



УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ОПОРНЫЙ ВУЗ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# Работа и мощность тока. Закон Джоуля Ленца. Расчеты электрических цепей

Лекция 9

Ст. преп., к. ф.-м. н. Бачурина Ольга  
Владимировна

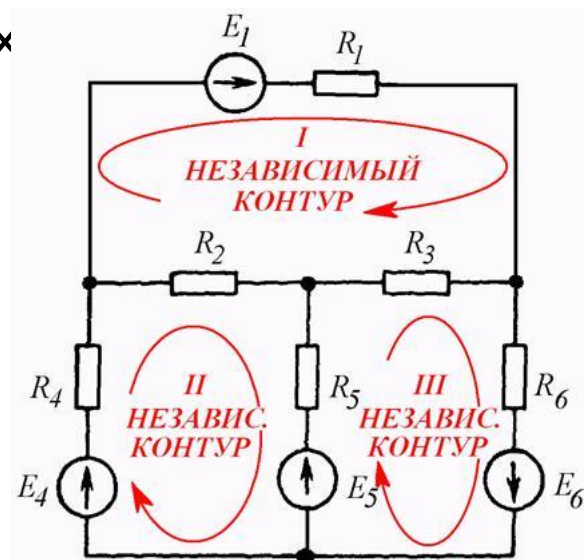
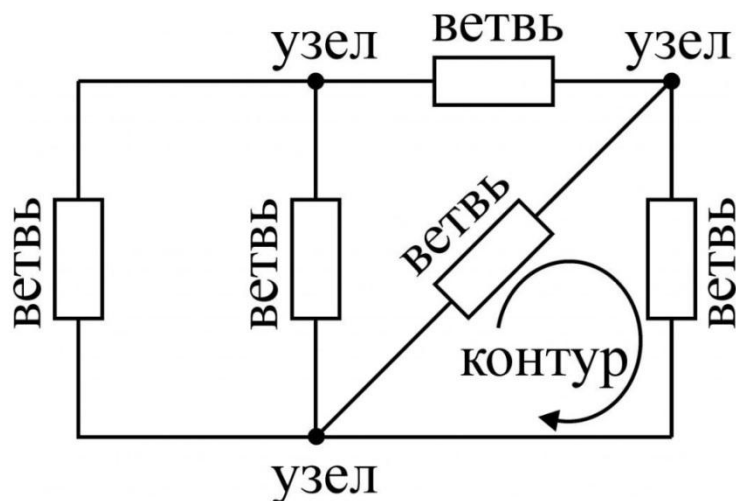
# Темы для СРС

---

- Разобрать пример расчета электрической цепи

# 1.1 Правила Кирхгофа. Основные понятия

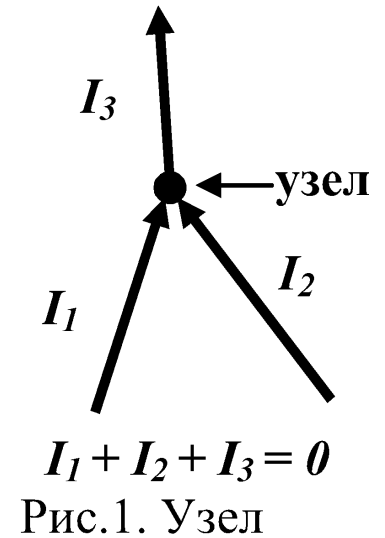
- ❑ **Ветвь электрической цепи**- это участок цепи от одного узла до другого узла. Содержит одну или несколько последовательно соединенных элементов цепи: сопротивление, источники ЭДС или источники тока
- ❑ **Контур** –любой замкнутый набор ветвей
- ❑ **Независимый контур** – контур, в который входит хотя бы одна ветвь не входящая в другие контуры
- ❑ **Узел** – точка, где сходится не менее трех



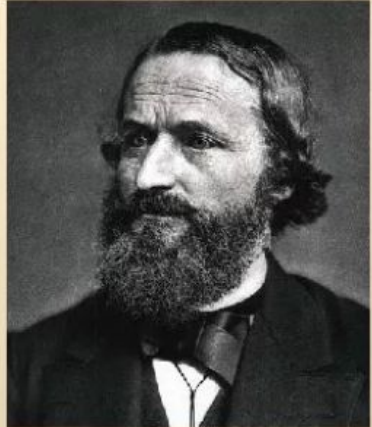
# 1.1 Правила Кирхгофа. Основные понятия

---

- Если в цепь не включен конденсатор, то заряд в узле не теряется, поэтому сумма токов, входящих в узел и токов, выходящих из узла, должна быть одинакова. Токи, входящие в узел возьмем со знаком «+», а выходящие из узла со знаком «-»



# 1.1 Правила Кирхгофа



**Густав Роберт Кирхгоф (Gustav Robert Kirchhoff)**  
(1824-1887) — немецкий физик, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1862)

В возрасте двадцати одного года, сформулировал основные законы для расчета токов и напряжений в электрических цепях

- Для решения практических задач на расчет электрических цепей пользуются **правилами Кирхгофа**
- Первое правило. Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю. Это есть следствие закона сохранения заряда:

$$\sum i_k = 0$$

- Узел – точка, где сходится не менее трех проводников.

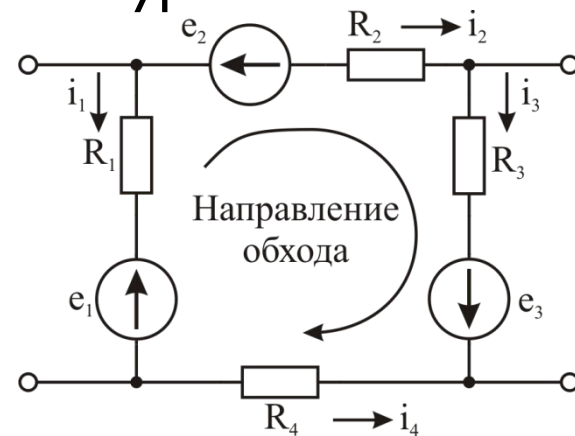
- Второе правило. В замкнутом контуре алгебраическая сумма произведений силы тока на сопротивление соответствующего участка равна алгебраической сумме ЭДС:

$$\sum i_k R_k = \sum \varepsilon_k$$

- При этом ток и ЭДС считаются положительными, если их направление совпадает с направлением выбранного обхода контура

# 1.1 Порядок расчета разветвлённой цепи постоянного тока

- Произвольно выбираются направления токов во всех участках цепи
- Для  $m$  узлов в цепи записываются  $(m-1)$  независимых уравнений по первому правилу Кирхгофа
- Выделяются и обозначаются замкнутые контуры и после выбора направлений обходов, записывается система уравнений по второму правилу Кирхгофа
- В разветвлённой цепи, состоящей из  $P$  ветвей и  $m$  узлов имеется  $(P-m+1)$  независимых уравнений по второму правилу Кирхгофа
- При их составлении контуры выбираются таким образом чтобы каждый новый содержал хотя бы один новый участок цепи, не входящий в уже рассмотренные контуры
- По условию без оговорок в задачах: сопротивление на амперметре равно нулю, значение силы тока на вольтметре равно нулю

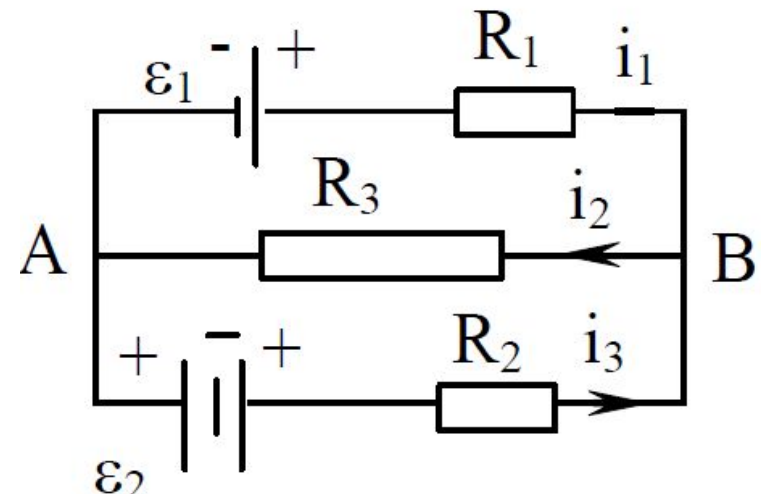


# 1.1 Правила Кирхгофа.

## Пример расчета электрической цепи

□ При этом ток и ЭДС считаются положительными, если их направление совпадает с направлением выбранного обхода контура.

□ Составим уравнение Кирхгофа для цепи, изображенной на рис:



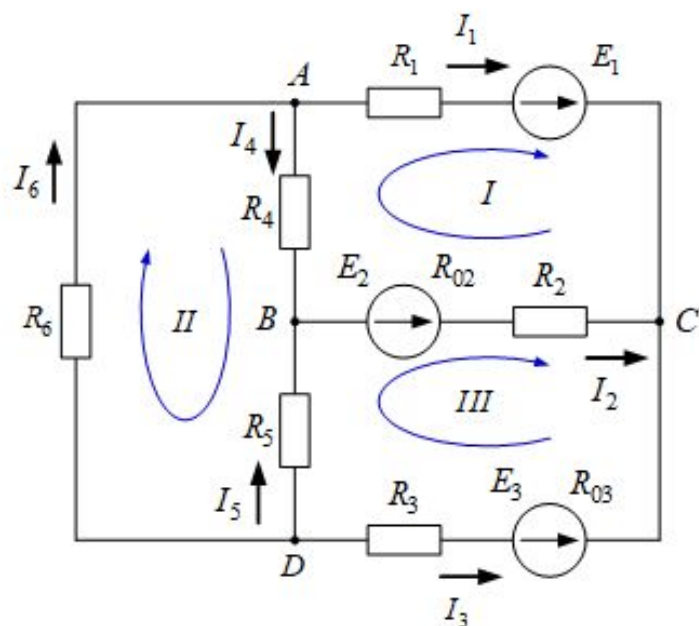
Для узла В:  $i_1 + i_2 = i_3$ .

Для контура  $A\varepsilon_1BA$ :  $i_1R_1 + i_3R_3 = \varepsilon_1$ .

Для контура  $AB\varepsilon_2A$ :  $i_2R_2 + i_3R_3 = -\varepsilon_2$

- 
- Выбрать направления токов.
  - Выбрать направление обхода контура.
  - При переходе с «-» на «+»  $\varepsilon$  со знаком «+».
  - Если направление обхода контура совпадает с направлением тока, то  $IR$  со знаком «+».





Уравнения по 1-ому закону Кирхгофа

$$-I_1 - I_4 + I_6 = 0,$$

(узел *A*)

$$-I_2 + I_4 + I_5 = 0,$$

(узел *B*)

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0.$$

(узел *C*)

Уравнения по 2-ому закону Кирхгофа:

$$I_4 R_4 - I_5 R_5 + I_6 R_6 = 0,$$

(контур *I*)

$$I_1 R_1 - I_2 (R_2 + R_{02}) - I_4 R_4 = E_1 - E_2,$$

(контур *II*)

$$I_2 (R_2 + R_{02}) - I_3 (R_3 + R_{03}) + I_5 R_5 = E_2 - E_3.$$

(контур *III*)

## 1.2 Расчеты электрических цепей. Значение правил Кирхгофа в электротехнике.

---

- Правила Кирхгофа имеют прикладной характер и позволяют наряду и в сочетании с другими приёмами и способами (метод эквивалентного генератора, принцип суперпозиции, способ составления потенциальной диаграммы) решать задачи электротехники.
- Правила Кирхгофа нашли широкое применение благодаря простоте формулировки уравнений и возможности их решения стандартными способами линейной алгебры (методом Крамера, методом Гаусса и др.).

# 1.3 Работа и мощность тока.

## Закон Джоуля-Ленца

▶ Внешнее электрическое поле совершает работу над зарядами проводника.

▶ Если на концах участка проводника приложено напряжение  $U$ , то работа по переносу заряда на этом участке равна  $A = qU$ . Т.к.  $q = i t$ , где  $t$  – время, то  $A = i U t$ .

▶ Используя закон Ома  $i = \frac{U}{R}$ :  $A = i^2 R t = \frac{U^2 t}{R}$ .

▶ Сталкиваясь с частицами проводника, носители тока передают им свою энергию, которую они получают от поля. Поэтому работа электрического поля над зарядами переходит во внутреннюю энергию атомов проводника, т.к. происходит нагревание проводника.

▶ Выделяющееся тепло  $Q$  равно работе:  $Q = A = i^2 R t$  - закон Джоуля-

▶ Получим выражение, характеризующее выделение <sup>Ленца</sup> тепла в различных местах проводника

$$\Delta Q = i^2 R t = \rho \frac{\Delta l}{\Delta S} (j \Delta S)^2 \Delta t = \rho j^2 \Delta V \Delta t, \text{ где } \Delta V = \Delta l \Delta S.$$

▶ Удельная тепловая мощность тока  $\omega$  - количество, выделяющееся в единице объема за единицу времени, с учетом  $j = \frac{1}{\rho} E = \sigma E$  получим:

$$\omega = \rho j^2 = \frac{1}{\rho} E^2 = \sigma E^2 \text{ -закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме.}$$

## 1.3 Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца

---

### ▣ **Практическое значение:**

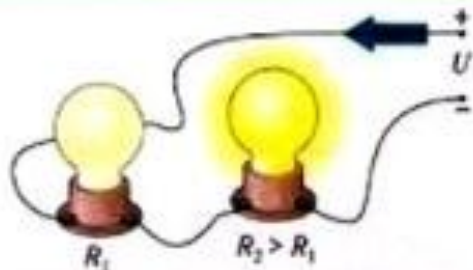
При передаче электроэнергии тепловое действие тока является нежелательным, поскольку ведёт к потерям энергии. Поскольку передаваемая мощность линейно зависит как от напряжения, как и от силы тока, а мощность нагрева зависит от силы тока квадратично, то выгодно повышать напряжение перед передачей электроэнергии, понижая в результате силу тока.

③

**ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА:**

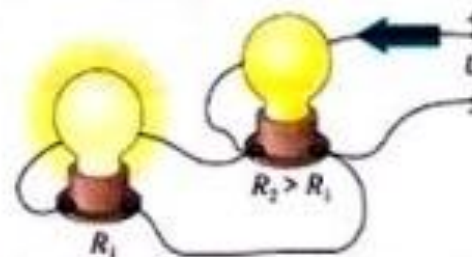
$$Q = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

④



При последовательном соединении лампа с большим сопротивлением горит ярче

⑤



При параллельном соединении лампа с большим сопротивлением горит слабее

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА



# Видео эксперименты по теме

---

- ▣ **Цепочка из различных металлов**, Гервидс Валериан Иванович - доцент кафедры общей физики МИФИ
- ▣ **Пережигание проволоки**, Гервидс Валериан Иванович - доцент кафедры общей физики МИФИ