

Лабораторная работа № 2.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ТОКА

Цель работы: изучение зависимостей тока, полной и полезной мощностей, коэффициента полезного действия источника от сопротивления нагрузки; определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника.

Оборудование: источник тока, амперметр, магазин сопротивлений.

Общие сведения

Источником тока называют устройство, предназначенное для создания тока в электрической цепи. В качестве источника тока могут выступать гальванический элемент, аккумулятор, электронный источник питания и т.д.

При подключении источника тока к электрической цепи свободные электроны внутри проводников приходят в упорядоченное движение, т.е. возникает электрический ток, сила которого равна

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad (2.3.1)$$

где dq – заряд, перенесенный через поперечное сечение проводника за время dt .

Силы, действующие на носители тока внутри источника, не могут быть электростатическими. Их называют сторонними силами. В качестве сторонних сил могут выступать силы вихревого электрического поля, созданного переменным магнитным полем, «химические» силы в аккумуляторах и гальванических элементах и др.

Каждый источник тока можно охарактеризовать с помощью величины, называемой электродвижущей силой (ЭДС) \mathcal{E} . По определению ЭДС равна

$$\mathcal{E} = \frac{\delta A_{\text{ст}}}{dq}, \quad (2.3.2)$$

где $\delta A_{\text{ст}}$ – работа сторонних сил, совершаемая на участке цепи при переносе заряда dq .

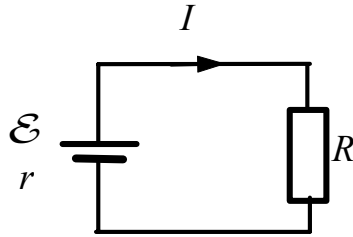


Рис. 2.3.1

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из источника тока с ЭДС \mathcal{E} и нагрузки с сопротивлением R (рис. 2.3.1). По закону Ома для замкнутой цепи сила тока равна

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad (2.3.3)$$

где r – внутреннее сопротивление источника.

С учетом определений (2.3.1), (2.3.2) найдем, что работа, совершенная сторонними силами (т.е. источником) за время dt при переносе заряда dq , равна

$$\delta A_{\text{ст}} = \mathcal{E} dq = \mathcal{E} I dt. \quad (2.3.4)$$

Мощностью называется величина, равная работе, совершаемой в единицу времени. Следовательно, мощность источника

$$P = \frac{\delta A_{\text{ст}}}{dt} = \frac{\mathcal{E} I dt}{dt} = \mathcal{E} I. \quad (2.3.5)$$

Выражая ЭДС из формулы (2.3.3), получим

$$P = I^2 (R + r) = I^2 R + I^2 r. \quad (2.3.6)$$

Таким образом, полная мощность источника P складывается из полезной мощности, выделяющейся в нагрузке,

$$P_{\text{н}} = I^2 R \quad (2.3.7)$$

и мощности, равной $I^2 r$, определяющей потери энергии в источнике.

Коэффициент полезного действия (КПД) источника равен отношению полезной мощности к полной:

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P} = \frac{I^2 R}{I^2 (R + r)} = \frac{R}{R + r}. \quad (2.3.8)$$

В соответствии с формулой (2.3.8) график зависимости КПД от сопротивления нагрузки имеет вид, показанный на рис. 2.3.2. При равенстве сопротивлений источника и нагрузки $R = r$ КПД равен 0,5

(т.е. 50 %). Если $R \gg r$, то КПД асимптотически стремится к единице (т.е. к 100 %).

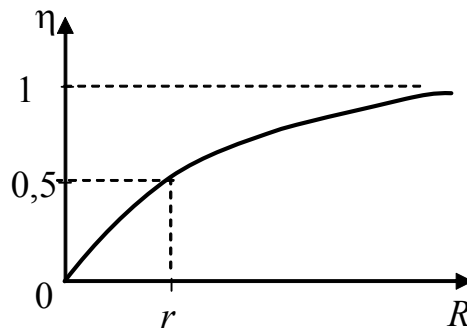


Рис. 2.3.2

Рассмотрим зависимость выражение полезной мощности от сопротивления нагрузки. Для этого в выражение (2.3.7) подставим силу тока из формулы (2.3.3). Получим

$$P_{\text{н}} = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2} . \quad (2.3.9)$$

При малых сопротивлениях нагрузки $R \ll r$ выражение (2.3.9) принимает вид

$$P_{\text{н}} \approx \frac{\mathcal{E}^2 R}{r^2} ,$$

т.е. полезная мощность пропорциональна R . При больших сопротивлениях нагрузки $R \gg r$ получим, что

$$P_{\text{н}} \approx \frac{\mathcal{E}^2}{R} ,$$

т.е. полезная мощность обратно пропорциональна R . Следовательно, график зависимости $P_{\text{н}}(R)$ должен иметь вид, показанный на рисунке 2.3.3. При некотором сопротивлении нагрузки полезная мощность должна иметь максимальное значение. Найдём, при каком значении R это происходит. Для этого исследуем функцию $P_{\text{н}}(R)$ вида (2.3.9) на экстремум. Полагая \mathcal{E} и r величинами постоянными, найдём производную $\frac{dP_{\text{н}}}{dR}$. Получим

$$\frac{dP_{\text{н}}}{dR} = \frac{d}{dR} \left(\frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2} \right) = \frac{\mathcal{E}^2 (r - R)}{(R + r)^3} .$$

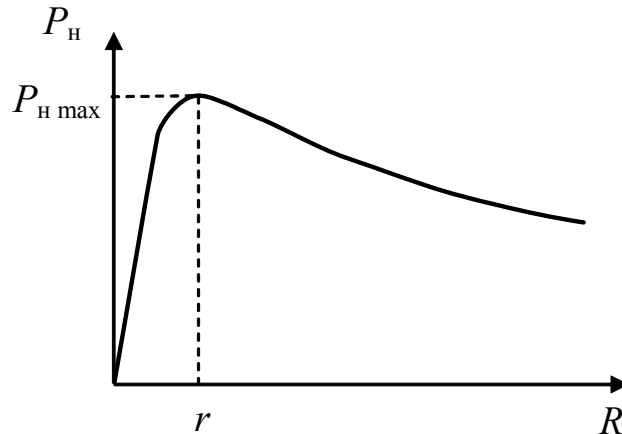


Рис. 2.3.3

В точке экстремума (в данном случае максимума) производная должна равняться нулю. Очевидно, что это произойдет при $R = r$, т.е. полезная мощность становится максимальной при равенстве сопротивлений источника и нагрузки. Такой режим работы называется режимом согласования источника и нагрузки. Мощность, выделяющаяся в нагрузке, при этом равна

$$P_{H \max} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r},$$

а КПД равен 0,5 (см. формулу (2.3.8)).

Очевидно что с увеличением R значение КПД стремится к 1. Однако при этом ток в нагрузке, а следовательно, и полезная мощность стремятся к нулю. Поэтому с практической точки зрения достижение η , близкого к 1, не представляет интереса.

Описание установки и метода измерений

Лабораторная установка состоит из источника тока, амперметра и магазина сопротивлений. Соединение приборов осуществляется по схеме, показанной на рис. 2.3.4. Сопротивление, набранное на магазине с помощью декадных переключателей, является сопротивлением нагрузки. При измерениях исследуется зависимость силы тока в цепи от сопротивления нагрузки $I(R)$. Результаты заносятся в таблицу.

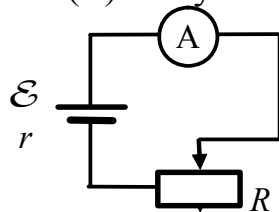


Рис. 2.3.4

Пусть R_1 и R_2 и соответствующие им I_1 и I_2 – результаты двух измерений. На основе (2.3.3) запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r}; \\ I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + r}. \end{cases}$$

Решая систему относительно \mathcal{E} и r , получим

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}, \\ r &= \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}. \end{aligned} \quad (2.3.10)$$

Таким образом, по результатам двух измерений можно вычислить ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

Порядок выполнения измерений

1. Получить у преподавателя допуск к выполнению работы и указания по значениям сопротивления нагрузки, для которых вы будете измерять силу тока.

2. Собрать цепь по схеме на рис. 2.3.4. С помощью декадных переключателей на магазине сопротивлений установить первое значение сопротивления нагрузки. После проверки схемы преподавателем включить питание источника тока.

3. Измерить силу тока для всех заданных вам значений сопротивления нагрузки. Результаты занести в табл. 2.3.1.

Таблица 2.3.1

№ изм.	R , Ом	I , А	P , Вт	$P_{\text{н}}$, Вт	η
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

4. Выключить питание источника. Предъявить результаты измерений преподавателю.

Обработка результатов измерений

1. Вычислить ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление источника r по формулам (2.3.10) для трех пар результатов измерений I и R . Для расчетов рекомендуется брать не соседние результаты.

2. Найти средние значения $\langle \mathcal{E} \rangle$, $\langle r \rangle$, абсолютные погрешности $\Delta \mathcal{E}$ и Δr по методу Корнфельда. Вычислить относительные погрешности $\delta \mathcal{E}$, δr (см. Приложение 2).

3. Записать окончательный результат для ЭДС \mathcal{E} и внутреннего сопротивления r .

5. Рассчитать P , P_n и η для всех значений R по формулам (2.3.5), (2.3.7) и (2.3.8), соответственно. Результаты занести в табл. 2.3.1.

6. Построить графики зависимостей $I(R)$, $P(R)$, $P_n(R)$, $\eta(R)$, откладывая по горизонтальной оси сопротивление нагрузки R .

Контрольные вопросы

1. Что такое сила тока, ЭДС? В каких единицах они измеряются?
2. Сформулируйте закон Ома для замкнутой цепи.
3. Обоснуйте формулу для расчета полной мощности источника $P = \mathcal{E}I$.

4. Изобразите график зависимости $P_n(R)$. Поясните, почему при некотором сопротивлении нагрузки полезная мощность должна быть максимальной.

5. Выведите условие согласования источника и нагрузки. Чему равна полезная мощность в режиме согласования?

6. Дайте определение КПД источника и получите для него расчетную формулу. Изобразите график зависимости $\eta(R)$. Чему равен КПД в режиме согласования?

7. Почему достижение КПД источника, близкого к единице, не имеет практического значения?

8. Поясните метод расчета \mathcal{E} и r по результатам измерений.