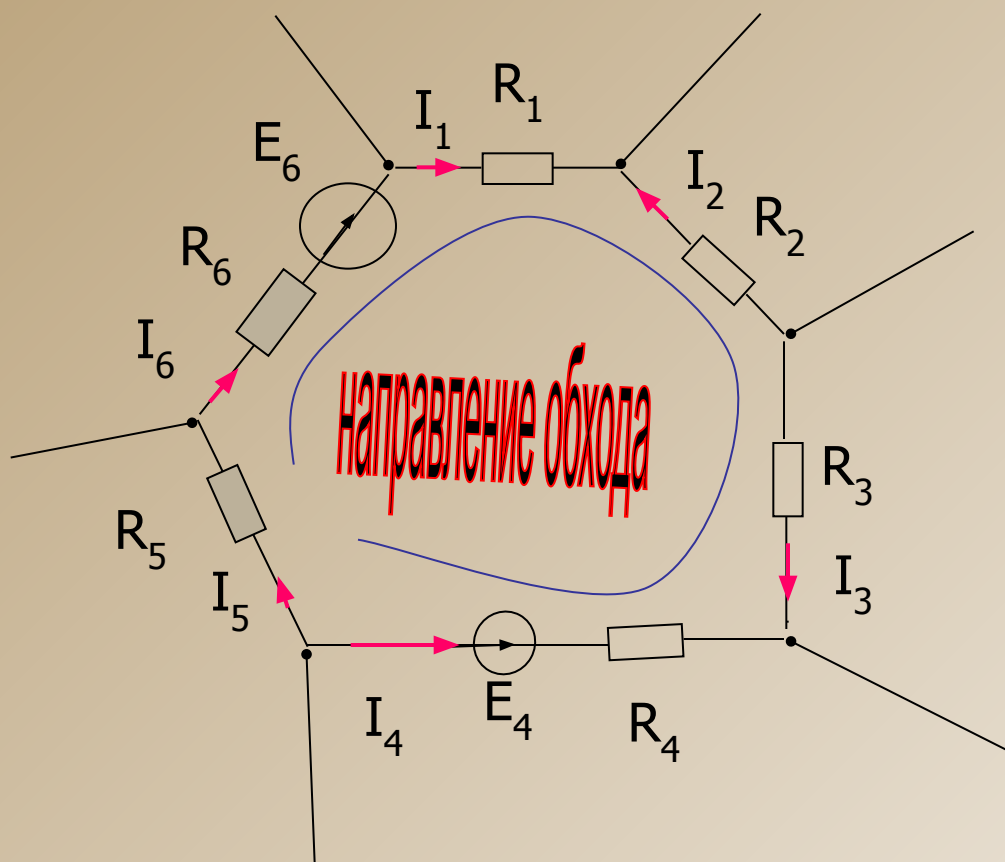
$$-I_1 - I_2 + I_3 + I_4 + I_5 - I_6 = 0$$

*

В уравнении * все токи втекающие в узел имеют знак **ПЛЮС**, а все вытекающие знак **МИНУС**.

$$U_1(t) \downarrow \updownarrow U_2(t)$$

Второй закон Кирхгофа

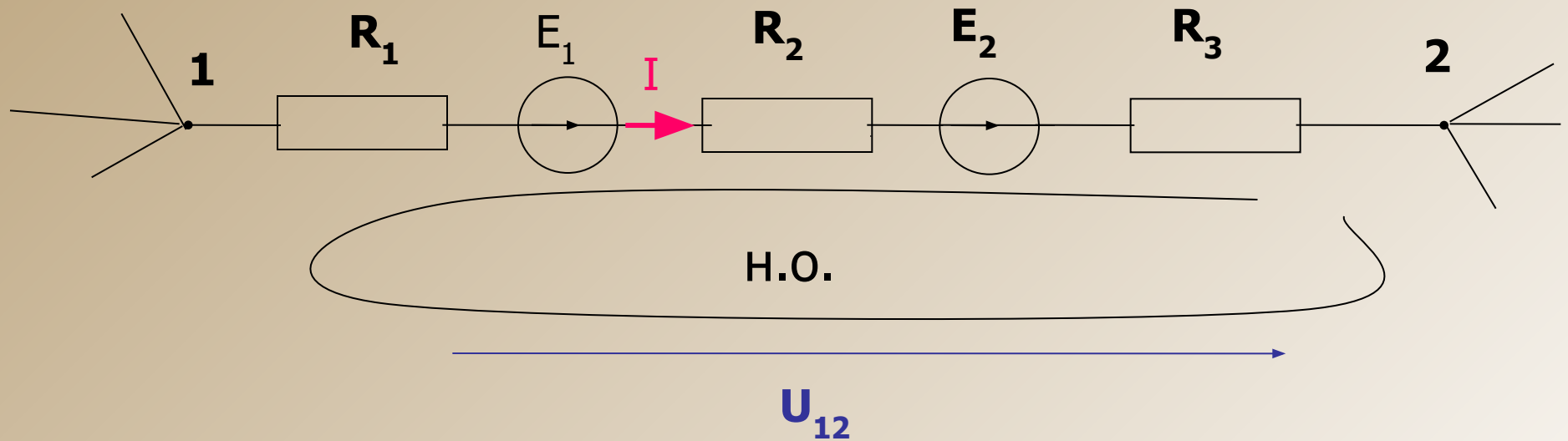


Напряжения, совпадающие с направлением обхода контура, имеют знак **ПЛЮС**, несовпадающие знак **МИНУС**

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 + I_5 R_5 + I_6 R_6 = E_6 - E_4$$

$$u_1(t) \downarrow \uparrow \downarrow \uparrow u_2(t)$$

Закон Ома для участка цепи



$$IR_1 + IR_2 + IR_3 - U_{12} = E_1 + E_2$$

$$I = \frac{U_{12} + E_1 + E_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$U_1(t) \downarrow \} \{ \downarrow U_2(t)$$

Методы расчета электрических цепей

Последовательное соединение



$$IR_1 + IR_2 + IR_3 + IR_4 + IR_5 = E$$

$$I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) = E$$

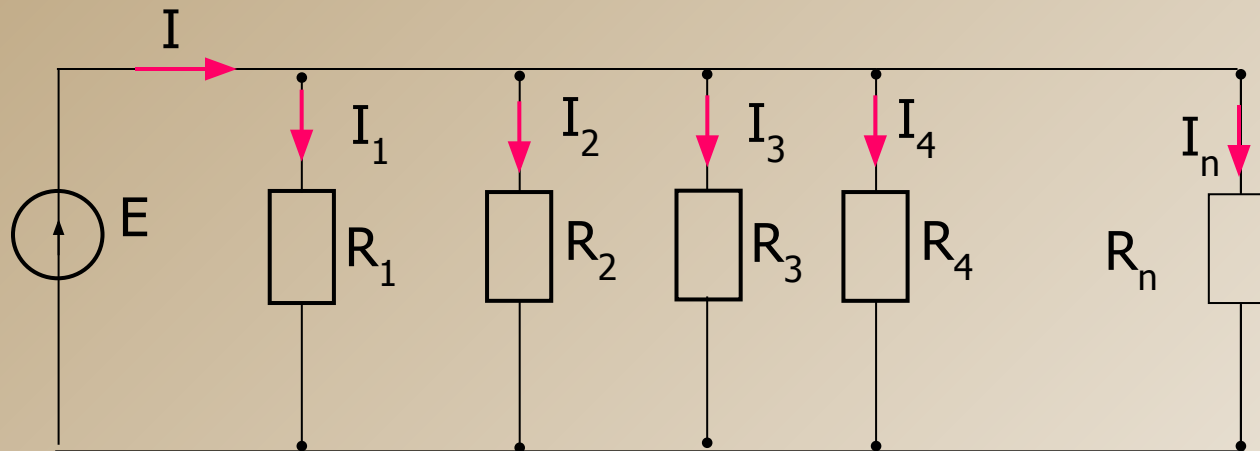
$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = R_{\Sigma}$$

R_{Σ} – входное сопротивление относительно зажимов ЭДС

$$I = \frac{E}{R_{\Sigma}}$$

$$U_1(t) \quad U_2(t)$$

Параллельное соединение



$$I_1 = \frac{E}{R_1}, I_2 = \frac{E}{R_2}, I_3 = \frac{E}{R_3}, \dots, I_n = \frac{E}{R_n};$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$



Формулы для параллельного соединения сопротивлений

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = G$$

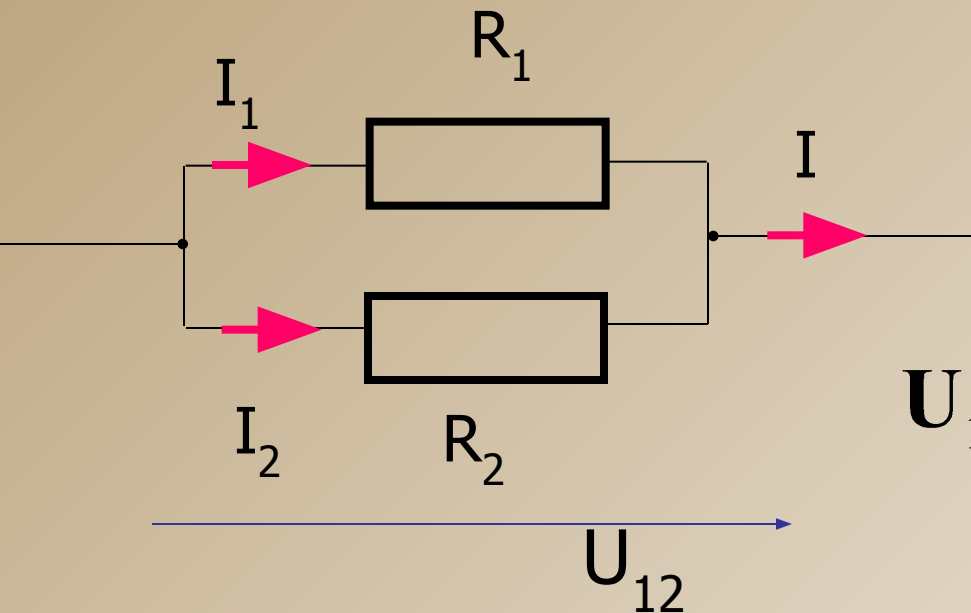
$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = G$$

$$R_{\text{экв}} = \frac{1}{G}$$

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_1(t) \downarrow \quad \downarrow U_2(t)$$

Формулы для расчета токов в параллельных ветвях



Если ток I задан, то

$$U_{12} = IR_{\Sigma} = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = \frac{U_{12}}{R_1} = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{U_{12}}{R_2} = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

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

**Правило расчета
токов в двух ветвях
соединенных
параллельно**

$$U_1(t) \downarrow \left. \vphantom{U_1(t)} \right\} \left. \vphantom{U_1(t)} \right\} U_2(t) \downarrow$$

Непосредственное применение законов Кирхгофа для расчета электрических цепей

1. Выбирают **положительные направления** токов в ветвях цепи
2. Выбирают **(n-1)** узел и записывают для них уравнения по первому закону Кирхгофа.
3. **Произвольно** выбирают **(m-n+1)** количество **взаимно-независимых** контуров и **выбрав направление обхода** контуров, записывают уравнения по второму закону Кирхгофа.
4. Решая полученную систему, находят токи в ветвях.

n-число узлов, m-число ветвей

$$U_1(t) \quad U_2(t)$$

Пример

Для узла а:

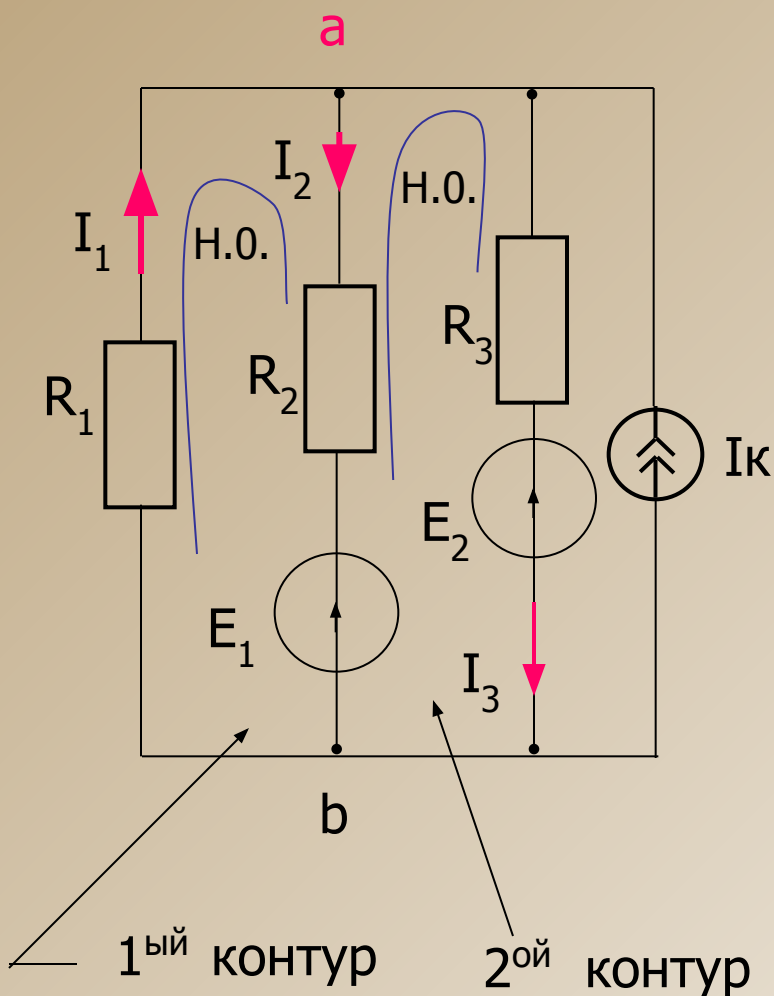
$$I_1 - I_2 - I_3 + I_k = 0$$

Для 1^{го} контура

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = -E_1$$

Для 2^{го} контура

$$-I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_1 - E_2$$



Баланс мощностей

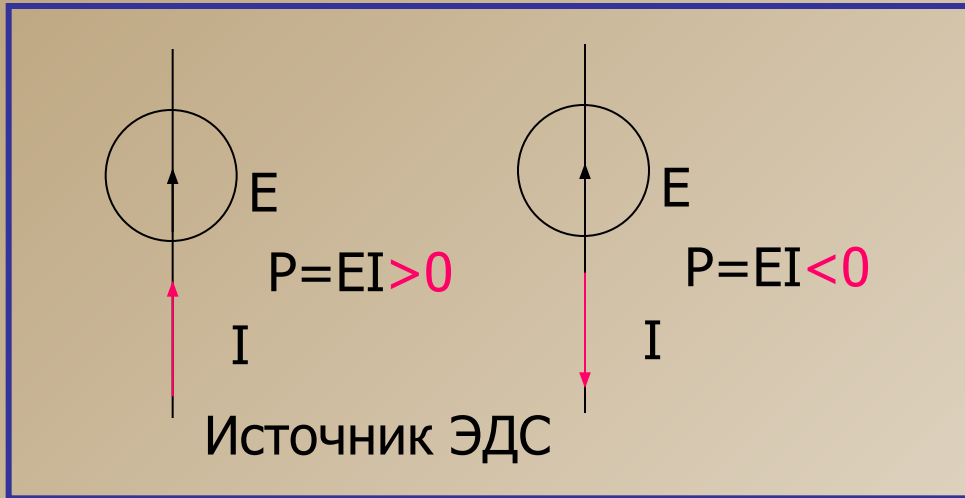
Баланс мощностей – равенство генерируемых и потребляемых в электрической цепи мощностей (закон сохранения энергии в электрической цепи).

$$\sum_{k=1}^n E_k I_k + \sum_{k=1}^n U_k J_k = \sum_{k=1}^m I_k^2 R_k$$

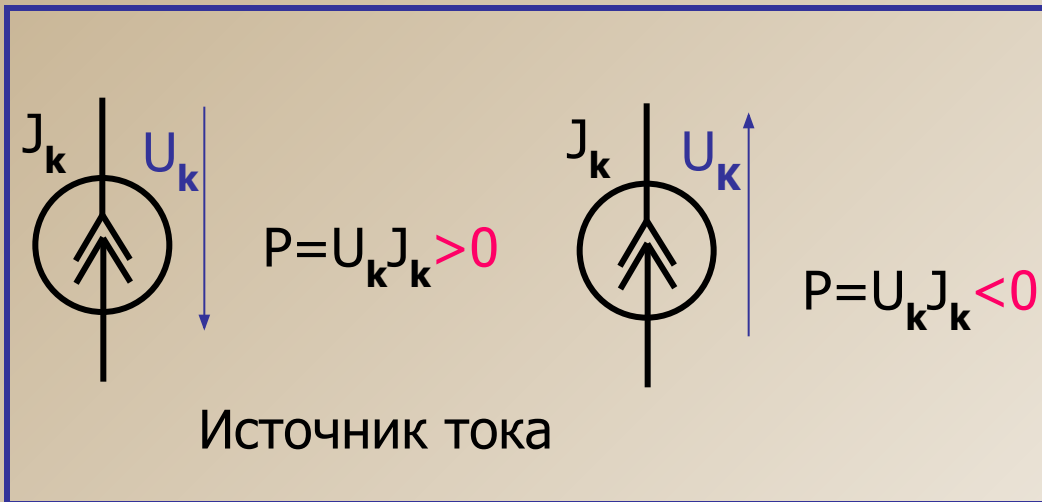
J_k - ток источника тока

U_k - напряжение на источнике тока

Знаки мощностей источников

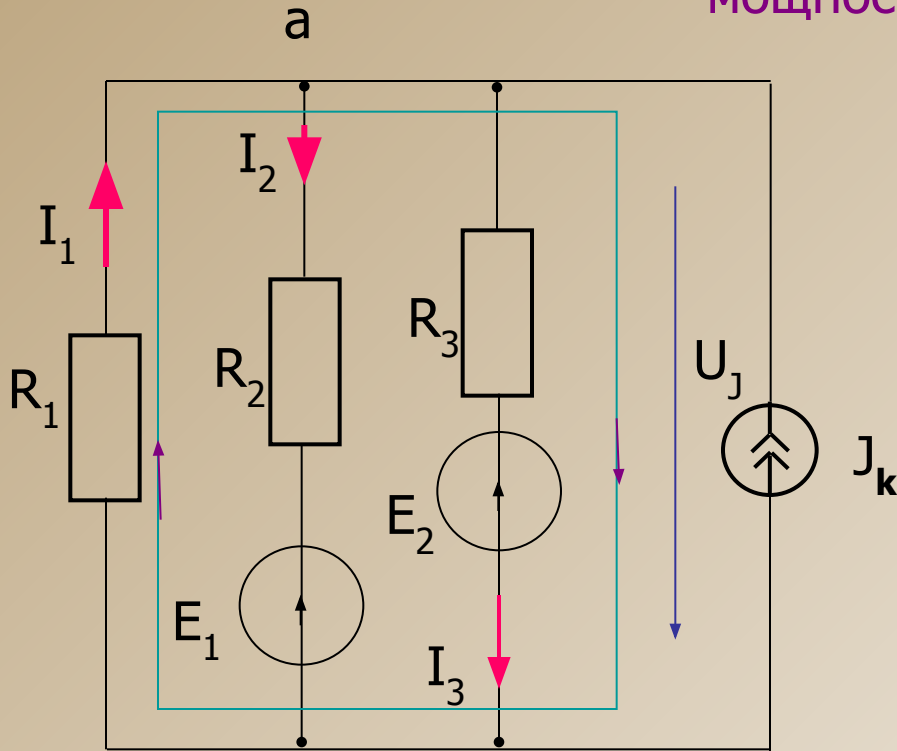


Если мощность источника тока или источника напряжения **положительна**, то он работает как **генератор**, т.е. отдает энергию, если отрицательна, то источник работает как **потребитель**.



Пример

Проверка решения с помощью уравнения баланса мощности



Напряжение на источнике тока

$$U_J + I_1 R_1 = 0; \quad U_J = I_1 R_1$$

Мощность источников питания

$$P_{\text{ген}} = -E_1 I_2 - E_2 I_3 - U_J J_k$$

Потребляемая мощность

$$P_{\text{потр}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3$$

Решение считается точным, если
 $P_{\text{ген}} = P_{\text{потр}}$

На практике решение задачи признается правильным, если

$$\frac{P_{\text{ген}} - P_{\text{потр}}}{P_{\text{ген}}} \bullet 100\% \leq 5\%$$