

Занятие 15. Постоянный электрический ток. Законы Ома. Закон Джоуля–Ленца.

1. Сила тока

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad A, \quad (1)$$

2. Закон Ома для однородного участка цепи

$$I = (\varphi_1 - \varphi_2) / R = U / R \quad (2)$$

3. Сопротивление проводника

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3)$$

где ρ - удельное сопротивление материала проводника, S - площадь поперечного сечения, а l - длина проводника.

4. Зависимость сопротивления проводника от температуры

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad \rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad (4)$$

5. Соединение сопротивлений

5.1. параллельное

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad U = U_1 = U_2, \quad I = I_1 + I_2 \quad (5)$$

5.2. последовательное

$$R = R_1 + R_2, \quad U = U_1 + U_2, \quad I = I_1 = I_2 \quad (6)$$

6. Закон Джоуля–Ленца

$$Q = I^2 R t, \quad U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (7)$$

7. Мощность тока на однородном участке цепи

$$W = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (8)$$

8. Закон Ома для неоднородного участка цепи

$$I = (\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}) / (R + r), \quad (9)$$

где ε_{12} - ЭДС участка цепи 12, r - внутреннее сопротивление источника тока, R - сопротивление проводника на участке 12.

9. Закон Ома для полной (замкнутой) цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (10)$$

где R - внешнее сопротивление цепи, r - внутреннее сопротивление источника тока, ε - электродвижущая сила источника тока.

10. Полная мощность источника тока

$$W_\varepsilon = \varepsilon I \quad (11)$$

11. Переданная во внешнюю цепь полезная мощность

$$W = UI \quad (12)$$

12. Потерянная в источнике тока мощность

$$W_r = I^2 r \quad (13)$$

13. Мощность тока в цепи

$$\varepsilon I = UI + I^2 r \quad (14)$$

14. Коэффициент полезного действия источника тока

$$\eta = \frac{W}{W_\varepsilon} = \frac{R}{R + r} \quad (15)$$

15. Закон Джоуля–Ленца

$$16. \quad Q = U_{12} I t, \quad Q = R I^2 t, \quad Q = \frac{U_{12}^2}{R} t \quad (16)$$

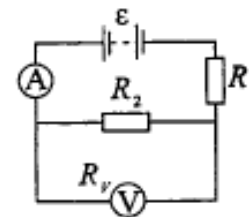
Примеры решения задач

1. Напряжение U на шинах электростанции равно 6600 В. Потребитель находится на расстоянии $l = 10$ км. Определить площадь поперечного сечения медного провода, который следует взять для устройства двухпроводной линии передачи, если сила тока в линии равна $I = 20$ А и потери напряжения в проводах не должны превышать $\eta = 0.03$. Удельное сопротивление медного провода $\rho = 1.7 \times 10^{-8}$ Ом·м.

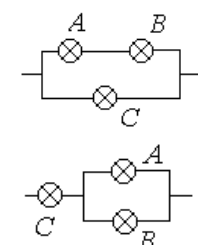
Решение

Внешнее сопротивление цепи состоит из сопротивления нагрузки R_0 и сопротивления подводящих проводов R_1 , полное внешнее сопротивление равно $R = R_0 + R_1$. По условию потери напряжения в линии передачи должны не превышать 3%, тогда это условие запишется в виде $(U - U_0) / U \leq \eta$. Согласно закону Ома для участка цепи $U - U_0 = I R_1$, $I R_1 / U \leq \eta$, $R_1 \leq \eta U / I$. Учитывая (3), получаем расчетную формулу для площади S поперечного сечения подводящего провода $S \geq \rho I^2 l / \eta U = 3.43 \times 10^{-5}$ м².

Ответ: $S \geq 34.3$ мм².



2. Имеются три 110-вольтных электрические лампочки мощности которых $P_A = P_B = 40$ Вт, $P_C = 80$ Вт. Как надо включить эти лампочки, что они давали нормальный накал при напряжении в сети $U_0 = 220$ В? Начертите схему. Найдите токи I_A , I_B , I_C , текущие через лампочки при нормальном накале. $U_{A,B,C} = 110$ В.



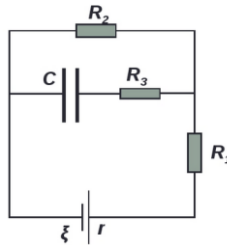
Решение

Лампочки А, В, С характеризуются электрическим сопротивлением, равным $R_{A,B} = U_A^2 / P_A = 302.5$ Ом, $R_C = U_C^2 / P_C = 151.25$ Ом, а нормальный накал через лампочки обеспечивает ток равный $I_{A,B}^* = P_A / U_1 = 40 / 110 = 0.364$ А, $I_C^* = P_C / U_1 = 0.727$ А. Сначала рассмотрим схему и рассчитаем токи, текущие через лампочки: $I_1 = U_0 / (R_A + R_B) = 0.364$ А, а ток через лампочку С равен $I_2 = U_0 / R_C$, $I_2 = 1.45$ А, то есть в два раза выше ток чем ток номинала, скорей всего лампочка перегорит. Рассмотрим вторую схему, показанную на рисунке. Ток, проходящий через лампочку С, равен $I_3 = U_0 / R_3$, где полное сопротивление

$R_3 = R_C + R_A R_B / (R_A + R_B) = 302.5 \text{ Ом}$, $I_3 = 0.727 \text{ А}$. Одинаковые токи через лампочки А и В равны $I_A = I_B = I_3 / 2 = 0.364 \text{ А}$. Таким образом, все три лампочки будут запитаны токами, обеспечивающих нормальный накал лампочек.
Ответ: $I_A = I_B = 0.364 \text{ А}$, $I_C = I_3 = 0.727 \text{ А}$.

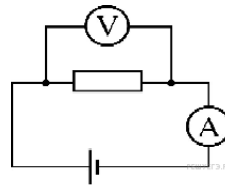
Самостоятельная аудиторная работа.

1. В электрическую сеть включены последовательно плитка и реостат, сопротивления которых равны 50 и 60 Ом соответственно. Определите напряжение на реостате, если напряжение на плитке 75 В.
2. ЭДС источника тока 6 В. При внешнем сопротивлении 1 Ом сила тока в цепи 3 А. Найти силу тока короткого замыкания.
3. При подключении к источнику тока сопротивления $R_1 = 16 \text{ Ом}$ сила тока в цепи $I_1 = 1 \text{ А}$, а при подключении сопротивления $R_2 = 8 \text{ Ом}$ — сила тока $I_2 = 1.8 \text{ А}$. Найти внутреннее сопротивление и ЭДС батареи.
4. Конденсатор ёмкостью 2 мкФ присоединён к источнику постоянного тока с ЭДС 3,6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Сопротивление резисторов $R_1 = 4 \text{ Ом}$, $R_2 = 7 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$. Каков заряд на левой обкладке конденсатора?



5. Требуется изготовить нагревательную спираль для электрической плитки мощностью 500 Вт, предназначенной для включения в сеть с напряжением 220В. Сколько нужно взять для этого нихромовой проволоки диаметра 0.4 мм? Удельное сопротивление нихрома в нагретом состоянии 1.05 мкОм·м.

6. В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, вольтметр показывает значение напряжения 7 В, а амперметр — значение силы тока 3 А. Какое количество теплоты выделится в резисторе за 1 секунду? Измерительные приборы считать идеальными.



7. Элемент замыкают сначала на внешнее сопротивление $R_1 = 2 \text{ Ом}$, а затем на внешнее сопротивление $R_2 = 0.5 \text{ Ом}$. Найти ЭДС $\mathcal{E}$ элемента и его внутреннее сопротивление r , если известно, что в каждом из этих случаев мощность, выделяющаяся во внешней цепи, одинакова и равна $P = 2.54 \text{ Вт}$.
8. Объем 4.5 литров воды можно вскипятить, затратив электрическую энергию 500 кВт·час. Начальная температура воды 9°C. Найти КПД кипятильника
9. К источнику тока с ЭДС 2 В подключен конденсатор емкостью 1 мкФ. Какое тепло выделится в цепи в процессе зарядки конденсатора?

Задание на дом

1. За одну минуту через поперечное сечение проводника прошел заряд 100 Кл. При этом первые 10 с сила тока равномерно возрастала от нуля до некоторой величины I , а последние 10 с равномерно уменьшалась до нуля. Найдите силу тока I .
2. Аккумулятор замкнут на сопротивление 5 Ом. Для измерения силы тока в цепь включили амперметр с внутренним сопротивлением 2.5 Ом и он показал 2 А. Какова была сила тока в цепи до включения амперметра? Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.
3. Батарея подключена к сопротивлению 10 Ом, при этом сила тока в цепи 2 А. Если ту же батарею подключить к сопротивлению 20 Ом, сила тока будет 1.5 А. Найдите внутреннее сопротивление батареи.
4. Батарея для карманного фонаря состоит из трех последовательно соединенных элементов с ЭДС 1.5 В и внутренним сопротивлением 0.2 Ом каждый. Найдите силу тока, проходящего через лампу фонаря, если её сопротивление равно 0.9 Ом.
5. В плоском конденсаторе диэлектрик между пластинами промок и стал пропускать ток. При плотности тока 0.02 А/м^2 в диэлектрике каждую секунду выделялось 10 Дж/м^3 теплоты. Чему равна напряженность электрического поля в конденсаторе?
6. ЭДС батареи аккумуляторов 12 В, сила тока короткого замыкания 5 А. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

Литература

- [1]. Баранов А. В. Физика. Теория, задачи, тесты: учеб. пособие / Б. Б. Горлов, А. В. Баранов, Г. Е. Невская Г.Е. — : Издательство НГТУ, 2006. — 280 с.
- [2]. Трофимова Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. — 11-изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 560 с.
- [3]. Трофимова Т. И. Физика в таблицах и формулах Учеб. пособие для студентов вузов / Т. И. Трофимова. — М.: Дрофа, 2002. — 432 с.