

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы – экспериментально получить зависимость напряжения на резисторе (с переменным сопротивлением) от силы тока в цепи; определить электродвижущую силу источника тока и его внутреннее сопротивление; рассчитать полезную и полную мощность источника тока и построить графики зависимости этих мощностей от тока; проверить, действительно ли максимум полезной мощности наблюдается при равенстве внешнего сопротивления цепи внутреннему сопротивлению источника.

Описание метода измерений и установки

Электрическая цепь состоит из батареи элементов с электродвижущей силой ε , внутренним сопротивлением r и резистора с переменным сопротивлением R (рис. 1).

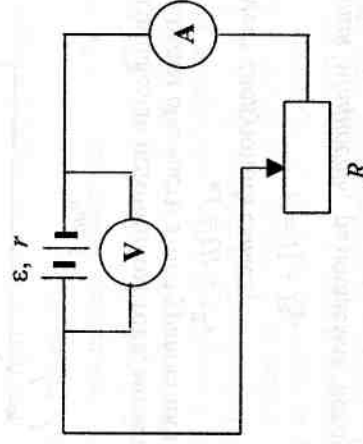


Рис. 1

Ток в цепи измеряется амперметром, напряжение на резисторе – вольтметром. В качестве резистора используется магазин сопротивлений (в дальнейшем сопротивлением амперметра пренебрегаем по сравнению с сопротивлением резистора). По закону Ома для замкнутой цепи

$$\varepsilon = IR + Ir, \quad (1)$$

Здесь $IR = U$ – падение напряжения на резисторе.

Из формулы (1) находим явную зависимость напряжения U от тока в цепи I :

$$U = \varepsilon - Ir. \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что зависимость U от I линейная (рис. 2), с увеличением тока напряжение падает. При разрыве цепи ($R = \infty$): $I = 0$, $U = \varepsilon$ – напряжение в разомкнутой внешней цепи. При коротком замыкании цепи ($R = 0$): $U = 0$, $I = I_{кз} = \varepsilon / r$ – ток короткого замыкания.

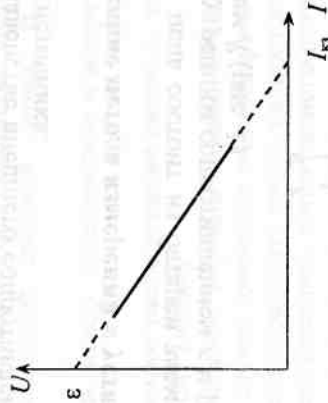


Рис. 2

Мощность, развиваемая источником тока, может быть получена из уравнения (1). Умножим обе части этого уравнения на силу тока I :

$$\varepsilon I = UI + I^2 r. \quad (3)$$

Это выражение имеет следующий смысл:

$$P = P_1 + P_2, \quad (4)$$

где $P = \varepsilon I$ – полная мощность, развиваемая источником; $P_1 = UI$ – «полезная» мощность (т. е. мощность, выделяющаяся на внешней нагрузке – резисторе); $P_2 = I^2 r$ – мощность потерь (потери мощности внутри источника)

В соответствии с (3) явная теоретическая зависимость полезной мощности от силы тока имеет вид

$$P_1(I) = I\varepsilon - I^2 r. \quad (5)$$

Зависимость $P_1(I)$ – параболическая, которую можно исследовать стандартными математическими методами. Легко найти, что у этой зависимости имеется максимум, который приходится на значение тока $I = I_0 = \varepsilon / 2r$. Такое значение тока имеет место при сопротивлении резистора $R = R_0 = r$.

Таким образом, от источника отбирается максимальная мощность на внешнюю нагрузку – резистор R , если сопротивление резистора равно внутреннему сопротивлению источника тока. При этом коэффициент полезного действия источника тока равен $\eta = P_1 / P = 0.5$, т. е. 50 %.

Задание к лабораторной работе

- * Исследовать функцию $P_1(I)$ на наличие экстремума. Найти значение тока I_0 , при котором имеет место экстремум функции. Убедиться, что $I_0 = \varepsilon / 2r$. Построить зависимость $P_1(I)$.
- * Показать, что значение тока $I = I_0$ имеет место при сопротивлении резистора $R = R_0 = r$.
- * Показать, что при $R = R_0 = r$ коэффициент полезного действия источника тока η равен 50 %.
- * Нарисовать ожидаемые зависимости $P(I)$, $P_1(I)$, $P_2(I)$.
- * Получить рабочую формулу для расчета погрешностей косвенных измерений полезной мощности P_1 по прямым измерениям напряжения U и тока I (максимальные приборные погрешности вольтметра и амперметра равны соответственно Δ_U и Δ_I).
- * Получить рабочую формулу для расчета погрешностей косвенных измерений полной мощности P по измерениям электродвижущей силы ε источника и тока I . Считать, что погрешность определения величины ε равна максимальной приборной погрешности вольтметра Δ_U .
- * Получить рабочую формулу для расчета погрешностей косвенных измерений мощности потерь P_2 .

Примечание. Задания, помеченные звездочкой, выполняются студентами дома.

8. В лаборатории экспериментально определить зависимость $U(I)$. Ток в цепи изменять, меняя сопротивление резистора R . Построить зависимость $U(I)$.

9. По найденной экспериментальной зависимости $U(I)$ определить электродвижущую силу ε источника тока, ток короткого замыкания $I_{кз}$ и внутреннее сопротивление r источника тока.

10. Если есть возможность, отключить внешнюю цепь и измерить электродвижущую силу ε источника тока непосредственно вольтметром. Это значение сравнить со значением, полученным по графику $U(I)$.

11. Рассчитать полную и полезную мощность, а также мощность потерь и построить зависимости $P(I)$, $P_1(I)$ и $P_2(I)$ на одном рисунке.

12. По графику зависимости $P_1(I)$ определить значение $I = I_0$, на которое приходится максимум полезной мощности P_1 . Полагая, что при этом $R = R_0 = r$, определить внутреннее сопротивление источника тока. Это значение сравнить со значением, полученным по графику $U(I)$.

13. Сделать выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Какова цель работы?
2. Что называется электродвижущей силой источника тока?
3. Какой ток называется током короткого замыкания?
4. Как определить электродвижущую силу ε источника тока по зависимости $U(I)$?
5. Как определить внутреннее сопротивление источника тока r по зависимости $U(I)$?
6. Как вычислить полезную мощность источника P_1 ?
7. Как вычислить погрешность определения полезной мощности источника P_1 ?
8. Как вычислить полную мощность источника P ?
9. Как вычислить погрешность определения полной мощности источника P ?
10. Как вычислить мощность потерь P_2 ?

11. Как вычислить погрешность определения мощности потерь P_2 ?

12. Каковы классы точности ваших приборов?

13. Как вычисляются максимальные приборные погрешности?

14. Получили ли вы теоретически ожидаемую зависимость $U(I)$?

15. Получили ли вы теоретически ожидаемую зависимость $P_1(I)$?

16. Получили ли вы теоретически ожидаемую зависимость $P(I)$?

17. Получили ли вы теоретически ожидаемую зависимость $P_2(I)$?

18. Что такое коэффициент полезного действия источника тока?

19. При какой нагрузке достигается максимум полезной мощности?

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2004.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. – М.: Астрель, 2001.
3. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Физматлит, 2003.

Лабораторная работа № 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

Цель работы – экспериментально определить удельный заряд электрона и сравнить результат с табличным значением.

Теория и описание метода измерений

Явление термоэлектронной эмиссии позволяет получить поток электронов, движущихся в вакууме практически без соударений. Когда электроны попадают в область действия электрического и магнитного полей, на них действует сила Лоренца:

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E} + e[\mathbf{v} \times \mathbf{B}], \quad (1)$$

где e – заряд электрона.

Комбинируя различными способами величинами, направления электрического и магнитного полей и изменяя скорость потока электронов, можно получить заданные траектории движения электронов.