

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

Петренко Юрий Васильевич  
Лекции по ТОЭ

# 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

# Содержание лекции

Введение

Вольтамперные характеристики источников и приемников энергии.

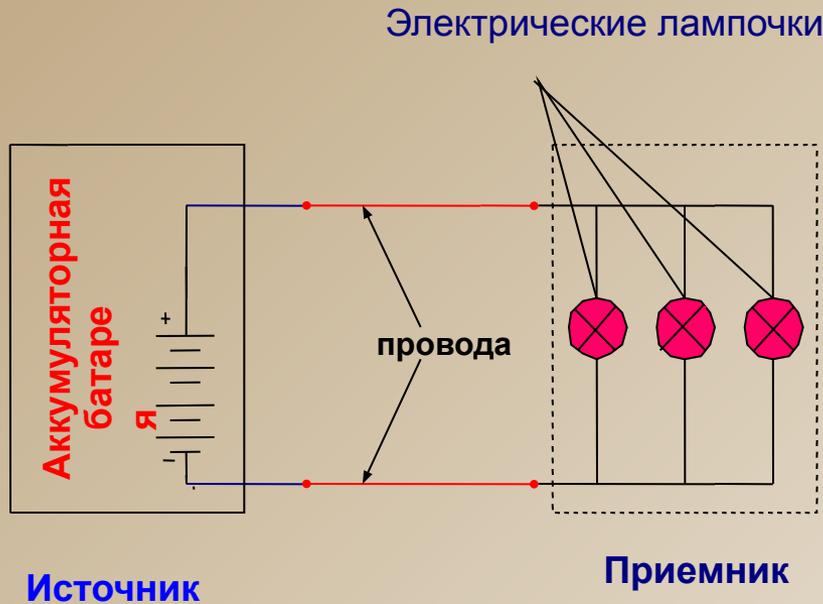
Схемы замещения источников и приемников энергии.

Электрическая цепь. Узлы и ветви электрической цепи.

Законы Ома и Кирхгофа. Применение законов Кирхгофа для расчета электрических цепей.

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

# Простейшая электрическая установка



Электрическая установка состоит из:

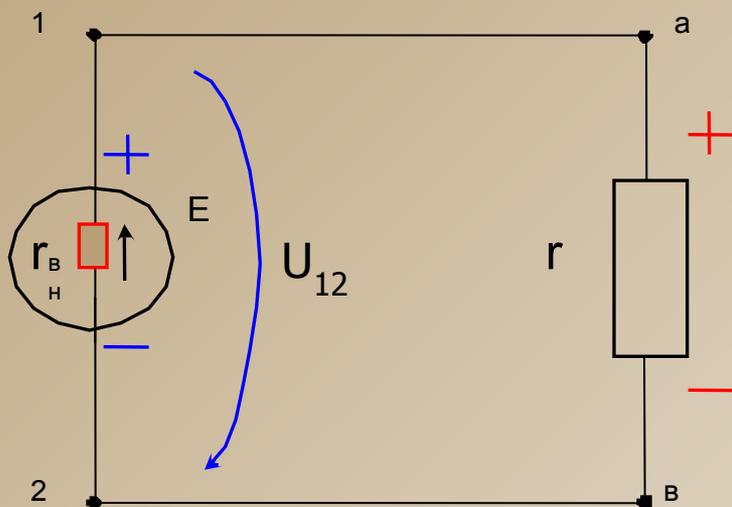
1. Источника электрической энергии
2. Соединительных проводов (линии)
3. Приемников электрической энергии

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

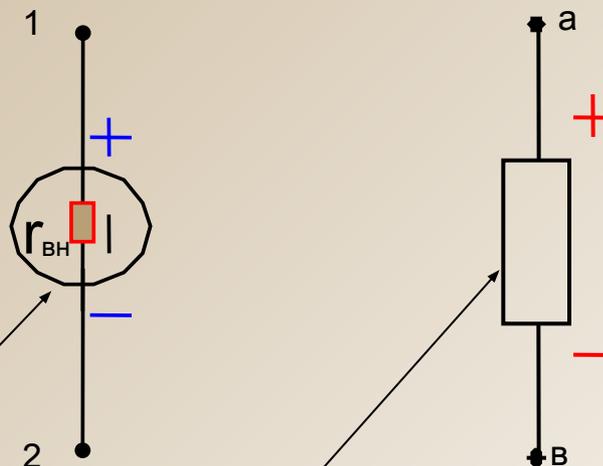
$$U_1(t) \downarrow \quad \left. \begin{array}{l} \downarrow \\ \downarrow \end{array} \right\} U_2(t)$$

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

Схема замещения.



Элементы электрической цепи

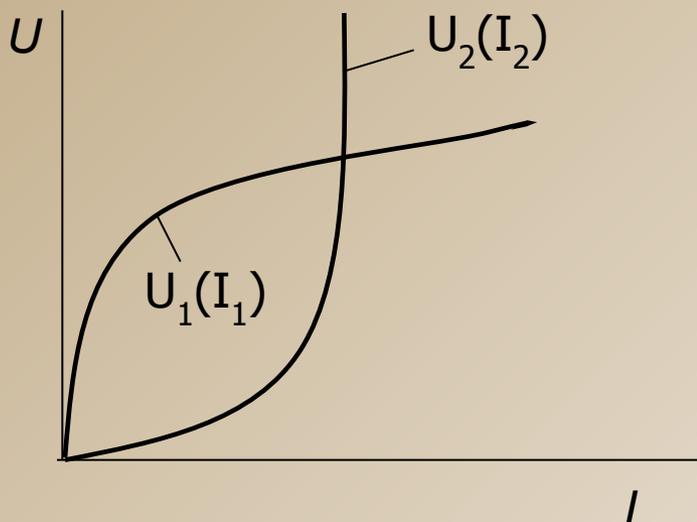
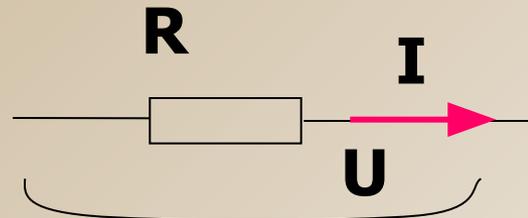
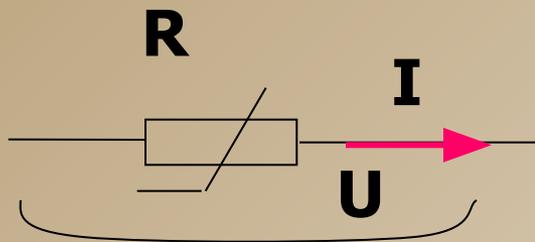


Источник ЭДС

Сопротивление  
(Нагрузка)

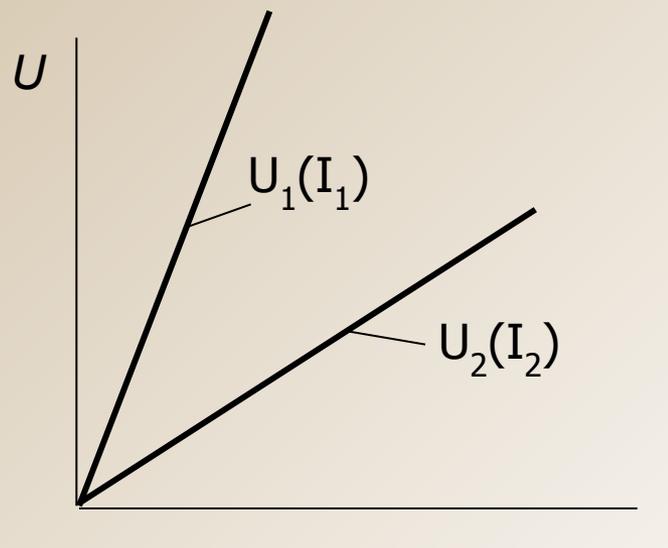
# Вольтамперные характеристики сопротивлений

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



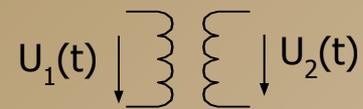
а)

а)-нелинейных сопротивлений

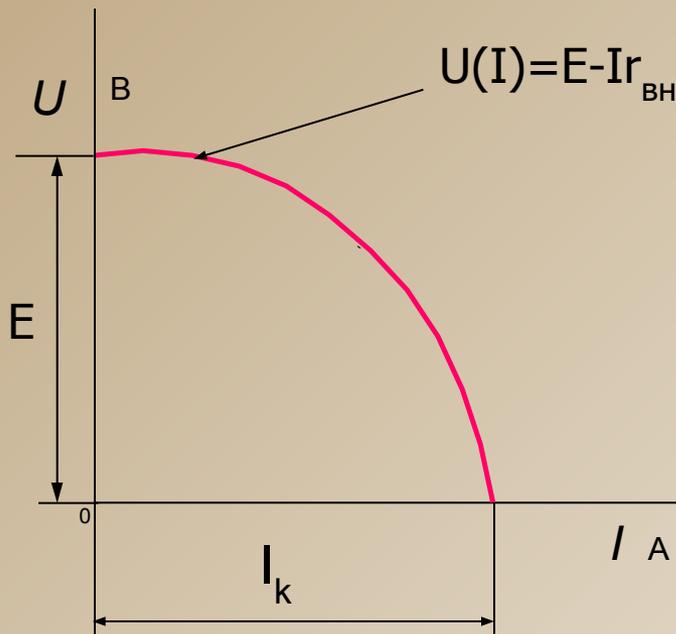


в)

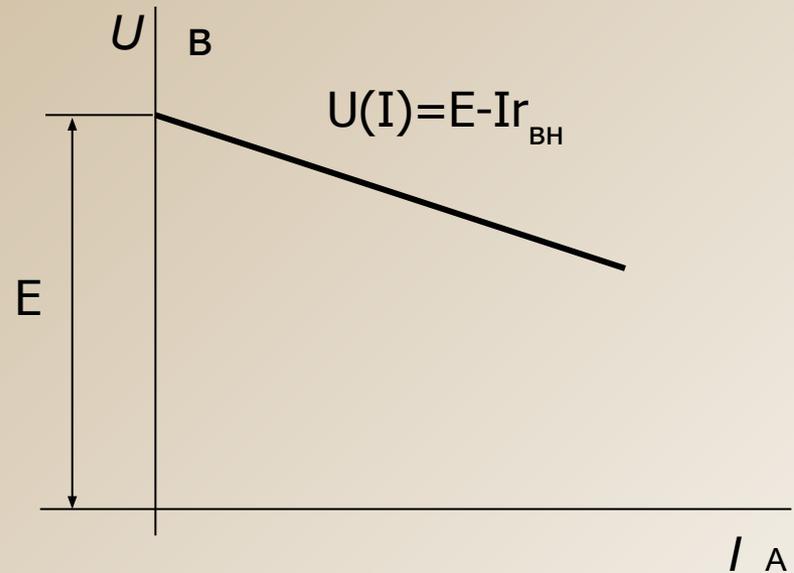
в)-линейных сопротивлений



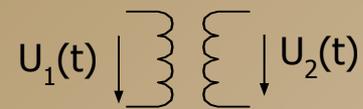
# Внешние характеристики источников ЭДС



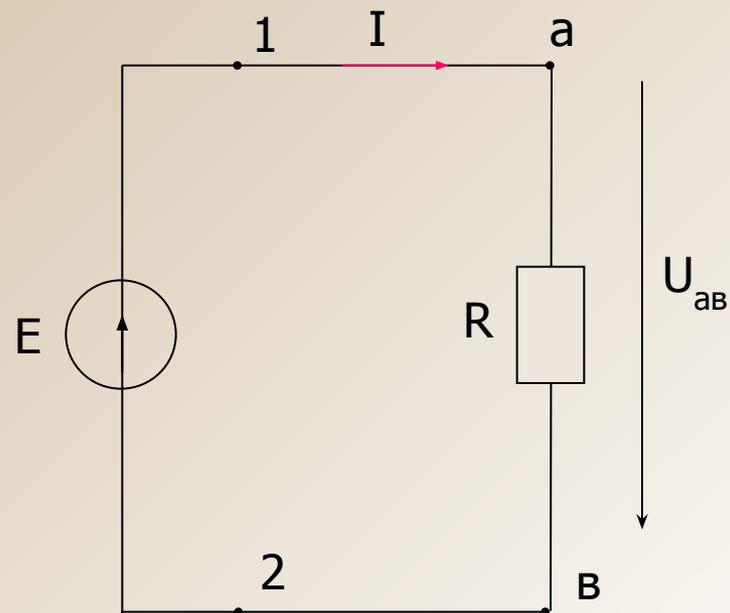
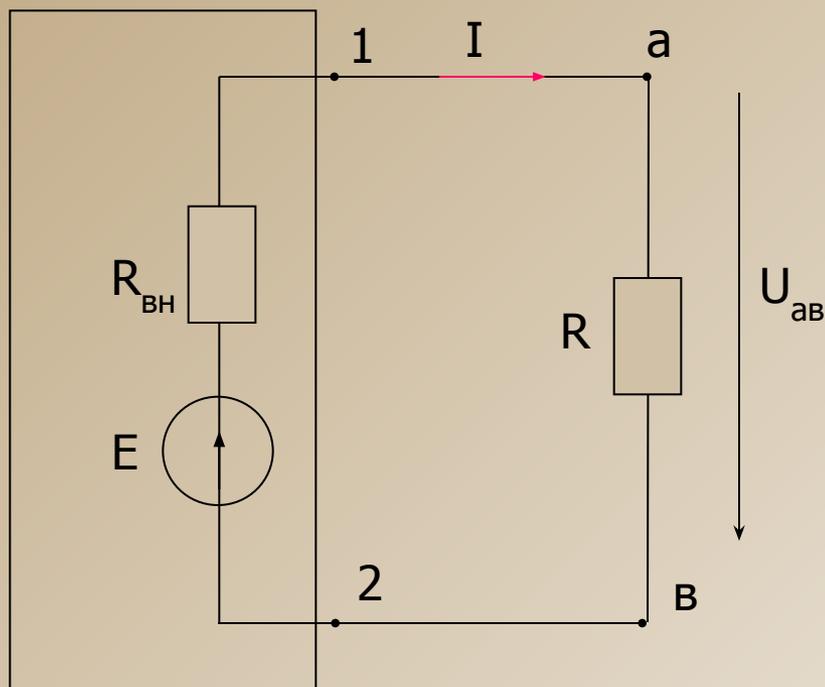
Вах реального источника эдс  
(внутреннее сопротивление  
нелинейное)



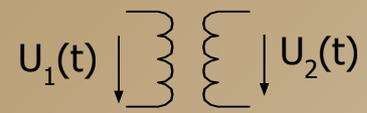
Вах реального источника эдс  
(внутреннее сопротивление  
линейное)



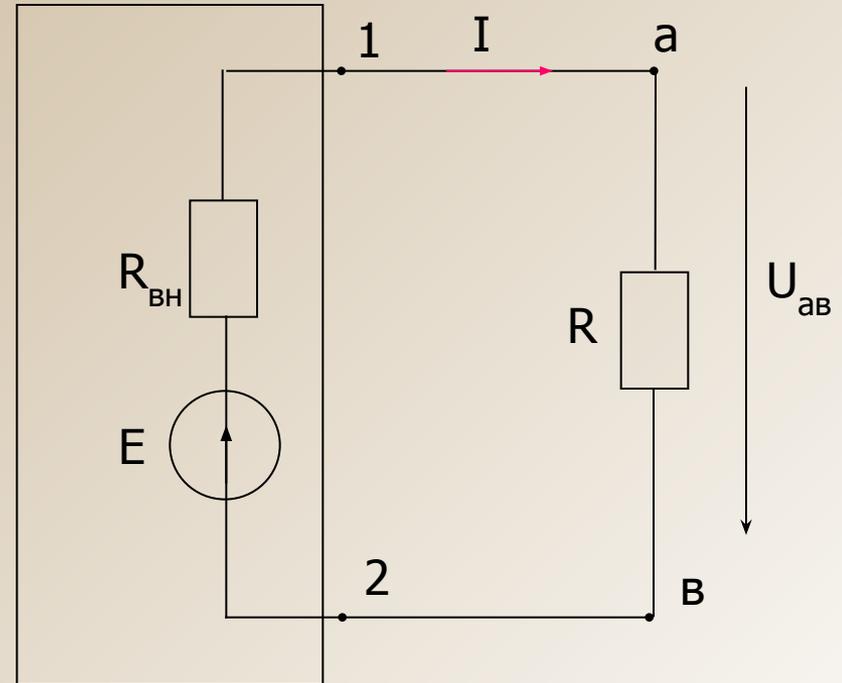
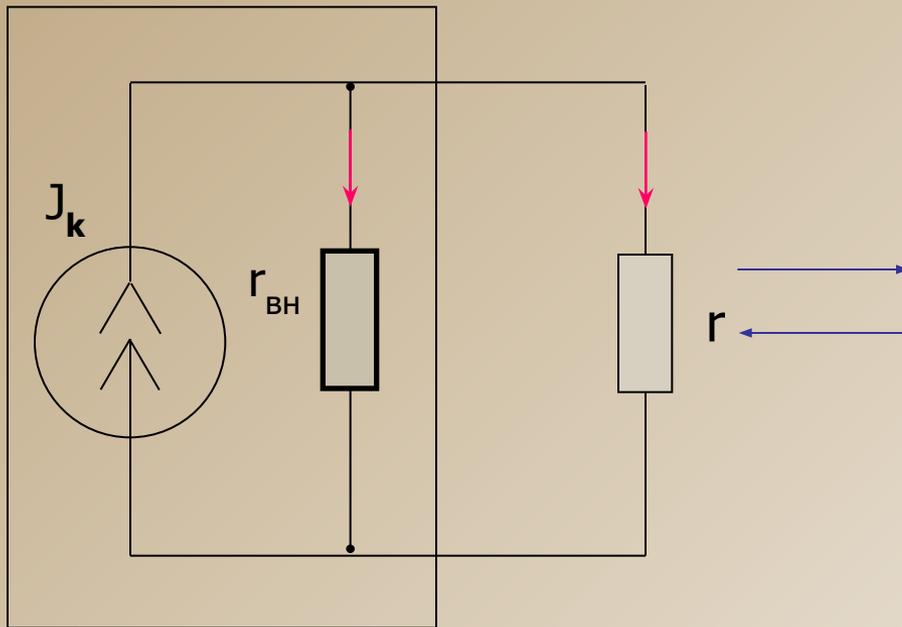
# Схемы замещения источников энергии



$$R_{вн} \ll R$$

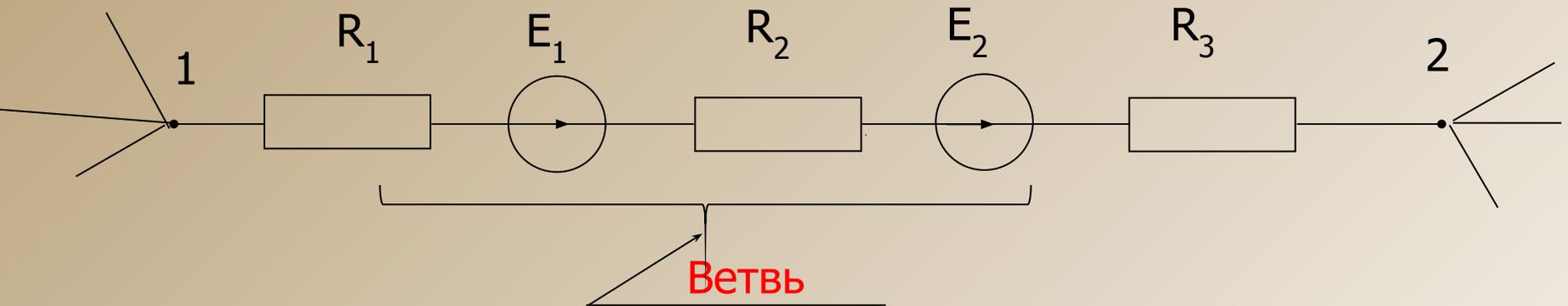


# Преобразование источника тока в источник ЭДС и обратно



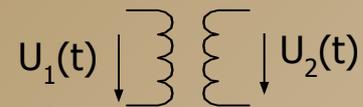
$$U_1(t) \quad U_2(t)$$

# Узлы и ветви электрической цепи

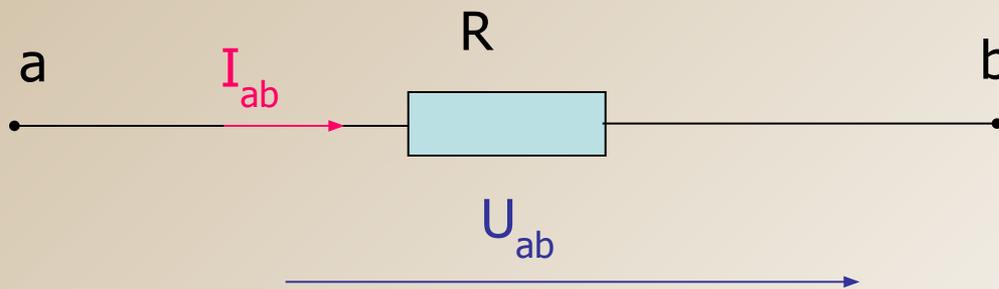
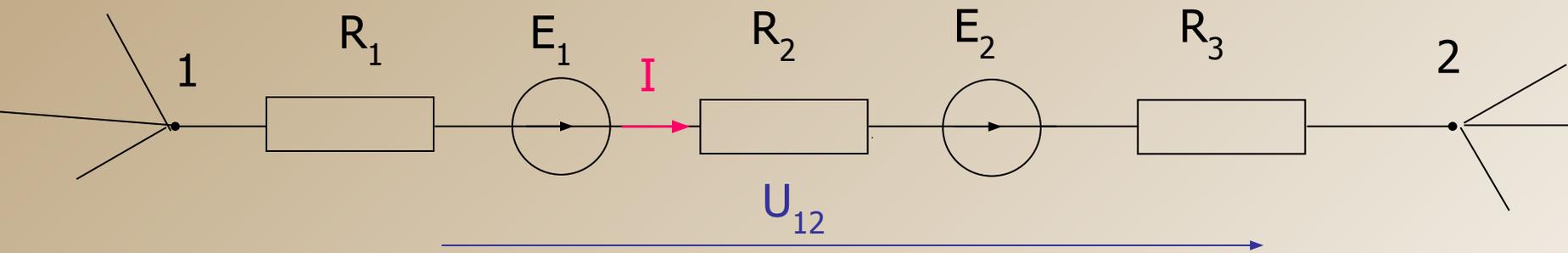


**Узел**-часть электрической цепи ,где соединяется не менее трех ветвей.(1,2-узлы)

**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



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

## Законы Кирхгофа

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad \longleftarrow \quad \text{Первый закон Кирхгофа}$$

Алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи равна нулю.

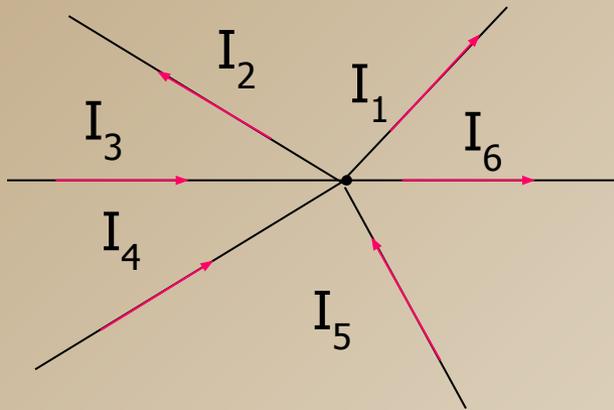
$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^m E_k \quad \longleftarrow \quad \text{Второй закон Кирхгофа}$$

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

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

# Применение законов Кирхгофа

## Первый закон Кирхгофа

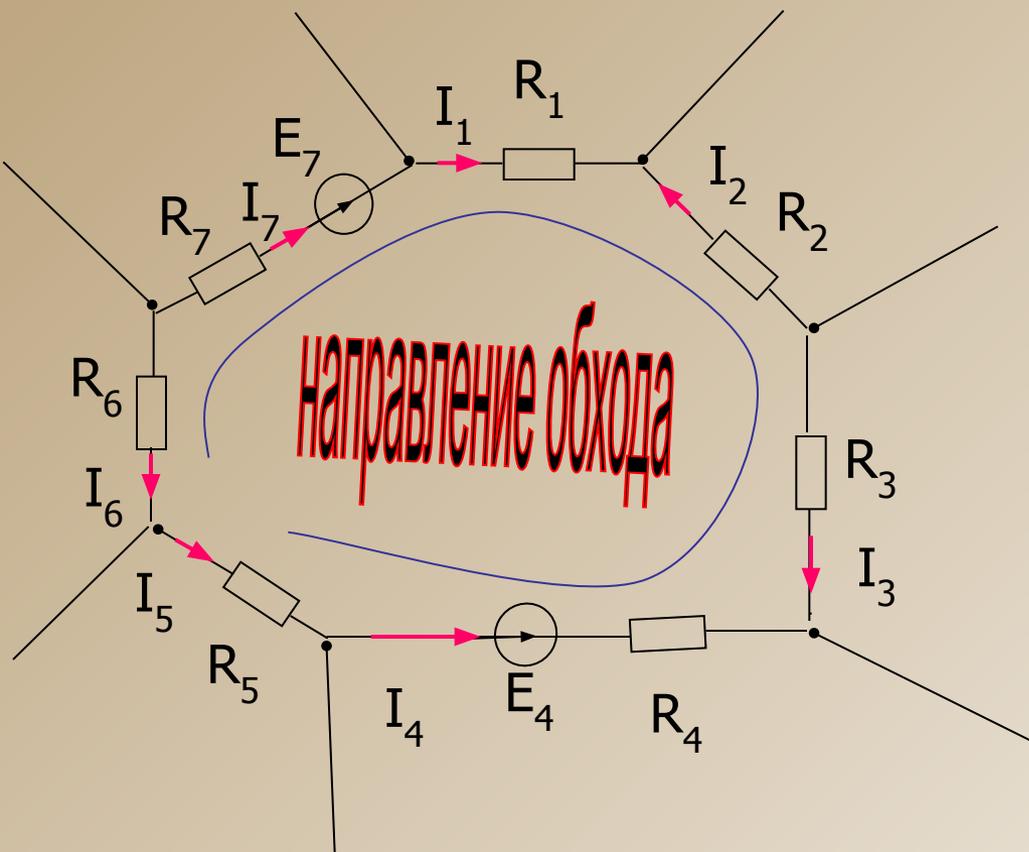


$$-I_1 - I_2 + I_3 + I_4 + I_5 - I_6 = 0 \quad *$$

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

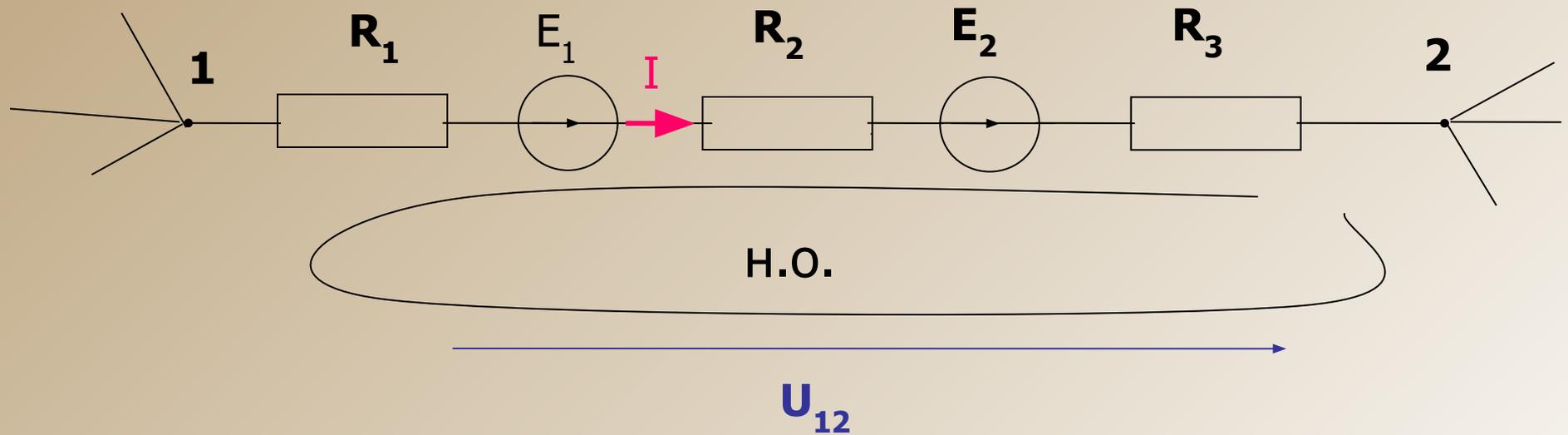


Напряжения, совпадающие с направлением обхода контура, имеют знак **ПЛЮС**, несовпадающие знак **МИНУС**

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 - I_5 R_5 - I_6 R_6 + I_7 R_7 = E_7 - E_4$$

$$u_1(t) \quad u_2(t)$$

## 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



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

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

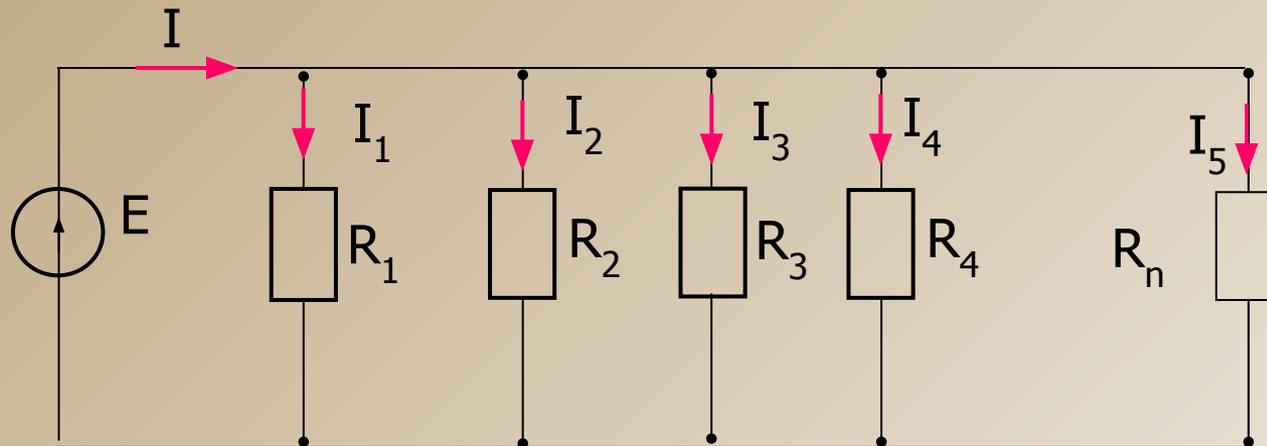
$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = R_{\Sigma}$$

$R_{\Sigma}$  – входное сопротивление относительно зажимов ЭДС

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

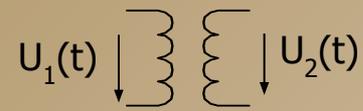
$$U_1(t) \quad U_2(t)$$

## 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

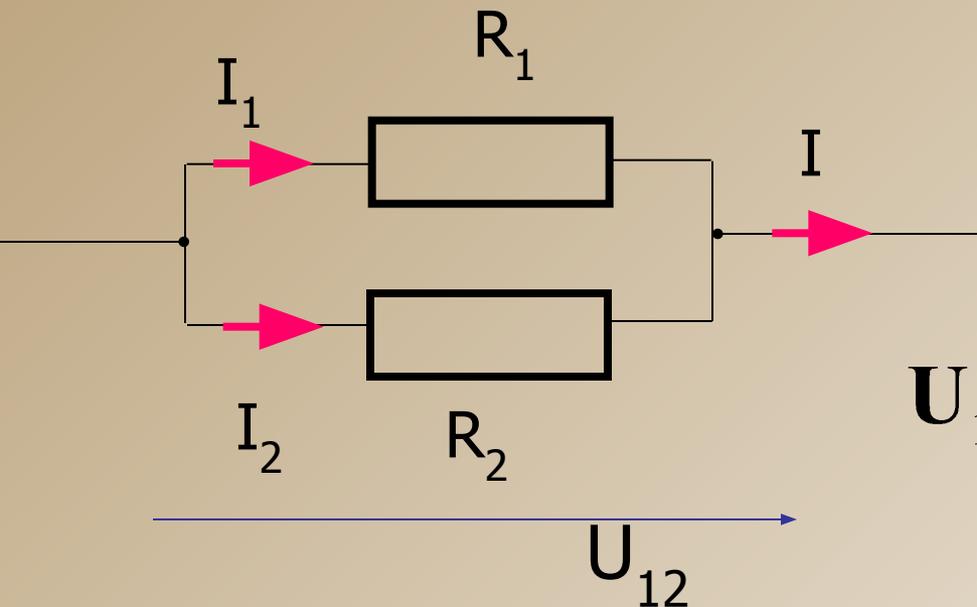
$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = G$$

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

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{G} \quad R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$U_1(t)$   $U_2(t)$

## Формулы для расчета токов в параллельных ветвях



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

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

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

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

## 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:

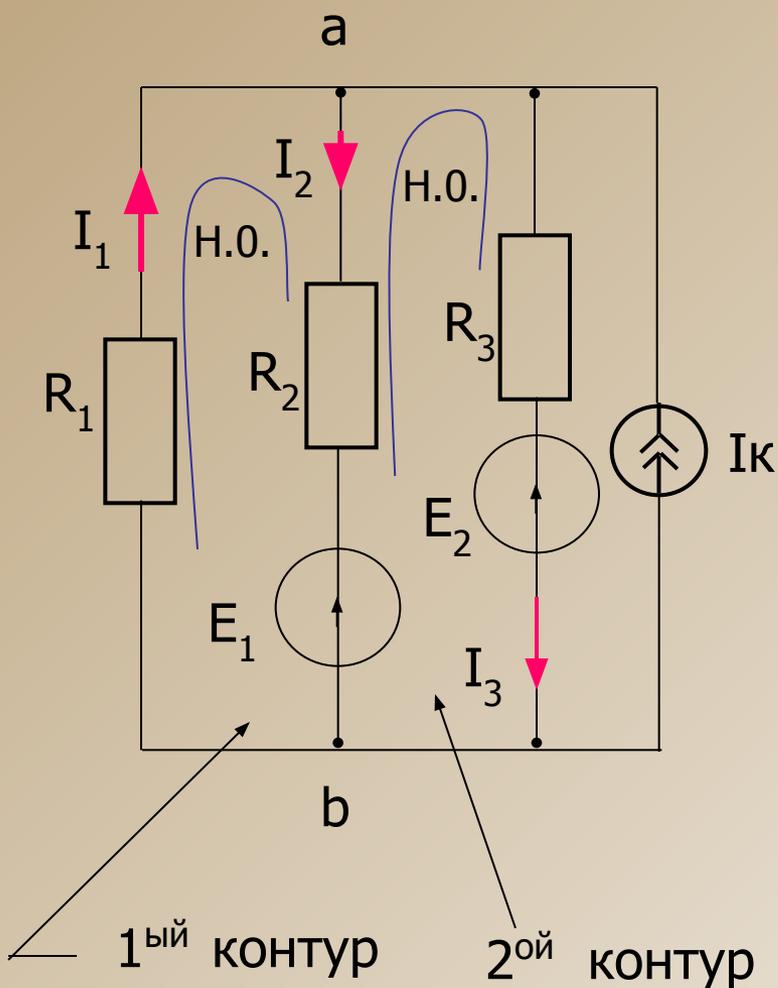
$$I_1 - I_2 - I_3 + I_k = 0$$

Для 1<sup>го</sup> контура

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

Для 2<sup>го</sup> контура

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



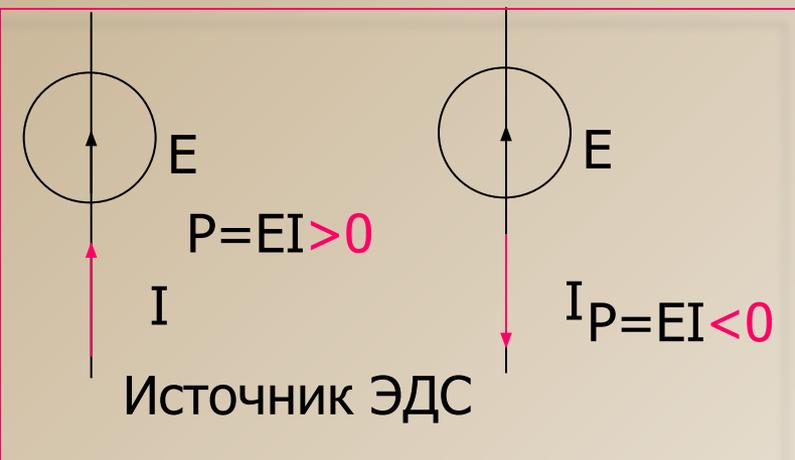
# Баланс мощностей

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

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

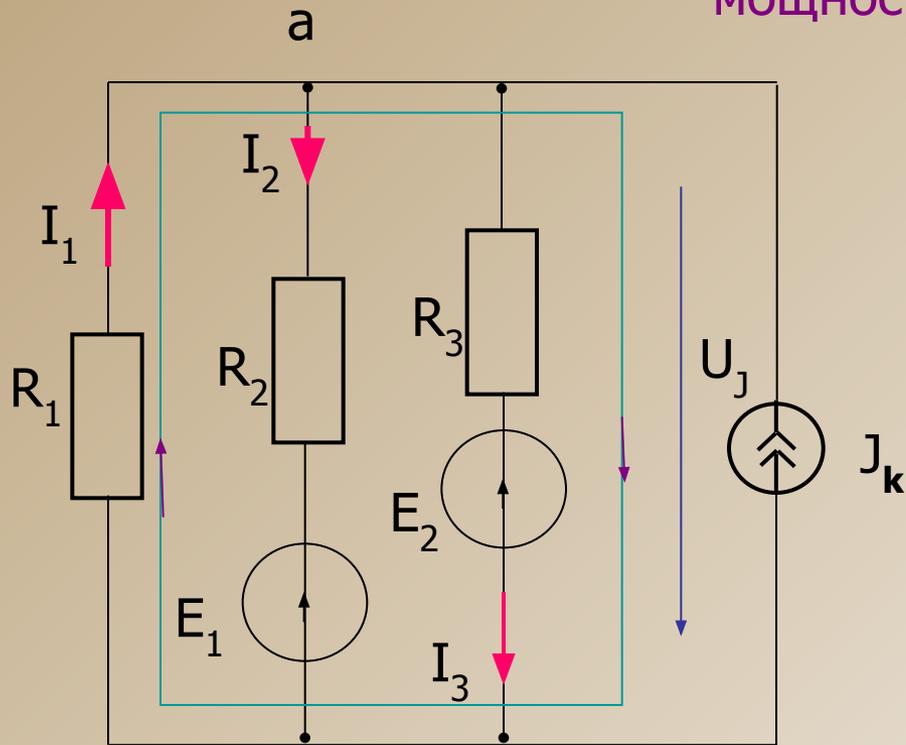
$J_k$  - ток источника тока  
 $U_k$  - напряжение на источнике тока

Знаки мощностей источников



# 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

$$\frac{D_{\text{ааі}} - D_{\text{ііод}}}{D_{\text{ааі}}} \bullet 100\% \leq 5\%$$