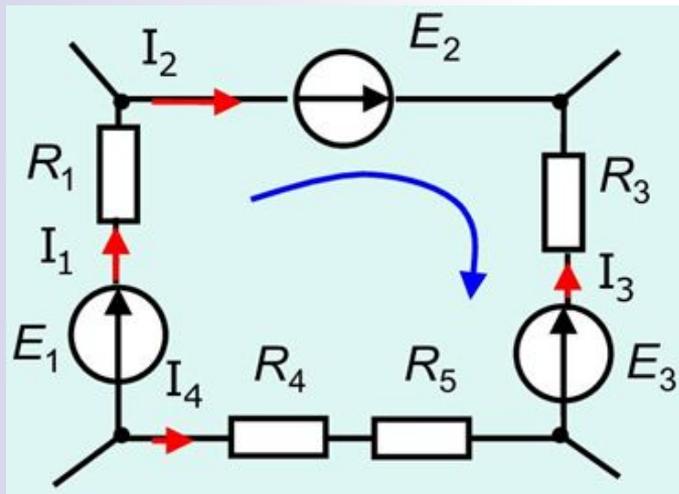


ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



1. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

◀ Лекция 1 (продолжение – 1.8) ▶

1.1. Цель, задачи, структура курса. Основные понятия и определения. Условные обозначения

Электрическая цепь - это совокупность устройств, предназначенных для производства, передачи, преобразования и использования электрического тока.

Все **электротехнические устройства** можно разделить на три большие группы:

- **Источники энергии,**
- **приемники,**
- **проводники.**

Направленное движение электрических зарядов называют электрическим током.

Электрический ток, величина и направление которого не остаются постоянными, называется **переменным током.**

Значение переменного тока в рассматриваемый момент времени называют **МГНОВЕННЫМ и обозначают буквой *i*.**

◀ Лекция 1 (продолжение – 1.8) ▶

Активными называют электрические цепи, содержащие источники энергии, **пассивными** - электрические цепи, не содержащие источников энергии.

Электрическую цепь называют **линейной**, если ни один параметр цепи не зависит от величины или направления тока или напряжения.

Электрическая цепь является **нелинейной**, если она содержит хотя бы один нелинейный элемент.

Параметры **нелинейных элементов** зависят от **величины** или **направления тока**, или **напряжения**.

Соединение, при котором по всем участкам проходит один и тот же ток, называют **последовательным**.

Соединение, при котором все участки цепи присоединяются к одной паре узлов, т. е. находятся под действием одного и того же напряжения, называют **параллельным**.

◀ Лекция 1(продолжение – 1.8) ▶

Любой **замкнутый путь**, проходящий по нескольким участкам, называют **контуром электрической цепи**.

Участок цепи, вдоль которого проходит один и тот же ток, называют **ветвью**, а место соединения трех и большего числа ветвей – **узлом**.

Простейшими **пассивными** элементами **схемы замещения** являются:

- ✓ сопротивление,
- ✓ индуктивность,
- ✓ емкость.

◀ Лекция 1 (продолжение – 1.8) ▶

В реальной цепи **электрическим сопротивлением** обладают не только **реостат** или **резистор**, но и **проводники, катушки, конденсаторы** и т.д.

Общим свойством всех устройств, обладающих **сопротивлением**, является **необратимое преобразование электрической энергии в тепловую**.

Тепловая энергия, выделяемая в сопротивлении, **полезно используется** или **рассеивается** в пространстве.

В схеме замещения во всех случаях, когда надо учесть **необратимое преобразование энергии**, включается **сопротивление**.

Сопротивление проводника определяется по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где l - длина проводника; S - сечение; ρ - удельное сопротивление.

Величина, **обратная сопротивлению**, называется **проводимостью**.

$$g = \frac{1}{R}.$$

◀ Лекция 1 (продолжение – 1.8) ▶

Сопротивление измеряется в **омах (Ом)**, а **проводимость** – в **сименсах (См)**.

Сопротивление пассивного участка цепи в общем случае определяется по формуле:

$$R = \frac{P}{I^2},$$

где P – потребляемая мощность; I – ток.

Индуктивностью называется **идеальный элемент** схемы замещения, характеризующий способность цепи **накапливать магнитное поле**.

Полагают, что **индуктивностью** обладают только **индуктивные катушки**. **Индуктивностью** других элементов электрической цепи пренебрегают.

Индуктивность катушки, измеряемая в **генри (Гн)**, определяется по формуле:

$$L = \frac{W \cdot \Phi}{i},$$

где W – число витков катушки;

Φ – магнитный поток катушки, возбуждаемый током i .

Емкостью называется идеальный элемент схемы замещения, характеризующий способность участка электрической цепи накапливать **электрическое поле**.

Полагают, что **емкостью** обладают только **конденсаторы**. **Емкостью** остальных элементов цепи пренебрегают.

Емкость конденсатора, измеряемая в **фарадах (Ф)**, определяется по формуле:
где q – заряд на обкладках конденсатора,
 U_c – напряжение на конденсаторе.

$$C = \frac{q}{U_c},$$

**Любой источник энергии
можно представить в виде:**

- источника ЭДС;**
- источника тока.**

◀ Лекция 1 (продолжение – 1.8) ▶

Источник ЭДС – это источник, характеризующийся электродвижущей силой и внутренним сопротивлением.

Идеальным называется **источник ЭДС**, внутреннее сопротивление которого равно нулю ($R_i = 0$).

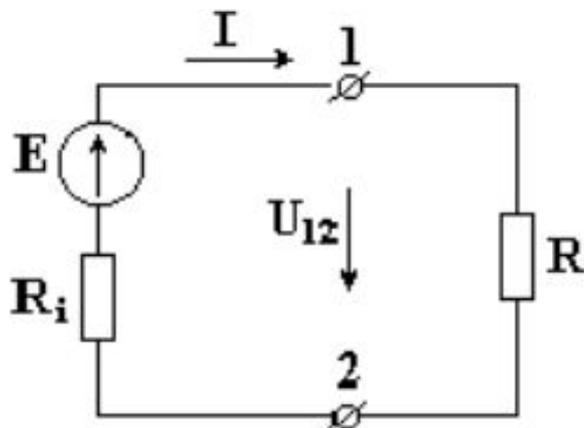


Рис. 1.1 Схема с источником ЭДС

На рис. 1.1 изображен **источник ЭДС** с сопротивлением R .

R_i – **внутреннее сопротивление** источника ЭДС. **Стрелка ЭДС** направлена от точки **низшего потенциала** к точке **высшего потенциала**, **стрелка напряжения** на зажимах источника U_{12} направлена в **противоположную сторону** от точки с **большим потенциалом** к точке с **меньшим потенциалом**.

Проще всего представить **разность потенциалов** - два бачка с водой расположенных на разной высоте, соединенные шлангом! **Верхний бачок-высокий потенциал**, а **низкий бачок низкий потенциал**! Тонкий шланг - **малый ток** и **большое сопротивление** движению, широкий шланг - **малое сопротивление** и **большой ток**! Чем **выше** расположен **верхний бачок** (**больше разность потенциалов**), тем **больше ток** при неизменных остальных условиях.

◀ Лекция 1 (продолжение – 1.9) ▶

Ток
$$I = \frac{E}{R_i + R}$$

$$E = R_i \cdot I + I \cdot R = R_i \cdot I + U_{12}$$

$$U_{12} = I \cdot R = E - I \cdot R_i$$

У **идеального источника ЭДС** $R_i = 0$, $U_{12} = E$.

Из формулы видно, что **напряжение** на зажимах реального источника ЭДС уменьшается с увеличением **тока**.

У **идеального источника напряжение** на зажимах не зависит от **тока** и равно **ЭДС**.

Возможен **другой путь идеализации источника**: представление его в виде **источника тока**.

Источником тока называется источник энергии, характеризующейся **величиной тока и внутренней проводимостью**.

Идеальным называется источник тока, внутренняя проводимость которого равна нулю ($g = 0$).

◀ Лекция 1(продолжение – 1.10) ▶

Поделим левую и правую части данного уравнения

$$E = R_i \cdot I + I \cdot R = R_i \cdot I + U_{12} \quad , \quad \text{на } Ri$$

получим:
$$\frac{E}{R_i} = U_{12} \frac{1}{R_i} + I$$

где $\frac{E}{R_i} = J$ – ток источника тока; $\frac{1}{R_i} = g_i$ – внутренняя проводимость.

$$J = U_{12} \cdot g_i + I$$

У идеального источника тока $g_i = 0$ и $J = I$.

Ток идеального источника не зависит от **сопротивления** внешней части цепи. Он остается постоянным независимо от **сопротивления нагрузки**.

Любой **реальный источник ЭДС** можно преобразовать в **источник тока** и **наоборот**.

Источник энергии, **внутреннее сопротивление** которого мало по сравнению с **сопротивлением нагрузки** ($R_{вн} < R_{наг}$), приближается по своим свойствам к **идеальному источнику ЭДС**.

Если **внутреннее сопротивление** источника велико по сравнению с **сопротивлением нагрузки** ($R_{вн} > R_{наг}$), он приближается по своим свойствам к **идеальному источнику тока**.

1.2. Законы электротехники

1.2.1. Закон Ома

Изобразим участок цепи с **сопротивлением** R . $I = \frac{U}{R}$

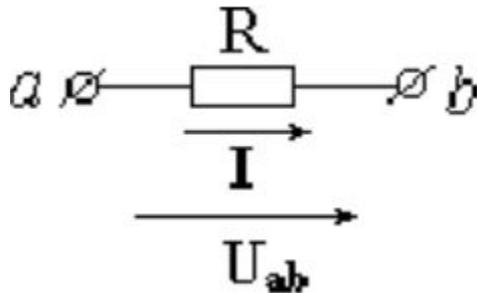


Рис. 1.2 Участок цепи

где I – сила тока на участке цепи,
 U – напряжение, приложенное к
этому участку,
 R – сопротивление проводника.

Выражение является **законом Ома** для
участка цепи:

Закон Ома справедлив для **линейных
цепей** ($R = const$)

$$I = \frac{E}{R + R_{BT}}, \quad \text{где } R_{BT} \text{ – внутреннее сопротивление источника тока.}$$

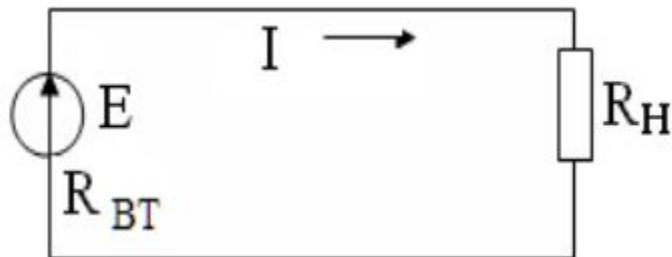
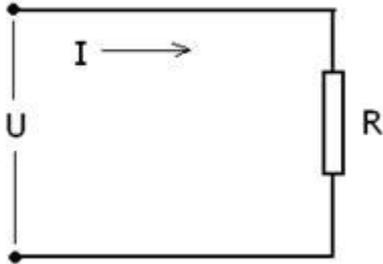


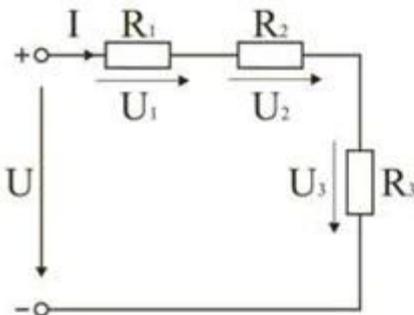
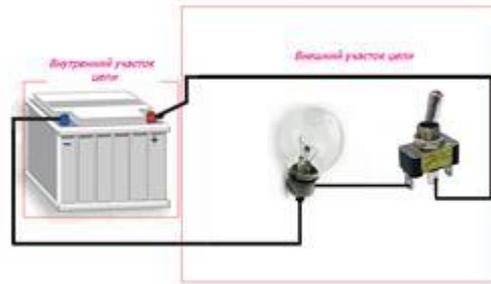
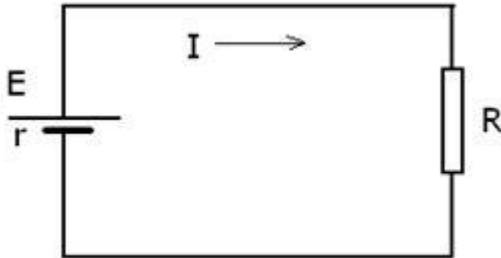
Рис. 1.3 Полная цепь

Выражение является **законом Ома** для **всей цепи**: **сила тока** в
цепи прямо пропорциональна **ЭДС источника**.

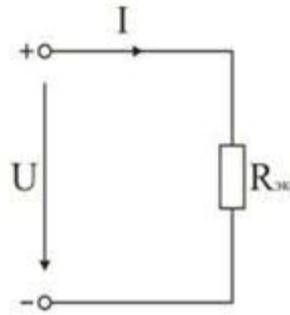
▶ Лекция 1 (продолжение – 1.8) ▶



Всеми этими **формулами**,
 вытекающими из **закона Ома**, можно
 пользоваться и для расчета цепей
переменного тока, но при условии,
 если в цепях нет **катушек**
индуктивности и **конденсаторов**.



Расчетная схема



Эквивалентная схема

1.2.2. Законы Кирхгофа

1 закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в любом узле цепи равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

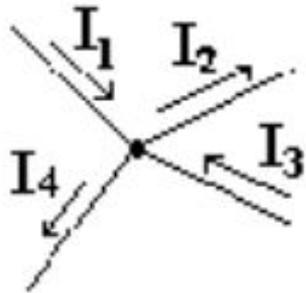


Рис. 1.4 Токи в узле

Рассмотрим схему и запишем для нее уравнение по **первому закону Кирхгофа**. **Токам**, направленным к узлу, присвоим знак «**плюс**», а **токам**, направленным от узла и – знак «**минус**».

Получим следующее уравнение:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 = 0 \quad \text{или} \quad I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

2 закон Кирхгофа: алгебраическая сумма **ЭДС** вдоль любого замкнутого контура равна алгебраической сумме падений напряжений в этом контуре:

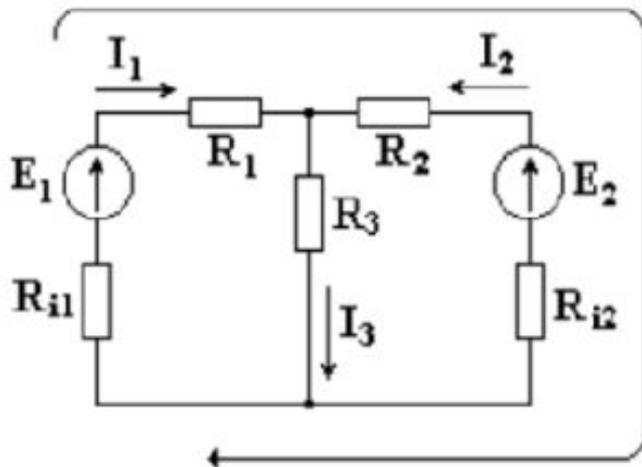


Рис. 1.5. Напряжения в контурах

$$\sum E = \sum U$$

Рассмотрим схему и запишем для внешнего контура этой схемы уравнение по **второму закону Кирхгофа**.

Выберем произвольно направление обхода контура, например, по **часовой стрелке**.

ЭДС и **падения напряжений** записываются в **левую** и **правую** части уравнения со знаком «**плюс**», если направления их совпадают с направлением обхода контура, и со знаком «**минус**», если не совпадают.

◀◀ Лекция 1 (продолжение – 1.15) ▶▶

При определении **тока в ветви**, содержащей **источник ЭДС**, используют **закон Ома для активной ветви**. Возьмем ветвь, содержащую **сопротивления** и **источники ЭДС** (рис. 1.6).

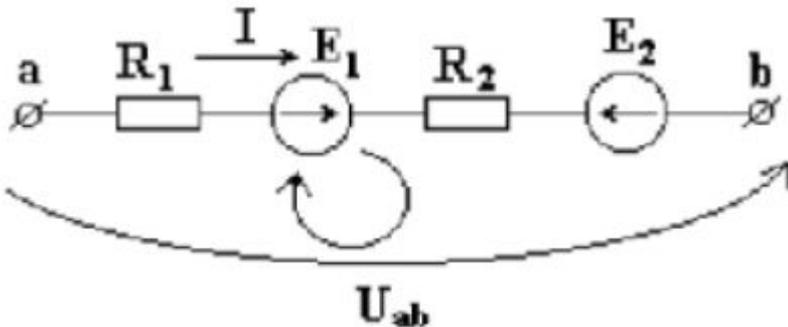


Рис. 1.6 Ток в контуре

Ветвь включена к **узлам a-b**, известно **направление тока в ветви**. Для **замкнутый контур** запишем уравнение по **второму закону Кирхгофа**. Выберем направление обхода контура **по часовой стрелке**.

Получим
$$I \cdot R_1 + I \cdot R_2 - U_{ab} = E_1 - E_2$$

Из этого уравнения получим тока
$$I = \frac{U_{ab} + E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

В общем виде:
$$I = \frac{U_{ab} + \sum E}{\sum R}$$
 где $\sum R$ - сумма сопротивлений ветви;
 $\sum E$ - алгебраическая сумма ЭДС.

ЭДС в формуле записывается со знаком «**плюс**», если направление ее **совпадает с направлением тока** и со знаком «**минус**», если **не совпадает**.

1.2.3. Закон Джоуля-Ленца

Если **электрическую цепь замкнуть**, то в ней возникнет **электрический ток**. При этом **энергия источника** будет расходоваться.

Когда в цепи с **сопротивлением** R существует ток, электроны, перемещаются под действием **поля**, при этом **кинетическая энергия электронов** передается **ионам**, что приводит к увеличению **амплитуды колебательного движения ионов**, и, следовательно, к **нагреванию проводника**.

Количество теплоты, выделенной в проводнике, равно:

$$Q = I^2 R t \quad (\text{закона } \text{Ленца} - \text{Джоуля})$$

Преобразование **электрической энергии** в **тепловую** имеет большое практическое значение и широко используется.

Однако часто **тепловые потери** являются нежелательными, так как они вызывают **непроизводительные расходы энергии** (в электрических машинах, трансформаторах и других устройствах, что **снижает их КПД**).

1.3. Эквивалентные преобразования. Методы расчета цепей постоянного тока

При расчете цепей приходится сталкиваться с **различными схемами** соединения потребителей. **Задача расчета** такой цепи состоит в том, чтобы определить **токи** и **напряжения отдельных ее участков**.

На рис. 1.7 изображена **электрическая цепь с последовательно соединенными сопротивлениями**.

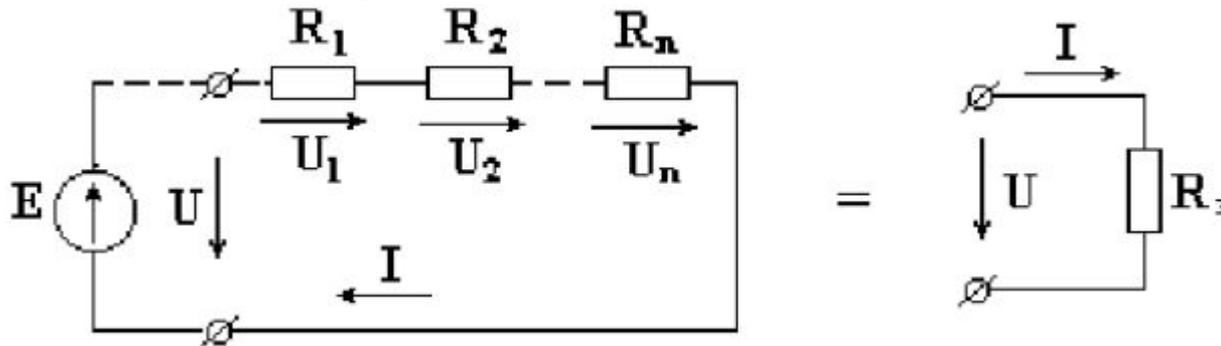


Рис. 1.7 Последовательное соединение резисторов

Напряжение на зажимах **источника ЭДС** равно величине **ЭДС**. Поэтому часто **источник** на схеме **не изображают**.

Падения напряжений на **сопротивлениях** определяются по формулам:

$$U_1 = I \cdot R_1, \quad U_2 = I \cdot R_2, \quad U_n = I \cdot R_n.$$

В соответствии со **вторым законом Кирхгофа**, **напряжение на входе электрической цепи равно сумме падений напряжений на сопротивлениях цепи.**

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots + I \cdot R_n = I \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n) = I \cdot R_э,$$

где $R_э$ – эквивалентное сопротивление.

Эквивалентное сопротивление электрической цепи, состоящей из n последовательно включенных элементов, равно **сумме сопротивлений этих элементов.**

На рис. 1.8 изображена **электрическая цепь с параллельно соединенными сопротивлениями**.

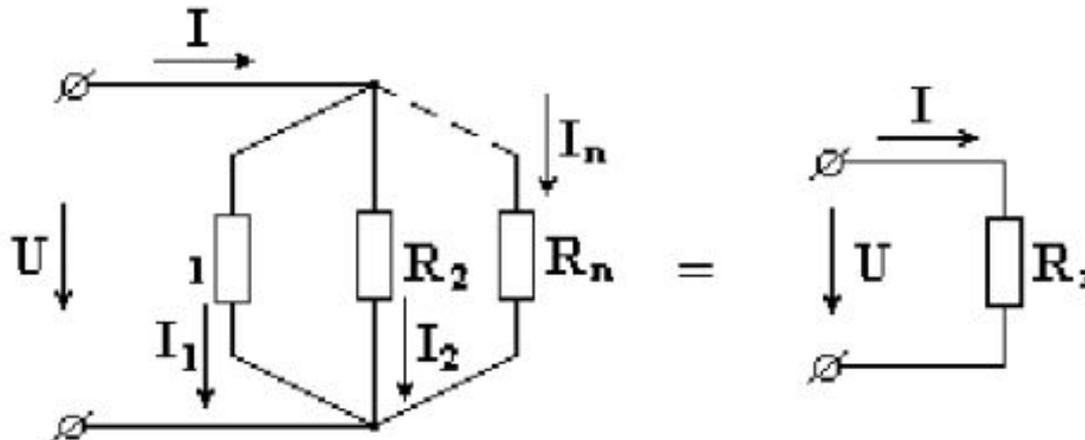


Рис. 1.8. Параллельное соединение резисторов

Токи в параллельных ветвях определяются по формулам:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = U \cdot g_1; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = U \cdot g_2; \quad I_n = \frac{U}{R_n} = U \cdot g_n,$$

где g_i – проводимости 1-й, 2-й и n -й ветвей.

◀◀ Лекция 1 (продолжение – 1.13) ▶▶

В соответствии с **первым законом Кирхгофа**, **ток** в неразветвленной части схемы равен сумме токов в параллельных ветвях:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = U \cdot g_1 + U \cdot g_2 + \dots + U \cdot g_n = U \cdot (g_1 + g_2 + \dots + g_n) = U \cdot g_3,$$

где $g_3 = g_1 + g_2 + \dots + g_n$

Эквивалентным сопротивлением цепи называется величина, обратная эквивалентной проводимости.

Электрическая схема содержит три **параллельно** включенных сопротивления. **Эквивалентная проводимость:**

$$g_3 = g_1 + g_2 + g_3 = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3};$$

$$R_3 = \frac{1}{g_3} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}$$

Эквивалентное сопротивление схемы, состоящей из n одинаковых элементов, в n раз меньше сопротивлений R одного элемента:

$$R_3 = \frac{R}{n}$$

Для схемы уравнение справедливо: $E=U+RI+R_iI$

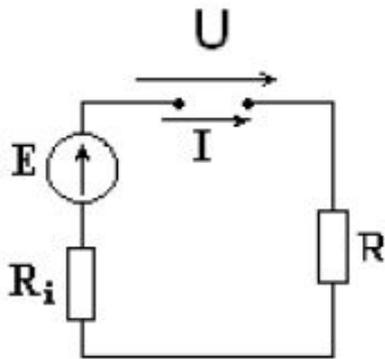


Рис. 1.9 Схема для расчета

После умножения всех членов этого уравнения на I получим

$$\pm \sum IE = \pm \sum UI + \sum RI^2$$

т.е. алгебраическая сумма **мощностей источников**, отдаваемая (потребляемая) в цепь, равна **сумме мощностей**, потребляемой **пассивными элементами**.

Коэффициент полезного действия

(кпд) в электрических цепях,

$$\eta = P_{\text{пол.}} / P_{\text{затр.}}$$

$$P_{\text{затр.}} = P_{\text{пол.}} + P_{\text{потерь}}$$

где $P_{\text{пол.}}$ – **полезной мощности**, потребляемые источниками (зарядка ЭДС) и выделяемые в нагрузке;

$P_{\text{потерь}}$ – **мощности**, обусловленные потерями энергии в источнике питания (внутренних сопротивлениях $R_{\text{вн}}$) и сетях (потери в проводах $R_{\text{пр.}}$).

Вопросы для самоконтроля

- 1) Какие токи называются **переменным** и **постоянным**?
- 2) Как рассчитывается эквивалентное сопротивление при **последовательном** и **параллельном** соединении резисторов?
- 3) Сформулировать **закон Ома**.
- 4) Сформулировать **законы Кирхгофа**.
- 5) Сформулировать **закон Джоуля-Ленца**.
- 6) Какова цель **расчета электрической цепи**?