

Измеряя ток I_r в диагонали неравновесного моста, можно найти абсолютное (Δr) и относительное ($\Delta r/r$) изменение сопротивления тензометра и отградуировать I_r непосредственно в единицах деформации детали или приложенного к ней напряжения.

Для измерения с помощью тензометров быстропеременных деформаций и напряжений гальванометр в диагонали моста заменяют специальным записывающим электрическим прибором — шлейфовым осциллографом. Ввиду малости возникающих в диагонали напряжений $U_p = I_r R_p$, они предварительно усиливаются.

§ 18. Работа, мощность и тепловое действие тока

Рассмотрим участок цепи, не содержащий э. д. с. (рис. 2.16, а). На этом участке приложена разность потенциалов $U_{1,2}$ и идет ток I . За некоторый промежуток времени t через участок пройдет заряд $q = It$. При этом силы электрического поля совершают работу по переносу заряда q от точки с более высоким к точке с более низким потенциалом:

$$A = (\varphi_1 - \varphi_2) q = U_{1,2} It. \quad (18.1)$$

В соответствии с законом Ома (15.3) эту работу можно выразить через сопротивление участка R :

$$A = IU_{1,2}t = I^2 R t = \frac{U_{1,2}^2}{R} t. \quad (18.2)$$

Если на участке цепи находится источник тока (рис. 2.16, б), то при переносе заряда q работу совершают как силы электрического поля, так и сторонние силы:

$$A = (U_{1,2} + \mathcal{E}) It. \quad (18.3)$$

Используя закон Ома (16.6) для такого участка, можно привести (18.3) к виду, аналогичному (18.2):

$$A = (U_{1,2} + \mathcal{E}) It = I^2 R_{1,2} t. \quad (18.4)$$

В случае замкнутой цепи (2.16, в) из двух слагаемых работы

$$A = U_{1,2} It + \mathcal{E} It$$

первое обращается в нуль, так как полное падение потенциала $U_{1,2}$ во всей цепи равно нулю. Поэтому

$$A = \mathcal{E} It = I^2 R_{\text{полн}} t, \quad (18.5)$$

где $R_{\text{полн}}$ выражается формулой (16.7).

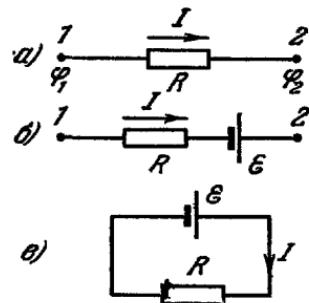


Рис. 2.16.

Интересно отметить, что полная работа электрических сил $U_{1,2}It$ в замкнутой цепи равна нулю, так как в одной части цепи ток течет по полю, а в другой части — против поля. Внутри источника тока работают сторонние силы; они разделяют заряды, создают электрическое поле и запасают энергию. Эта энергия расходуется во внешней цепи на поддержание в ней электрического тока. Поэтому в конечном счете в замкнутой цепи совершают работу (18.5) только приложенная э. д. с.

Работа, совершаяя за единицу времени:

$$\frac{A}{t} = P, \quad (18.6)$$

есть выделяемая мощность. Для участка цепи

$$P = IU_{1,2} + I\mathcal{E}. \quad (18.7)$$

Для всей цепи

$$P_{\text{полн}} = I\mathcal{E}. \quad (18.8)$$

Наконец, мощность, выделяемая во внешней цепи,

$$P_{\text{вн}} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}. \quad (18.9)$$

В системе СГС работа измеряется в эргах, а мощность — в эрг/сек. В системе СИ ток измеряется в амперах, напряжение — в вольтах, работа

$$\begin{aligned} [A] &= [IUt] = \\ &= 3 \cdot 10^9 \text{ СГС ед. тока} \cdot \frac{1}{300} \text{ СГС ед. потенциала} \cdot 1 \text{ сек} = \\ &= 10^7 \text{ эрг} = 1 \text{ дж.} \end{aligned}$$

Соответственно мощность в этой системе измеряется в единицах дж/сек = вт.

Для поддержания в цепи постоянного тока необходимо совершать работу A ; энергия электрического тока в проводнике непрерывно расходуется и переходит в другие формы энергии. Действительно, опыт показывает, что *проводник, по которому течет ток, нагревается* и в нем выделяется некоторое количество тепла Q . Если при этом не возникает никаких других форм энергии (например, нет химических превращений, совершаемых током), то по закону сохранения энергии

$$A = Q. \quad (18.10)$$

Следовательно, во внешней цепи выделяется в форме тепловой энергии

$$IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R} t \text{ дж.}$$

Поскольку $1 \text{ дж} = 0,24 \text{ кал}$, то

$$Q = 0,24I^2Rt \text{ кал}, \quad (18.11\text{a})$$

или

$$Q = 0,24UIt \text{ кал}, \quad (18.11\text{б})$$

или же

$$Q = 0,24 \frac{U^2}{R} t \text{ кал}. \quad (18.11\text{в})$$

Эти соотношения выражают закон Джоуля—Ленца. На рис. 2.17 изображена установка Ленца (1844 г.). Перевернутый стакан закрыт пробкой и заполнен спиртом. Через пробку введены толстые проводники, подводящие ток к находящейся внутри стакана спиральной. Сверху через специальное отверстие вставлен термометр T , измеряющий температуру спирта.

При пропускании через спираль в течение некоторого времени определенного тока I спирт нагревается от начальной температуры T_1 до температуры T_2 . Зная теплоемкость всей массы спирта C , можно определить количество тепла, приобретенное спиртом:

$$Q = C(T_2 - T_1). \quad (18.12)$$

Для компенсации теплообмена спирта с окружающей средой Ленц применял исключительно остроумный и простой метод. Он наливал в свой стакан-калориметр холодный спирт с температурой T_1 , на несколько градусов ниже температуры окружающей среды T_0 . Пропуская ток и нагревая спирт, Ленц прекращал опыт в тот момент, когда температура спирта T_2 превышала температуру окружающей среды ровно на столько градусов, на сколько она первоначально была ниже, т. е. на

$$T_2 - T_0 = T_0 - T_1.$$

Таким образом, за первую половину опыта, пока спирт был холоднее окружающей среды, он получал от последней некоторое дополнительное количество тепла Q' . Но зато во вторую половину опыта, когда спирт становился теплее окружающей среды, он отдавал последней обратно ровно такое же количество тепла Q' . Следовательно, измеренное Ленцем тепло Q в точности было равно количеству тепла Q , выделенному электрическим током.

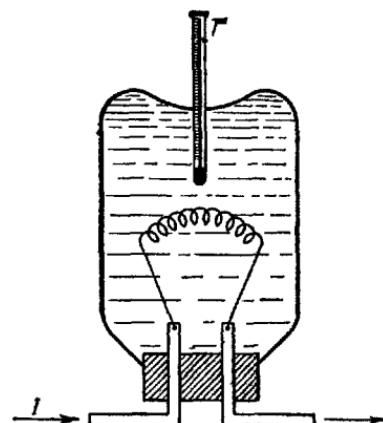


Рис. 2.17.

В результате исключительно точных для своего времени опытов Ленц доказал, что выделяющееся тепло Q прямо пропорционально квадрату тока I .

Если соединить последовательно два проводника с различными сопротивлениями, то по этим проводникам будет идти одинаковый ток I . Тогда согласно (18.11а) в проводнике с большим сопротивлением будет выделяться большее количество тепла.

Это следует учитывать при включении электронагревательных приборов (электроплиток, утюгов, чайников и т. д.). Сопротивление электропроводки R_0 должно быть значительно меньше, чем сопротивление прибора R . При соблюдении этого условия выделение тепла в проводах будет очень мало, следовательно, опасность их воспламенения будет исключена. Кроме того, напряжение сети U_0 будет практически целиком приложено к прибору, так как падение напряжения на электропроводке IR_0 пренебрежимо мало. Следовательно, для расчета теплоотдачи электроприбора следует пользоваться формулой (18.11в):

$$Q = \frac{U_0^2}{R} \text{ дж.}$$

В рассмотренном случае $Q \sim 1/R$, так что мощность электроплитки увеличивается при уменьшении R , т. е. при укорочении ее спирали. Отметим еще раз, что это справедливо до тех пор, пока R остается большой величиной по сравнению с сопротивлением электропроводки R_0 .

Иначе обстоит дело, если в цепь включено очень малое по сравнению с R_0 и R сопротивление ΔR . Падение напряжения на таком сопротивлении ничтожно, и ток I в цепи определяется лишь сопротивлением проводки R_0 и приборов большого сопротивления R : $I = U_0/(R + R_0) \approx U_0/R$. Следовательно, для расчета количества тепла, выделяемого на ΔR , следует пользоваться формулой (18.11а):

$$\Delta Q = I^2 \Delta R \text{ дж.}$$

В этом случае тепловая мощность $\Delta Q/t$ определяется только током в цепи I .

Выполняя такое сопротивление из тонкой проволочки длины Δl и поперечного сечения S , мы видим, что

$$\Delta Q = I^2 Q \frac{\Delta l}{S} t,$$

или

$$\frac{\Delta Q}{\Delta l} = I^2 Q \frac{t}{S},$$

т. е. количество тепла, выделяющееся на единицу длины проволочки, тем больше, чем меньше ее сечение. При некотором крити-

ческом токе I_{kp} тепла в проволочке выделится так много, что она расплавится и разомкнет последующую цепь. На этом принципе основано действие плавких предохранителей, обычно называемых «пробками», которые ограничивают ток в цепи. Если сечение проволочки предохранителя будет взято слишком большим («жучок»), то предохранитель будет пропускать, не расплавляясь, слишком большие токи, опасные для всей проводки.

Если сопротивление R прибора неизвестно, то, определяя ток через прибор I и напряжение на его контактах U (с помощью амперметра и вольтметра), находят Q по формуле (18.11б).

При соединении ряда приборов необходимо помнить следующее.

а) При параллельном соединении приборов на зажимах всех приборов будет одинаковое напряжение U_0 . Следовательно, наибольшую мощность будет, согласно (18.11в), отдавать прибор с наименьшим сопротивлением.

б) При последовательном соединении приборов ток I , текущий через них, будет одним и тем же ($I=U_0/(R_1+R_2+R_3+\dots)$), где R_1 , R_2 и т. д.— сопротивления первого, второго и т. д. приборов). Наибольшую мощность будет отдавать, согласно (18.11а), прибор с наибольшим сопротивлением.

При нагревании тел электрическим током до высокой температуры часть выделяемой им энергии уходит с отдаваемым телом излучением, например светом. Это используется в так называемых электрических лампах накаливания. На рис. 2.18 изображена первая лампа накаливания, изготовленная А. Н. Ладыгиным. В стеклянную колбу впаяны два толстых медных электрода малого сопротивления, соединенных между собой угольным стерженьком. При пропускании тока тепло выделяется главным образом в угольном стерженьке, имеющем относительно высокое сопротивление; стерженек накаливается и испускает свет. Часть угля при этом сгорает до тех пор, пока не израсходуется имеющийся в баллоне кислород воздуха. Впоследствии в лампах накаливания угольная нить была заменена вольфрамовой, допускающей более высокую температуру нагрева.

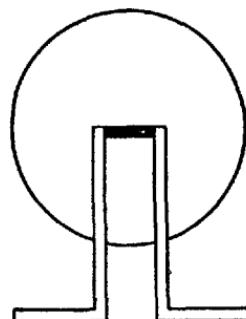


Рис. 2.18.