

Проскурин Михаил Борисович

Студент Московского физико-технического института (МФТИ), II курс, факультет общей и прикладной физики, призёр Всероссийских олимпиад школьников по физике и Международной юниорской естественно-научной олимпиады (IJSO).



Исследование электрических чёрных ящиков на постоянном токе

Электрический чёрный ящик – это электрическая цепь, которая спрятана в непрозрачном корпусе, внутрь которого нет непосредственного доступа. Из корпуса выходят несколько выводов, подключая к которым различные электроизмерительные приборы и снимая их показания, можно определить схему цепи чёрного ящика и найти параметры элементов, входящих в цепь. В статье обсуждаются вольтамперные характеристики (ВАХ) базовых элементов чёрных ящиков, работающих на постоянном токе: резистора, лампочки, диода, стабилитрона. Показаны способы нахождения ВАХ последовательно и параллельно соединённых базовых элементов. Дается методика исследования (разгадывания) чёрных ящиков и приведён пример такого разгадывания.

1. Введение

В современном мире очень широко распространены различные электрические приборы. Для успешного ремонта этих приборов требуется знать их устройство и приёмы работы с ними. Но не всегда есть возможность увидеть, как именно устроен прибор. Однако это можно выяснить, используя знания о компонентах, из которых состоят сложные устройства. К сожалению, школьная программа почти не предусматри-

вает формирование навыков работы с различными компонентами электрических цепей, хотя они и очень важны. Поэтому задания с чёрными ящиками (ЧЯ) получили широкое распространение на экспериментальных турах физических олимпиад школьников. В этой статье на конкретных примерах показаны приёмы работы с чёрными ящиками в процессе исследования их свойств и характеристик.

2. Вольтамперная характеристика

Рассмотрим чёрные ящики, для изучения, которых используется постоянный электрический ток. Базо-

выми элементами их схем часто служат: резисторы, лампочки, диоды, стабилитроны, источники постоянно-

го тока (батарейки). Для исследования участков цепи, состоящих из базовых элементов, можно использовать построение ВАХ – вольтамперных характеристик, представляющих собой графики зависимости силы тока, протекающего через исследуемый элемент или участок цепи, от приложенного к нему напряжения. Заметим, что можно также строить график зависимости напряжения от силы тока, но силу тока порой сложно регулировать; кроме того, одному и тому же значению силы тока могут соответствовать различные значения напряжения. Поэтому для удобства под вольтамперной характеристикой будет в дальнейшем пониматься зависимость именно силы тока от напряжения.

Для построения ВАХ некоторого участка AB с ЧЯ можно использовать цепь, схема которой дана на рис. 1. В неё включаются источник постоянного тока, ключ, резистор $R_{огр}$ (служащий для ограничения предельной силы тока в цепи), а также измерительные приборы: вольтметр и амперметр. Следует сказать, что все описанные ниже эксперименты и

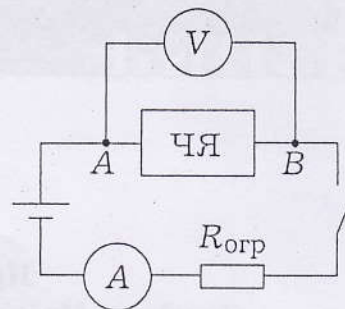


Рис. 1

расчёты сделаны в предположении использования идеальных измерительных приборов, т.е. таких, подключение которых никак не влияет на процессы, происходящие в цепи, что, естественно, не соответствует действительности. Так, амперметр имеет ненулевое сопротивление, а потому его подключение уменьшает силу тока в цепи. Но мы будем считать, что в рамках наших задач приборы идеальны и погрешности, которые они вносят, незначительны.

Прежде чем приступить к описанию методики разгадывания чёрных ящиков, рассмотрим вольтамперные характеристики каждого из базовых элементов. (Для упрощения в экспериментах использован источник тока с регулируемым выходным напряжением.)

3. ВАХ базовых элементов

Резистор. Для снятия ВАХ резистора собираем цепь по схеме, показанной на рис. 2. Вольтамперная характеристика данного элемента показана на рис. 3: резистор имеет линейную зависимость силы тока от напряжения.

В самом деле, из закона Ома для резистора с постоянным сопротивлением R на участке цепи следует, что $I = U/R$, т.е. прямая пропорциональная зависимость силы тока от напряжения. Причём ВАХ будет одной и той же при любой полярности источника тока, т.е. при смене знака («полярности») подавае-

мого на резистор напряжения. По

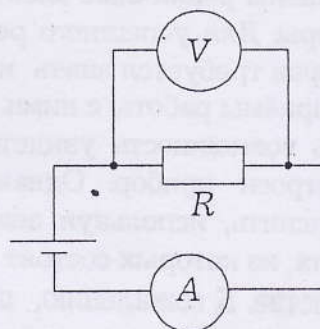


Рис. 2

вольтамперной характеристике резистора можно легко определить его сопротивление: $R = 1/k$, где k – угловой коэффициент ВАХ.

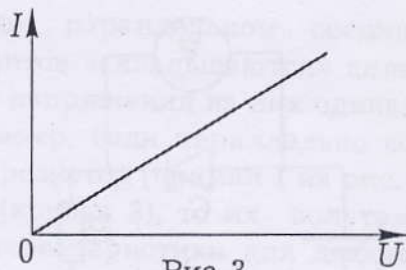


Рис. 3

Лампочка. Соберём цепь, схема которой представлена на рис. 4. Вольт-амперная характеристика лампочки приведена на рис. 5.

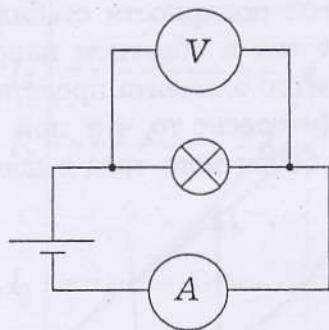


Рис. 4

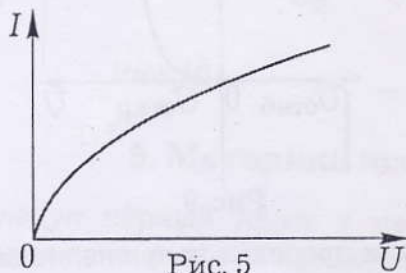


Рис. 5

Из рисунка видно, что при малом напряжении она подобна ВАХ резистора, т.е. имеет линейную зависимость. При увеличении напряжения график изгибается вследствие нагревания лампочки и соответственно роста её сопротивления. Причём ВАХ будет одной и той же при любой полярности подаваемого на лампочку напряжения.

По ВАХ лампочки можно легко определить её сопротивление при заданном напряжении или силе тока: $R_x = 1/k_x$, где k_x — угловой коэффициент прямой, проходящей через заданную точку и точку (0, 0). В частности, сопротивление лампочки в «холодном» состоянии (когда напряже-

ние на ней приблизительно равно нулю) можно найти по угловому коэффициенту касательной, проведённой в точке (0, 0).

Полупроводниковый диод. Не все знают, что такое диод. Поэтому рассмотрим этот элемент подробнее. Диод — это полупроводниковый (реже ламповый) элемент, обладающий свойством пропускать ток только в одном направлении. У идеального диода в прямом направлении (т.е. при «правильной» полярности подключения) сопротивление равно нулю, а в обратном направлении равно бесконечности (т.е. ток равен нулю). На практике идеальных диодов не существует, поэтому рассматривается элемент с похожими свойствами, но в то же время имеющий некоторые особенности. Для начала снимем ВАХ диода, собрав цепь по схеме, изображённой на рис. 6. Диод — нелинейный элемент и его ВАХ нелинейна и выглядит, как на рис. 7. Рассмотрим характерные отличия реального диода от идеального. Во-первых, в прямом направлении он открывается не сразу, а начиная с некоторого напряжения (его называют напряжением открывания $U_{откр}$).

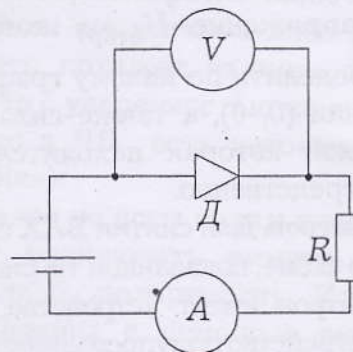


Рис. 6

При дальнейшем увеличении напряжения диод начинает пропускать ток и сила тока возрастает очень резко. Во-вторых, при обратной полярности подаваемого на диод напряжения через него идёт небольшой ток