

§ 19. Закон Джоуля-Ленца. Энергетические превращения в электрической цепи

Для любого участка цепи, даже содержащего эдс, справедлив закон **Джоуля-Ленца**: количество теплоты, выделяемое на участке цепи с сопротивлением R при прохождении постоянного тока I в течение времени t , есть $W = I^2 R t$.

Отсюда мощность выделяемого тепла $P = W / t = I^2 R$.

Пусть на участке 1-2 идет постоянный ток I , перенося за время t от т. 1 к т. 2 заряд $q = It$.

Работой тока на участке 1-2 называется работа сил электростатического поля по перемещению q из т. 1 в т. 2: $A_T = q(\varphi_1 - \varphi_2)$.

Обозначим разность потенциалов (напряжение) $\varphi_1 - \varphi_2$ через U . Тогда $A_T = qU = UI t$. В зависимости от знака U получается и знак A_T .

Мощность тока $P_T = A_T / t = UI$.

Работой источника с эдс \mathcal{E} при прохождении через него заряда q называется работа сторонних сил над зарядом q : $A_{ист} = \pm q \mathcal{E}$.

Если заряд переносится постоянным током I , то $A_{ист} = \pm \mathcal{E} I t$.

Когда заряд (ток) через источник идет в направлении действия сторонних сил, то работа источника положительна (он отдает энергию). Аккумулятор в таком режиме разряжается. При обратном направлении тока работа источника отрицательна (он поглощает энергию). В этом режиме аккумулятор заряжается, запасая энергию. Мощность источника

$$P_{ист} = A_{ист} / t = \pm \mathcal{E} I.$$

Для участка цепи 1-2, содержащего эдс (источник), работа тока A_T , работа источника $A_{ист}$ и выделяемое количество теплоты W связаны уравнением закона сохранения энергии: $A_T + A_{ист} = W$.

Для участка цепи без эдс $A_{ист} = 0$, $A_T = W$ и количество теплоты равно работе тока. В этом случае количество теплоты можно выразить, используя закон Ома $I = U / R$, через любые две из трех величин: I , U и R :

$$W = A_T = I^2 R t = UI t = \frac{U^2}{R} t.$$

Аналогичное соотношение и для мощностей: $P_T = I^2 R = UI = \frac{U^2}{R}$.

Задача 19.1. Найти количество теплоты, выделяющееся на внутреннем сопротивлении каждого аккумулятора и на резисторе R за время $t = 10$ с в схеме на рис. 17.1. Какие работы совершают аккумуляторы за это время? $\mathcal{E}_1 = 12$ В, $\mathcal{E}_2 = 3$ В, $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 2$ Ом, $R = 6$ Ом.

Решение. Ток $I = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)/(R + r_1 + r_2) = 1$ А. Количество теплоты на аккумуляторах и на резисторе

$$W_1 = I^2 r_1 t = 10 \text{ Дж}, \quad W_2 = I^2 r_2 t = 20 \text{ Дж}, \quad W = I^2 R t = 60 \text{ Дж}.$$

Направление действия эдс первого аккумулятора совпадает с направлением тока, он разряжается, его работа положительна: $A_1 = \mathcal{E}_1 I t = 120$ Дж. Эдс второго аккумулятора направлена против тока, он заряжается поглощая энергию, его работа отрицательна: $A_2 = -\mathcal{E}_2 I t = -30$ Дж.

Заметим, что $A_1 + A_2 = W_1 + W_2 + W$, что согласуется с законом сохранения энергии.

Задача 19.2. Конденсатор емкости C , заряженный до напряжения \mathcal{E} , подключается к батарее с эдс $3\mathcal{E}$ (рис. 19.1). Какое количество теплоты выделится в цепи после замыкания ключа?

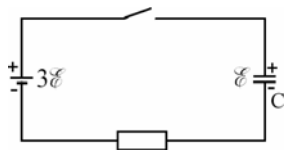


Рис. 19.1

Решение. После замыкания ключа ток в цепи скачком достигает некоторого значения и затем спадает до нуля, пока конденсатор не зарядится до напряжения $3\mathcal{E}$. Энергия конденсатора увеличится на $\Delta W_C = C(3\mathcal{E})^2/2 - C\mathcal{E}^2/2 = 4C\mathcal{E}^2$. Через батарею пройдет заряд Q , равный изменению заряда на верхней обкладке конденсатора: $\Delta q = 3C\mathcal{E} - C\mathcal{E} = 2C\mathcal{E}$. Работа батареи $A = \Delta q 3\mathcal{E} = 6C\mathcal{E}^2$. По закону сохранения энергии $A = \Delta W_C + W$. В цепи выделится количество теплоты $W = A - \Delta W_C = 2C\mathcal{E}^2$.