

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № П2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ИСТОЧНИКА ТОКА И ЕГО МОЩНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРУЗКИ

Цель работы: исследование зависимости коэффициента полезного действия источника тока, полной мощности и мощности, выделяемой во внешней цепи, от сопротивления внешней цепи; определение сопротивления внешней цепи, при котором мощность, выделяемая во внешней цепи, будет максимальной; определение внутреннего сопротивления исследуемого источника тока, определение ЭДС источника тока.

Оборудование: два источника тока с добавочными резисторами, амперметр, вольтметр, магазин резисторов, соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

Рассмотрим электрическую цепь постоянного тока, состоящую из источника тока с электродвижущей силой \mathcal{E} , внутренним сопротивлением r и сопротивлением внешней цепи R (рис. 1).

Полная мощность, выделяемая в такой цепи, равна сумме мощностей, выделяемых на внешнем и внутреннем участках цепи: $P = P_R + P_r$, где $P = I\mathcal{E}$ – мощность, выделяемая во всей цепи (полная мощность); $P_R = IU_R$ – мощность, выделяемая на внешнем участке цепи (полезная мощность); $P_r = IU_r$ – мощность, выделяемая внутри источника тока (потери мощности).

В этих формулах $U_R = IR$, и $U_r = Ir$ соответственно падения напряжения на внешнем и внутреннем участках цепи; I – сила тока, которая может быть найдена по закону Ома для замкнутой цепи,

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

Ток при коротком замыкании ($R = 0$) принимает максимальное значение

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{r}, \text{ откуда } r = \frac{\mathcal{E}}{I_{\text{к.з.}}} \quad (2)$$

Падение напряжение на внешнем участке, как следует из (4.1), есть функция тока $U_R = f(I)$, изменяющаяся по линейному закону

$$U_R = -rI + \mathcal{E}. \quad (3)$$

Когда $I \rightarrow 0$, $U_R \rightarrow \mathcal{E}$

Для мощности, выделяемой во всей цепи, получим

$$P = I\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r}. \quad (4.4)$$

Аналогично преобразуем выражение для мощности, выделяемой во внешней части цепи:

$$P_R = IU_R = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R+r)^2}. \quad (5)$$

Как видно из формул (4) и (5), мощность, выделяемая во внешней цепи, и полная мощность источника тока зависят от ЭДС источника, его внутреннего сопротивления и сопротивления внешней цепи. Так как ЭДС источника и его внутреннее сопротивление, являющиеся характеристиками источника тока, не изменяются, то можно сказать, что как полная мощность, так и мощность, выделяемая во внешней цепи, являются функциями сопротивления нагрузки R , т.е.

$$P_R = f_1(R), \quad P = f_2(R).$$

Так как при $R=0$ мощность $P_R=0$, а при $R \rightarrow \infty$ $P_R \rightarrow 0$, то функция $P_R = f_1(R)$ должна иметь хотя бы один максимум. Найдем R , при котором P_R принимает максимальное значение. Дифференцируя (5) по R и приравнявая нулю, получим:

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

Так как ЭДС источника $\mathcal{E} \neq 0$, то $R=r$.

Итак, выделяемая во внешней цепи мощность максимальна, если внешнее сопротивление цепи равно внутреннему сопротивлению источника тока.

Любой источник тока можно охарактеризовать коэффициентом полезного действия (КПД)

$$\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{IU_R}{I\mathcal{E}} = \frac{I^2 R}{I^2 (R+r)} = \frac{R}{R+r}. \quad (6)$$

Из формулы (4.6) видно, что КПД источника тока есть функция сопротивления внешней цепи: $\eta = \Psi(R)$.

Ранее было показано, что P_R принимает максимальное значение при $R = r$. При этом же равенстве сопротивлений внешней и внутренней частей цепи, как следует из (6), КПД источника составляет 50%.

Описание экспериментальной установки

Измерительная схема установки представлена на рис. 1.

Исследуемый источник напряжения представляет собой два последовательно соединенных источника тока с ЭДС \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 . Для искусственного увеличения внутреннего сопротивления между \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 включается добавочное сопротивление $r_{\text{доб}}$.

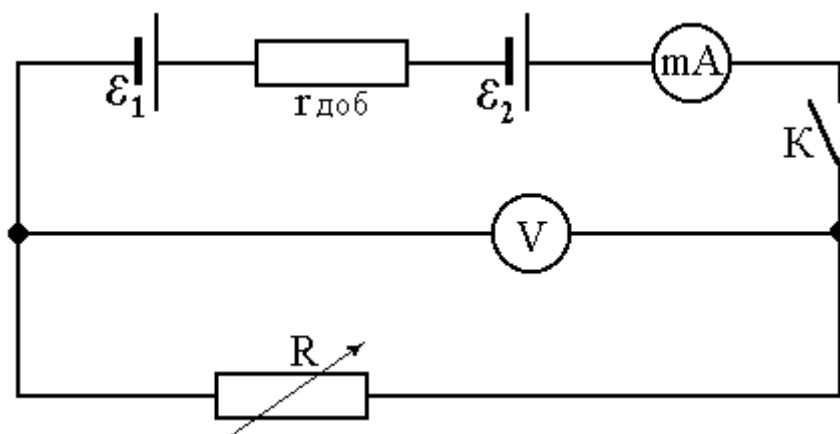


Рис. 1.

Миллиамперметр служит для измерения тока в цепи. Вольтметром измеряется напряжение во внешней цепи. Сопротивление внешнего участка цепи R изменяется с помощью магазина резисторов. ЭДС исследуемого источника тока и внутреннее сопротивление определяют по графику зависимости $U_R = f(I)$. Внутреннее сопротивление источника определяют, также, по графикам зависимости $P_R = f_1(R)$ и $\eta = \Psi(R)$. По графикам зависимости $P_R = f_1(R)$, $P = f_2(R)$ оцениваются потери мощности источника тока при некоторых значениях внешнего сопротивления (конкретное значение внешнего сопротивления указывает преподаватель).

Порядок выполнения работы

1. Собрать рабочую цепь по схеме рис. 1.
2. Включить магазин резисторов в цепь. Замкнув ключ K , измерить ток I в цепи и падение напряжения U_R на внешнем участке цепи R при различных значениях сопротивления резистора, изменяя R с шагом 50 Ом от 0 до 1000 Ом.

4. Данные занести в табл.1.

Таблица 1

№	\mathcal{E} , В	$r_{\text{доб}}$, Ом	R , Ом	I , А	U_R , В	P , Вт	P_R , Вт	η , %

5. Построить график зависимости падения напряжения U_R от тока I , который должен иметь вид линейной зависимости

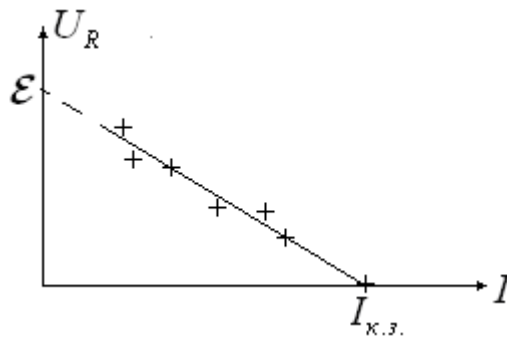


Рис. 4.2

6. По графику определить электродвижущую силу источника \mathcal{E} и её значение занести в таблицу.

7. По графику определить внутреннее сопротивление источника тока

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_{\text{к.з.}}}$$

8. Вычислить и занести в табл.4.1 полную мощность $P = I\mathcal{E}$, мощность, выделяемую во внешней цепи $P_R = IU_R$ и КПД источника $\eta = \frac{U_R}{\mathcal{E}}$. Вычисления произвести для всех значений R , взятых в эксперименте.

9. Построить графики зависимости КПД источника тока, полной мощности и мощности, выделяемой во внешней цепи, от внешнего сопротивления. (Оба графика мощности $P_R = f_1(R)$, $P = f_2(R)$ выполнить на одном чертеже).

10. По графикам $P_R = f_1(R)$ и $\eta = \Psi(R)$ определить внутреннее сопротивление исследуемого источника тока, воспользовавшись тем, что при $R = r$ КПД источника равен 50%, а мощность, выделяемая во внешней цепи, максимальна.

11. По графикам $P_R = f_1(R)$, $P = f_2(R)$ оценить потери мощности внутри источника тока при двух-трех значениях внешнего сопротивления, указанных преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Что называется ЭДС источника тока?
2. Почему при измерении ЭДС источника тока с помощью вольтметра надо выбрать вольтметр с большим внутренним сопротивлением?
3. Как определяется и от чего зависит мощность, выделяемая во внешней цепи? При каком условии она максимальна?
4. При каком условии максимальна полная мощность источника?
5. Вывести закон Ома для неоднородного участка цепи в интегральной форме. Получить из него выражения закона Ома для замкнутой (полной) цепи и однородного участка.
6. При каких R мощность на нагрузке равна половине полной мощности?
7. Какие силы называются сторонними? Привести примеры сторонних сил.
8. Как возникает ЭДС в гальванических элементах?
9. Какими величинами можно характеризовать источник тока и его действие в цепи?
10. Как можно измерить ЭДС источника тока?

Библиографический список

1. Курс физики: Учебник для вузов: В 2 т. Т. 1./ ред. В. Н. Лозовский. – СПб.: Лань, 2007. – § 2.28, 2.31, 2.33
2. Савельев, И.В. Курс общей физики в 3-х т. Т. 2 / И. В. Савельев. – М.: Наука, 2005. – § 34, 37, 38.
3. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высш. шк., 2001. – § 97, 98, 99.