



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Естественные науки»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лекциям по физике для иностранных
студентов предвузовского этапа обучения

«Постоянный электрический ТОК

ЧАСТЬ 1»

Автор
С.М.Цветковская,
И.В.Донец

Ростов-на-Дону, 2014



Аннотация

Методические указания предназначены для иностранных студентов предвузовской подготовки технического, естественнонаучного и медико-биологического профилей обучения. Содержат краткую теорию лекционного материала по теме «Постоянный электрический ток», примеры расчёта сложных электрических цепей с применением законов Кирхгофа, снабжены пояснительными рисунками.

Рекомендуются для аудиторной и самостоятельной работы студентов.

Автор

С.М.Цветковская – канд. физ.-мат.наук, доцент;

И.В.Донец- канд. физ.-мат.наук, доцент





Оглавление

Постоянный электрический ток	4
Электрическое сопротивление проводника.....	6
Электродвижущая сила (ЭДС). Источник тока....	9
Расчёт сложных электрических цепей	11
Пример 1.	13
Пример 2.	15



ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Электрическим током называется направленное (упорядоченное) движение электрических зарядов.

Электрическая проводимость (электропроводность) – это свойство вещества проводить электрический ток.

Все вещества (по свойству электропроводности) делятся на:

Проводники	Полупроводники	Диэлектрики
металлы, электролиты, ионизируемые газы	элементы Si, Ge, Se соединения PbS, CdS	изоляторы, т.е. не проводники

Электрический ток в проводнике – это направленное (упорядоченное) движение свободных электрических зарядов.

Электрический ток в металлическом проводнике – это направленное (упорядоченное) движение свободных электронов.

За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.

В металлическом проводнике направление тока противоположно направлению движения электронов.

Внимание! Ток течёт по проводнику, контуру, цепи. Ток существует в проводнике, контуре, цепи.

Сила тока. Сила тока I – это количественная характеристика электрического тока.

Сила тока I – это скалярная физическая величина, которая численно равна заряду, протекающему через поперечное сечение проводника в единицу времени.

$$I = \frac{q}{\Delta t},$$

где q – заряд, Δt – промежуток времени.

Сила тока измеряется в амперах. Единица измерения силы тока – I ампер.

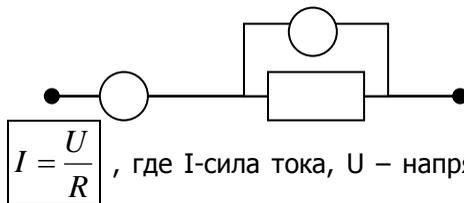
$$[I]_{Cu} = A(\text{ампер}) \quad g = A \cdot \Delta t \rightarrow 1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}.$$

Электрический ток называется постоянным (постоянный электрический ток), если сила тока и направление тока не изме-



няются со временем (с течением времени).

Закон Ома для участка цепи



ние.

Сила тока I на участке цепи прямо пропорциональна напряжению, приложенному к концам участка, и обратно пропорциональна сопротивлению участка.

Обратите внимание на эквивалентные понятия!

1. напряжение, приложенное к концам участка (U) .
2. Падение напряжения на участке (U) .

Вспомните!

Электрическое напряжение измеряется в вольтах. Единица измерения электрического напряжения – 1В.

$$[U]_{Cu} = B .$$

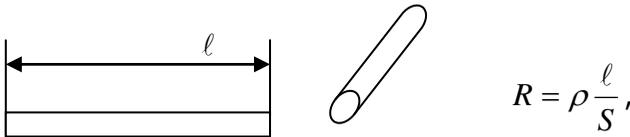


ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА.

Электрическое сопротивление или сопротивление (R) – это характеристика проводника.

Сопротивление металлического проводника определяется материалом, из которого сделан (изготовлен) проводник, его геометрической формой и размерами. Сопротивление зависит от температуры.

Для однородного цилиндрического проводника, который имеет длину ℓ и площадь поперечного сечения S , сопротивление рассчитывается по формуле:



где ρ - удельное сопротивление проводника, изготовленного из данного материала.

$$[\rho]_{Cu} = \frac{[R]_{Cu} [S]_{Cu}}{[\ell]_{Cu}} = \frac{Ом \cdot м^2}{м} = Ом \cdot м$$

Удельное сопротивление ρ - это сопротивление однородного цилиндрического проводника, изготовленного из данного материала, имеющего единичную площадь поперечного сечения (табличная величина).

Электрическое сопротивление измеряется в Омах. Единица измерения электрического сопротивления 1 Ом.

$$[R]_{Cu} = Ом$$

1 Ом равен сопротивлению проводника, между концами которого напряжение равно 1В (одному вольту), когда сила тока равна 1А (одному амперу).

Зависимость сопротивления от температуры.

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \cdot t^{0C}), \alpha = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 t}$$

где ρ - удельное сопротивление при температуре t .

ρ_0 - удельное сопротивление при 0^0C табличная величина; t – температура по шкале Цельсия, α - температурный коэффициент сопротивления (табличная величина). Соединение



проводников

Последовательное	Параллельное
$I = \text{const};$ $U = U_1 + U_2$ $R = R_1 + R_2$	$U = \text{const};$ $I = I_1 + I_2$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
Если число проводников равно n , то $R = \sum_{i=1}^n R_i$	Если число проводников равно n , то $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$

Работа и мощность тока. Тепловое действие тока.

Работа, которую совершает электрическое поле по перемещению заряда q на участке цепи, вычисляется по формуле:

$$A = q \cdot U_{AB} = I \cdot U_{AB} \cdot \Delta t$$



где I – сила тока на участке AB ;

U – напряжение на участке AB ;

Δt – время прохождения тока по участку AB ;

q – заряд, который проходит по участку AB за время Δt ,

A – работа электрического поля.

Из закона сохранения энергии следует, что

$$A = \Delta W,$$

где ΔW – изменение энергии проводника.

Мощность тока при прохождении его по проводнику с сопротивлением R вычисляется по формуле:

$$N = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{A}{\Delta t} = I \cdot U = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}.$$

Количество теплоты, которое выделяется в проводнике с сопротивлением R , когда по нему в течение времени Δt течет ток



Естественные науки

силы I , определяется по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R_{\Delta} t, \quad \text{или} \quad Q = I \cdot U \cdot \Delta t = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t..$$

Внимание!

Рекомендуется закон Джоуля-Ленца записывать в форме для проводников, соединенных

последовательно:	параллельно:
$Q_{AB} = I^2 \cdot R \cdot \Delta t, \quad \text{где}$ $R = R_1 + R_2$	$Q_{AB} = \frac{U^2_{AB}}{R} \cdot \Delta t, \quad \text{где}$ $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$



ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС). ИСТОЧНИК ТОКА.

Сторонние силы – это силы, которые перемещают электрические заряды внутри источника постоянного тока против действия сил электростатического поля.

Сторонние силы – это силы неэлектростатические.

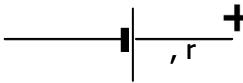
Например, в гальваническом элементе сторонние силы возникают в результате электрохимических процессов.

Электродвижущая сила источника (ЭДС или E) – это величина, измеряемая отношением работы, которую совершают сторонние силы по перемещению заряда вдоль замкнутого контура, к величине заряда.

$$E = \frac{A_{cm}}{q}, \text{ где } A_{cm} - \text{ работа сторонних сил, } q - \text{ заряд.}$$

$$[E]_{Cu} = B.$$

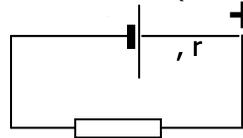
Условное обозначение источника тока



где E - ЭДС, r - внутреннее сопротивление источника.

Закон Ома для полной цепи (замкнутой цепи)

$$I = \frac{E}{R + r},$$



где E - электродвижущая сила (ЭДС), r - внутреннее сопротивление; R – сопротивление внешней цепи

$$E = I \cdot R + I \cdot r = U + u,$$

где U – падение напряжения на внешнем участке цепи,

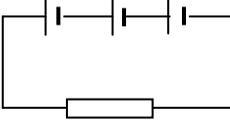
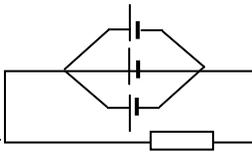
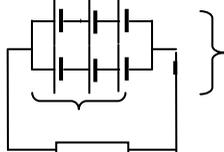
u – падение напряжения на внутреннем участке цепи.

Соединение одинаковых источников тока (батарея источников).

Одинаковые источники – это такие источники, у которых ЭДС равны $E_1 = E_2 = \dots = E_n = E$ и внутренние сопротивления равны $r_1 = r_2 = \dots = r_n = r$.



Естественные науки

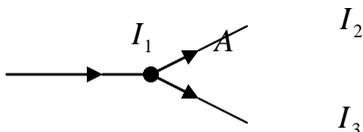
Последовательное n – число источни- КОВ	Параллельное m – число источ- НИКОВ	Смешанное
 $E_{\text{бат}} = E_1 + E_2 + E_3 = n \cdot E;$ $r_{\text{бат}} = r_1 + r_2 + r_3 = n \cdot r;$	 $E_{\text{бат}} = E_1 = E_2 = E_3 = E;$ $\frac{1}{r_{\text{бат}}} = m \cdot \frac{1}{r};$	 $E_{\text{бат}} = n \cdot E;$ $r_{\text{бат}} = \frac{n \cdot r}{m};$
Закон Ома для полной цепи		
$I = \frac{n \cdot E}{n \cdot r + R};$	$I = \frac{E}{\frac{r}{m} + R};$	$I = \frac{n \cdot E}{\frac{n \cdot r}{m} + R};$



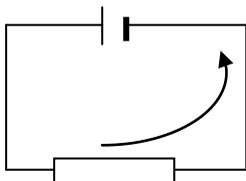
РАСЧЁТ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Расчет сложных (разветвленных) электрических цепей – это определение токов в различных ветвях цепи, если известны (заданы) сопротивления этих ветвей и значения всех ЭДС.

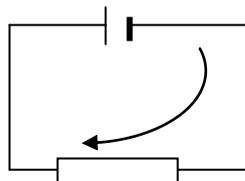
Узел $((\cdot)A)$ - это точка разветвления цепи, то есть точка, в которой пересекаются не менее трех проводников,



Ветвь – это часть цепи между двумя узлами.
Правило знаков. Обход контура.



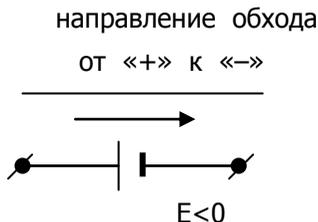
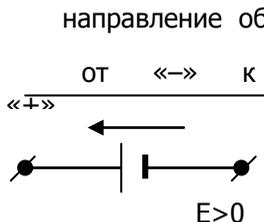
против часовой
стрелки $E > 0$



по часовой
стрелке $E < 0$

Внимание! Направление обхода контура студент выбирает произвольно (по желанию) по или против движения часовой стрелки.

Правило знаков



Если внутри источника тока направление обхода
от «-» к «+», то считает $ЭДС > 0$;
если от «+» к «-», то считают $ЭДС < 0$.

Если цепь содержит несколько последовательно соединен-



Естественные науки

ных элементов с ЭДС E_1, E_2, E_3 , то полная ЭДС цепи равна алгебраической сумме ЭДС отдельных элементов (надо учитывать правило знаков).

Пусть обход контура будет:

против часовой стрелки	по часовой стрелке
$E_{\text{бат}} - E_1 - E_2 + E_3$	$E_{\text{бат}} - E_1 + E_2 - E_3$

Пусть обход контура будет против часовой стрелки, тогда $E = E_1 - E_2 + E_3$.

Первое правило Кирхгофа (правило узлов):

- алгебраическая сумма токов в узле равна нулю.

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

где n – число проводников в узле.

Считают, что токи, которые втекают в узел, имеют положительный знак. Токи, которые вытекают из узла, имеют отрицательный знак.

Второе правило Кирхгофа (правило контуров):

В любом замкнутом контуре алгебраическая сумма произведений токов I_i на сопротивление R_i ветвей равна алгебраической сумме ЭДС всех источников, имеющих в контуре.

$$\sum_{i=1}^n I_i \cdot R_i = \sum_{i=1}^m E_i$$

где n – число ветвей в контуре;

m – число ЭДС в контуре.

Алгоритм расчета сложных электрических цепей по правилам Кирхгофа.

1. По желанию (произвольно) выбирают направление токов во всех ветвях.
2. Для k узлов в цепи записывают $(k - 1)$ независимых

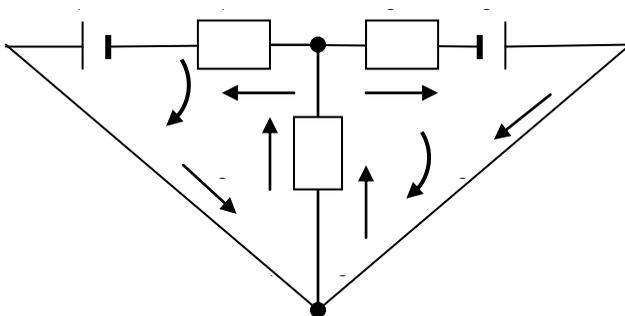


- уравнений первого правила Кирхгофа .
3. По желанию (произвольно) выбирают замкнутые контуры так, чтобы в каждом новом контуре была хотя бы одна ветвь, которой не было в старых (предыдущих) контурах, ранее выбранных контурах.
 4. По желанию (произвольно) выбирают направление обхода контура по часовой стрелке или против, но во всех контурах направление обхода должно быть одинаковое: по часовой стрелке или против.
 5. Записывают независимые уравнения второго правила Кирхгофа:
 - если направление обхода контура совпадает с направлением тока, то $I_i R_i > 0$, если противоположно, то $I_i R_i < 0$;
 - для определения знаков ЭДС используют правило знаков.
 6. Решают полученную систему уравнений относительно неизвестных токов.

Пример 1.

В электрическую цепь включен три сопротивления по 1кОм каждое и два источника тока с ЭДС $1,5\text{ В}$ и $1,8\text{ В}$. Определить силу тока во всех сопротивлениях.

Дано:



$$R_1 = R_2 = R_3 = 1\text{кОм} = 10^3\text{ Ом}$$

$$\varepsilon_1 = 1,5\text{ В}$$



$$\varepsilon_2 = 1,8B$$

Найти:

$$I_1 = ?; I_2 = ?; I_3 = ?$$

Решение:

Алгоритм расчёта цепи по правилам Кирхгофа

1. Произвольно выбираем направление токов на каждом участке цепи.
2. Цепь имеет два узла $(\cdot) A$ и $(\cdot) C$, следовательно, записываем одно уравнение первого правила Кирхгофа. Например, для узла $(\cdot) A$ $-I_1 - I_2 \cdot I_3 = 0$ (1)
3. Произвольно выбираем два контура ACBA и ADCA.
4. Произвольно выбираем направление обхода каждого контура. Пусть направление обхода будет по часовой стрелке.
5. Записываем уравнения второго правила Киргофа:

$$\text{Для контура ACBA} \quad -I_1 - R_1 - I_3 \cdot R_3 = -\varepsilon_1 \quad (2)$$

$$\text{Для контура ADCA} \quad I_2 - R_2 + I_3 R_3 = -\varepsilon_2 \quad (3)$$

6. Решаем систему трех уравнений (1), (2), (3). Учитываем, что $R_1 = R_2 = R_3 = R$

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I \cdot R_1 + I_3 \cdot R_3 = \varepsilon_1 \\ I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 = \varepsilon_2 \end{cases}$$

$$I_3 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{3R}; \quad I_3 = \frac{1,5 + 1,8}{3 \cdot 10^3} = 1,1 \cdot 10^{-3} \quad (A)$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_3 \cdot R}{R} \quad ;$$

$$I_2 = \frac{1,8 - 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1 - 10^3}{1 \cdot 10^3} = 0,7 \cdot 10^{-3} \quad (A)$$

$$I_1 = I_3 - I_2; \quad I_1 = (1,1 - 0,7) \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 10^{-3} \quad (A)$$

Ответ: $I_1 = 0,4mA$, $I_2 = 0,7mA$, $I_3 = 1,1mA$



Пример 2.

Два источника тока с ЭДС $\varepsilon_1 = 1,9В$ и $\varepsilon_2 = 1,1В$ и внутренним сопротивлением $r_1 = 0,8Ом$, $r_2 = 0,1Ом$ соединены параллельно. Внешнее сопротивление $R = 10Ом$. Определить силу тока во внешней цепи.

<p>Дано:</p> <p>$\varepsilon_1 = 1,9В$</p> <p>$\varepsilon_2 = 1,1В$</p> <p>$r_1 = 0,8Ом$</p> <p>$r_2 = 0,1Ом$</p> <p>$R = 10Ом$</p> <hr/> <p>Найти: $I = ?$</p>	
--	--

Алгоритм расчёта цепи по правилам Кирхгофа

1. Произвольно выбираем направление токов на каждой ветви цепи.
2. Цепь имеет два узла $(\cdot) К$ и $(\cdot) С$, следовательно, записываем одно уравнение первого правила Киргофа. Например, для узла $(\cdot) К$ $I_1 + I_2 \cdot I = 0$ (1)
3. Произвольно выбираем два контура АКСВА и АСДВА.
4. Произвольно выбираем направление обхода каждого контура. Пусть направление обхода будет против часовой стрелке.
5. Записываем уравнения второго правила Киргофа для контура АКСВА:

$$I_1 \cdot r_1 - I_2 \cdot r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$
 (2)
 Для контура АСДВА $I_1 \cdot r_1 + I \cdot R = \varepsilon_1$ (3)
6. Решаем систему трех уравнений (1), (2), (3).



$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I = 0 \\ I_1 \cdot r_1 - I_2 \cdot r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \\ I_1 \cdot r_1 + I \cdot R = \varepsilon_1 \end{cases}$$

В результате получаем:

$$I_3 = \frac{\varepsilon_1 \cdot r_2 + \varepsilon_2 \cdot r_1}{R(r_1 + r_2) + r_1 \cdot r_2};$$

$$I_3 = \frac{1,9 + 0,1 + 1,1 \cdot 0,8}{10(0,8 + 0,1) + 0,8 \cdot 0,1} = \frac{0,19 + 0,88}{9 + 0,08} \approx 0,1 \quad (\text{A})$$

Ответ: $I_1 = 0,1A$.