

Работа 3.8

Исследование энергетических соотношений в цепи постоянного тока

Оборудование: источник постоянного тока, магазин сопротивлений, миллиамперметр, цифровой электронный вольтметр, ключ, соединительные провода.

Введение

В неразветвленной цепи, содержащей источник ЭДС \mathcal{E} (рис. 3.31), величина тока определяется выражением:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad (1)$$

где r — внутреннее сопротивление источника тока, R — сопротивление внешней части цепи (нагрузки).

Полная мощность равна сумме мощностей, выделяющихся на внешнем R и внутреннем r сопротивлениях:

$$P = I^2 R + I^2 r. \quad (2)$$

Мощность, которая выделяется на внешнем сопротивлении (нагрузке), называется *полезной мощностью*

$$P_R = I^2 R = UI. \quad (3)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) источника тока

$$\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{I^2 R}{I^2 R + I^2 r} = \frac{R}{R + r} \quad (4)$$

зависит от величины сопротивлений R и r и всегда меньше единицы:

$$\eta = \frac{R}{R + r} < 1,$$

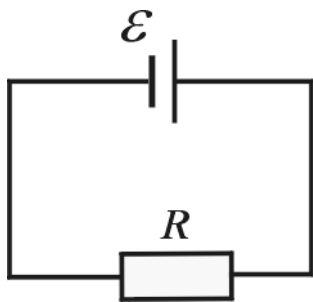


Рис. 3.31

так как внутренне сопротивление всегда отличается от нуля.

Для данного источника тока внутреннее сопротивление r является величиной постоянной, поэтому полная мощность P , полезная мощность P_R и коэффициент полезного действия являются функциями внешнего сопротивления цепи R .

Действительно, если соотношение (1) подставить в (2), то с учетом (4) получим:

$$P = I^2 (R + r) = \frac{\mathcal{E}^2}{(R + r)^2} (R + r) = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r}, \quad (5)$$

$$P_R = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2}{(R+r)^2} R, \quad (6)$$

$$\eta = \frac{R}{R+r}. \quad (7)$$

Определим, при каком сопротивлении R полезная мощность будет максимальной. Для этого необходимо найти максимум функции

$$P_R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R+r)^2},$$

то есть определить условия, при которых

$$\frac{dP_R}{dR} = \frac{\mathcal{E}^2 (R+r)^2 - \mathcal{E}^2 (R+r) 2R}{(R+r)^4} = \frac{\mathcal{E}^2 (r-R)}{(R+r)^3} = 0.$$

Величины R и r всегда положительные, поэтому это равенство выполняется лишь при условии, когда $R = r$. Если определить знак второй производной $\frac{d^2 P_R}{dt^2}$, то можно убедиться, что при $R = r$ мы на самом деле имеем максимум, а не минимум.

Таким образом, мощность, которая выделяется во внешней цепи, достигает максимального значения, когда сопротивление внешней цепи равно внутреннему сопротивлению источника тока. Из отношений (5), (6) и (7) следует, что при изменении внешнего сопротивления R от бесконечности (цепь разомкнута) до нуля (короткое замыкание) полезная мощность сначала возрастает, а затем уменьшается. Полная мощность при этом возрастает от нуля до максимального значения.

КПД равен нулю при $R = 0$, равен 0,5 при $R = r$ и стремится к единице при неограниченном увеличении R .

В данной работе нужно построить графики зависимости: $P = f(R)$, $P_R = f(R)$ и $\eta = f(R)$.

При вычислении полной мощности удобно использовать формулу:

$$P = I\mathcal{E}, \quad (8)$$

которую можно получить, если подставить значение I (1) в (2). Полезную мощность можно вычислить по формуле (3):

$$P_R = IU. \quad (9)$$

Подставив соотношения (8) и (9) в формулу (4), получим:

$$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}}. \quad (10)$$

Целью работы является изучение зависимости величины полной и полезной мощности, а также коэффициента полезного действия источника тока от сопротивления нагрузки.

Описание установки и метода. Для выполнения работы собирают схему согласно рис. 3.32. В качестве источника тока используется аккумулятор. Ток в цепи изменяется с помощью магазина сопротивлений Р-33 и измеряется миллиамперметром, который рассчитан на номинальный ток 50 мА.

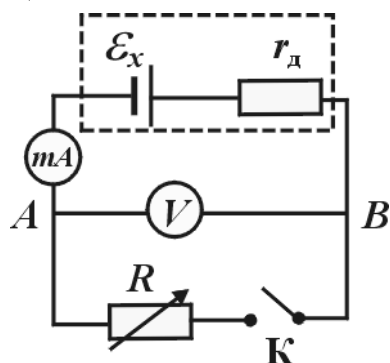


Рис. 3.32

Поскольку внутреннее сопротивление аккумулятора мало по сравнению с сопротивлением контактов и соединительных проводов, то для выполнения условия $r > R$ последовательно с источником тока включено дополнительное сопротивление. Это сопротивление вместе с сопротивлением миллиамперметра (рис. 3.32) образуют эквивалентное внутреннее сопротивление источника.

Точки A и B (рис. 3.32) можно рассматривать как зажимы источника тока. Тогда участок цепи, расположенный ниже этих точек, образует внешнюю цепь исследуемого источника.

Для измерения напряжения используются цифровой электронный прибор М890G с большим входным сопротивлением, что дает возможность измерить ЭДС источника тока, так как при разомкнутом ключе K показание вольтметра с достаточной точностью можно считать равным ЭДС.

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте электронный цифровой прибор М890G для измерения напряжения до 2 В и прибор Щ4313 для измерения тока до 50 мА. Соберите схему в соответствии с рис. 3.32.

2. При разомкнутом ключе K запишите показание цифрового вольтметра (считать, что $U = \mathcal{E}$).

3. Изменяя сопротивление магазина R от нуля до 150 Ом через 10 Ом, каждый раз записывайте показания миллиамперметра I и вольтметра U . Результаты измерений запишите в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	\mathcal{E} , В	R , Ом	U , В	I , мА	P , мВт	P_R , мВт	P/P_{\max}	$P_R/(P_R)_{\max}$	η
-------	-------------------	----------	---------	----------	-----------	-------------	--------------	--------------------	--------

4. Для каждого значения R рассчитайте P , P_R и η по формулам (8), (9) и (10). Результаты запишите в таблицу 1.

5. Постройте графики $P = f(R)$, $P_R = f(R)$, $\eta = f(R)$. Более удобно построить графики в нормировочном виде, это значит на оси ординат отложить не значения P и P_R , а P/P_{\max} и $P_R/(P_R)_{\max}$, где P_{\max} и $(P_R)_{\max}$ — максимальные значения полной и полезной мощности соответственно.

6. Используя графики $P/P_{\max} = f(R)$ и $P_R/(P_R)_{\max} = f(R)$, определите внутреннее сопротивление r источника тока. Для этого найдите значение внешнего сопротивления R , при котором полезная мощность максимальна, а коэффициент полезного действия $\eta = 0,5$. Найдите значение $R = r$.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. При каком условии КПД источника тока достигает максимального значения?
2. Что называется полезной мощностью?
3. При каком условии полезная мощность максимальна?
4. Запишите формулу для полной мощности.
5. Дайте определение ЭДС.
6. Почему нельзя измерить ЭДС вольтметром, потребляющим ток?
7. Каким вольтметром необходимо пользоваться, чтобы измерить ЭДС источника тока?
8. Почему всегда $\eta < 1$?
9. При каком значении внешнего сопротивления целесообразно использовать источник тока?
10. С какой целью в этой работе сопротивление аккумулятора искусственно увеличивается?