



Серыя «У дапамогу педагогу»
заснавана ў 1995 годзе па
ініцыятыве У.П.Пархоменкі

Навукова-метадычны часопіс
Выдаецца з IV квартала 1995 года
Рэгістрацыйны № 433
Выходзіць 6 разоў у год

3(32) • 2003

Фізіка:

проблемы выкладання



Заснавальнік і выдавец –
Выдавецтва
“Адукацыя і выхаванне”

220004, г. Мінск,
вул. Караля, 16;
тэл.: 220-82-03,
229-19-71
факс: 220-54-10
e-mail: aiv@mail.by

Рэдакцыйная калегія

Галоўны рэдактар

М. І. Запрудскі

Нам. галоўнага рэдактара

Н. П. Гаравая

Адказны сакратар

А. У. Палянская

Члены рэдкалегіі

В. А. Гербутаў

У. А. Голубеў

С. В. Дзюбенка

Л. А. Ісачанкава

А. В. Кісялёва

А. А. Луцэвіч

А. У. Якубоўскі

Решение. Площадь, занимаемая микросхемой, равна

$$S = \frac{\pi d^2}{4 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 80^2 \text{ мм}^2}{4 \cdot 1000} = 5 \text{ мм}^2.$$

Число электронных приборов в микросхеме 5 мм^2 : $0,0005 \text{ мм}^2 = 10^4$ элементов.

Одна из главных проблем технологии интегральных микросхем состоит в уменьшении активных элементов и соответствующем увеличении их числа на стандартной пластинке (chip).

Сегодня необходимые примеси начали вводить в локальный приповерхностный слой с помощью специально приспособленных испарителей. Метод ионной имплантации, как его называют теперь, оказался весьма полезным и эффективным. Наряду с использованием ускоренных ионов начали также применять импульсы лазерного излучения для модификации свойств полупроводников и формирования микросхем. А каждая такая микросхема может включать сотни тысяч «активных элементов», т.е. транзисторов, диодов и конденсаторов и это только на одном квадратном сантиметре в приповерхностном слое кристалла кремния.

Графические методы решения задач по расчету электрических цепей: нелинейные цепи постоянного тока

А.Н.Годлевская, И.Н.Яковцов

В зависимости от вида вольт-амперной характеристики (ВАХ) элементы электрических цепей принято делить на линейные и нелинейные. В общем случае для описания элемента электрической цепи используют задание координат его рабочей точки (U_A, I_A) и дифференциального со-

противления, принимаемого постоянным при малых изменениях положения рабочей точки:

$$R_{\text{диф}, A} = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A}$$

Если во всех рабочих точках в пределах допустимого диапазона изменений напряжения и тока $R_{\text{диф}} = \text{const}$, то зависимость $I(U)$ является линейной функцией. Если хотя бы для одного элемента цепи ВАХ нелинейна, то нелинейна вся цепь [1]. Следует отметить, что линейных элементов реально не существует. Линейной ВАХ можно считать лишь в ограниченной области изменения напряжений U и силы тока I , и лишь в пределах этих диапазонов переменных ВАХ может быть описана с помощью закона Ома, представленного в интегральной форме: $U = RI$, где R — сопротивление элемента.

Условия задач, требующих определения параметров цепей, содержащих нелинейные элементы, как правило, содержат информацию о ВАХ нелинейного элемента, и решение сводится к нахождению координат рабочей точки. Естественно, что наиболее удобным для этого оказывается графический метод. При аналитическом задании ВАХ нелинейного элемента графическим методом можно найти единственное решение задачи и избежать дополнительного анализа физического смысла нескольких вариантов решений, получаемых традиционным методом.

Целью настоящей работы является демонстрация возможностей и методов графического решения задач, требующих вычисления силы тока, напряжения, мощности и других величин для цепей, содержащих элементы, характеризующиеся нелинейной ВАХ. Для таких цепей остаются применимыми все основные положения, рассмотренные нами в статье [2], в которой представлены графические методы расчета линейных цепей.

Задача 1. Резистор сопротивлением $R = 6$ Ом и нелинейное сопротивление, ВАХ которого описывается функцией $U = 2\sqrt{I}$, соединены последовательно и подключены к источнику, ЭДС которого равна 4 В (рис. 1). Определите силу тока в цепи.

Сначала выполним аналитическое решение задачи. Так как элементы цепи соединены последовательно, то в соответствии с законом Ома для полной цепи имеем:

$$\mathcal{E} = IR + 2\sqrt{I}. \quad (1.1)$$

После избавления от радикала получим уравнение

$$I^2 R^2 - I(2\mathcal{E}R + 4) + \mathcal{E}^2 = 0, \quad (1.2)$$

квадратичное относительно силы тока I . Уравнение (1.2) имеет два корня: $I_1 = 1$ А и $I_2 = 0,4(4)$ А, и требуется дополнительный анализ с целью исключения решений, не имеющих физического смысла.

Графическое решение

(рис. 2) выполним в такой последовательности. В координатах $(U; I)$ построим ВАХ нелинейного сопротивления $I = U^2/4$, вычислив предварительно значения силы тока при нескольких значениях напряжения на нем ($U = 1; 2; 3$ В). Определим силу тока короткого замыкания

$$I_{к.з} = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{4}{6} = 0,66 \text{ А}$$

и построим ВАХ источника, проходящую через точки $(0 \text{ В}; 0,66 \text{ А})$ и $(4 \text{ В}; 0 \text{ А})$. Проецируя точку A , в которой пересекаются ВАХ источника и ВАХ нелинейного сопротивления, на ось токов, найдем значение силы тока в цепи: $I \approx 0,4$ А. Заметим, что графически задача решается однозначно.

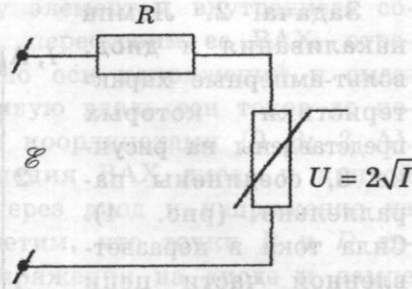


Рис. 1

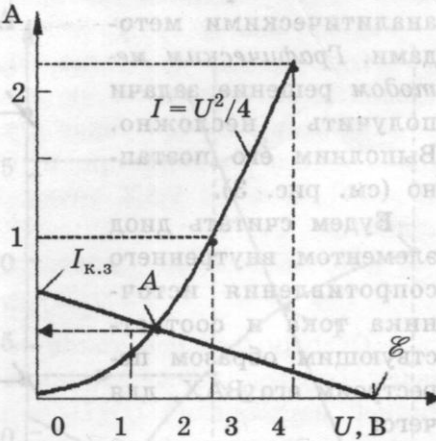


Рис. 2

Задача 2. Лампа накаливания и диод, вольт-амперные характеристики которых представлены на рисунке 3, соединены параллельно (рис. 4). Сила тока в неразветвленной части цепи равна 2 А. Определите силы тока в диоде и лампе и напряжения на них [2].

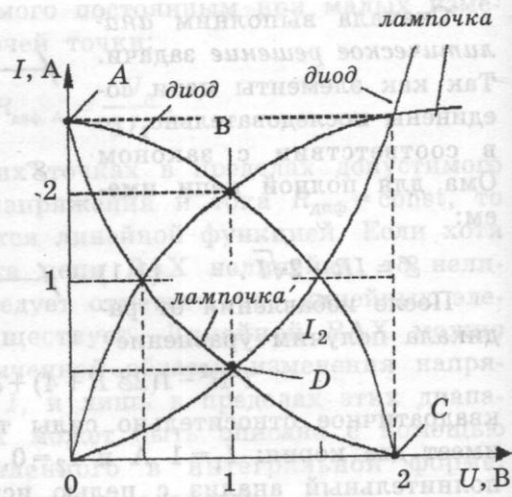


Рис. 3

Предложенная формулировка данной задачи не позволяет найти ее решение аналитическими методами. *Графическим методом* решение задачи получить несложно. Выполним его поэтапно (см. рис. 3).

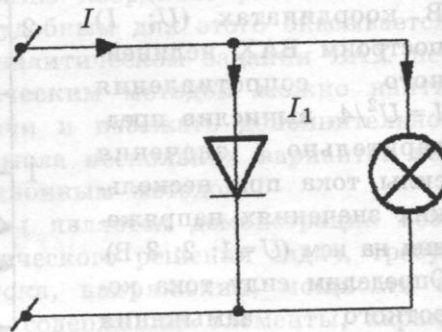


Рис. 4

Будем считать диод элементом внутреннего сопротивления источника тока и соответствующим образом перестроим его ВАХ, для чего:

- ВАХ диода зеркально отразим относительно оси напряжений и сместим полученную кривую вдоль оси токов так, чтобы кривая прошла через точку (0 В; 2 А);

- координаты точки В пересечения ВАХ лампы и построенной указанным способом кривой ABC определяют значение силы тока через лампу и напряжения на ней: $I_2 = 1,5$ А; $U_2 = 1$ В.

Аналогично, считая лампу элементом внутреннего сопротивления источника тока, перестроим ее ВАХ, отразив ее зеркально относительно оси напряжений и сместив полученную при этом кривую вдоль оси токов до пересечения с осью в точке с координатами (0 В; 2 А). Координаты точки *D* пересечения ВАХ диода и кривой *ADC* определяют силу тока через диод и напряжение на нем: $I \approx 0,5$ А; $U_1 = 1$ В. Заметим, что точки *B* и *D* лежат на одной вертикали (напряжения на диоде и лампе одинаковы: $U_1 = U_2 = 1$ В), а $I_1 + I_2 = I$ (выполнено первое правило Кирхгофа), как и должно быть при параллельном соединении элементов цепи.

Задача 3. Лампочку от карманного фонаря, ВАХ которой представлена на рисунке 5, подключили длинными проводами к источнику напряжения. При длине проводов, равной 10 м, через лампочку течет ток. Сила тока при этом $I_1 = 0,17$ А, а при использовании проводов длиной 20 м сила тока $I_2 = 0,13$ А. Определите силу тока, который будет течь через лампочку при длине проводов 40 м. Какой будет сила тока, если лампочку подключить непосредственно к источнику [3]?

Электрическую схему цепи представим на рисунке 6, где сопротивление проводов обозначено как r .

Заметим, что сила тока в цепи определя-

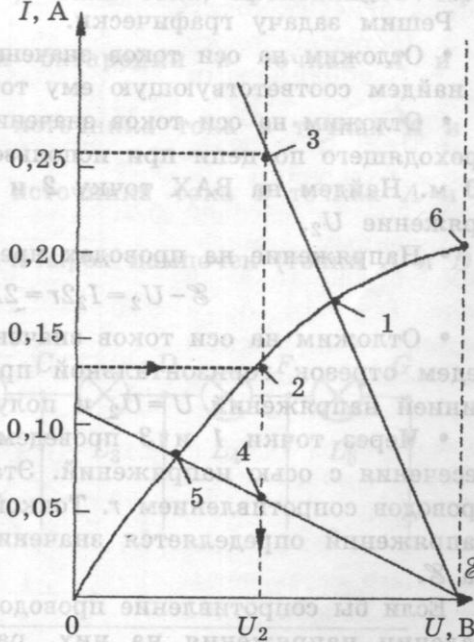


Рис. 5

ется законом Ома и при использовании идеального источника равна

$$I = \mathcal{E} / (r_1 + R_{\text{л}}). \quad (3.1)$$

Пусть сопротивление проводов длиной 10 м равно r . При подключении лампочки к источнику проводами длиной 10 м сила тока, проходящего по ним,

$$I_1 = (U_{\text{л}} - U_1) / r, \quad (3.2)$$

сила тока в проводах длиной 20 м (их сопротивление равно $2r$)

$$I_2 = (U_{\text{л}} - U_2) / 2r. \quad (3.3)$$

Здесь U_1 , U_2 — соответствующие напряжения на проводах, $U_{\text{л}}$ — напряжение на лампочке.

Решим задачу графически.

- Отложим на оси токов значение силы тока $I_1 = 0,17$ А и найдем соответствующую ему точку 1 на ВАХ.
- Отложим на оси токов значение силы тока $I_2 = 0,13$ А, проходящего по цепи при использовании проводов длиной 20 м. Найдем на ВАХ точку 2 и соответствующее ей напряжение U_2 .

- Напряжение на проводах представим в виде

$$\mathcal{E} - U_2 = I_2 2r = 2I_2 r. \quad (3.4)$$

- Отложим на оси токов значение $I = 2I_2 = 0,26$ А. Проведем отрезок горизонтальной прямой до пересечения с линией напряжений $U = U_2$ и получим точку 3.

- Через точки 1 и 3 проведем прямую линию до пересечения с осью напряжений. Эта прямая является ВАХ проводов сопротивлением r . Точкой пересечения ее с осью напряжений определяется значение напряжения источника \mathcal{E} .

Если бы сопротивление проводов было равно $4r$, то при падении напряжения на них, равном $\mathcal{E} - U_2$, сила тока была бы равна $I_2/2$, поэтому

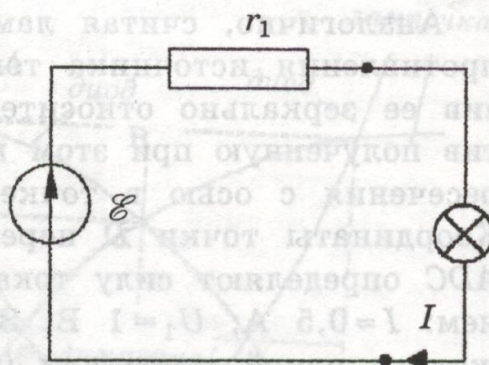


Рис. 6

$$\mathcal{E} - U_2 = I_2 2r = \frac{I_2}{2} 4r. \quad (3.5)$$

• Отложим на оси токов значение $I_2/2 = 0,065$ А и, проведя через соответствующую точку горизонтальную линию до пересечения с линией напряжения $U = U_2$, получим точку 4. Проведя прямую линию через точки E и 4, получим ВАХ проводов сопротивлением $4r$. Координатой I_5 точки 5 пересечения этой прямой с ВАХ лампочки определяется значение силы тока $I_5 = 0,08$ А при $R_{\text{лр}} = 4r$.

• При непосредственном подключении лампочки к источнику напряжения $r = 0$. Построим ВАХ проводов для такого варианта — вертикальную линию, проходящую через точку E. Найдем координату I_6 точки 6 пересечения ВАХ проводов с ВАХ лампочки: $I_6 = 0,21$ А.

Задаче 4. Несколько одинаковых лампочек включены последовательно (рис. 7). Сила тока, проходящего через лампочки, равна:

• при подключении батарейки в точках A и B $I_1 = 0,27$ А;

• при подключении источника тока в точках A и C $I_2 = 0,18$ А;

• при подключении источника тока в точках A и D $I_3 = 0,14$ А;

• при подключении четырех лампочек (точки A и D) $I_4 = 0,12$ А;

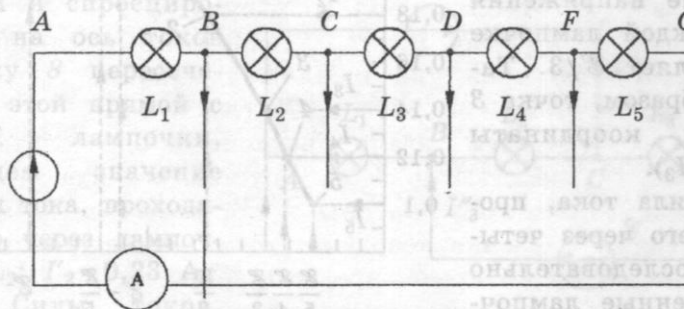


Рис. 7

- при подключении пяти лампочек (точки A и F) — $I_5=0,1$ А.

Затем две такие батарейки подключили, обеспечив смешанное соединение (в точках $A-C$ и $B-D$). Найдите силу тока в каждой лампочке в этом случае [4].

Поэтапно построим ВАХ лампочки (рис. 8), используя имеющиеся данные.

- При подключении батарейки к одной лампочке через нее проходит ток I_1 . На оси токов системы координат ($U; I$) отметим значение $I_1=0,27$ А. На оси напряжений отметим произвольно выбранное значение ЭДС источника \mathcal{E} . Построим точку 1 с координатами $(\mathcal{E}; I_1)$.

- При подключении батарейки к двум лампочкам через них проходит ток I_2 . Отметим на оси токов точку $I_2=0,18$ А. Так как напряжение \mathcal{E} делится поровну между обеими лампочками, то на оси напряжений отметим точку $\mathcal{E}/2$. Построим точку 2 с координатами $(\mathcal{E}/2; I_2)$.

- При подключении батарейки к трем последовательно соединенным лампочкам сила тока в цепи $I_3=0,14$ А, а падение напряжения на каждой лампочке составляет $\mathcal{E}/3$. Таким образом, точка 3 имеет координаты $(\mathcal{E}/3; I_3)$.

- Сила тока, проходящего через четыре последовательно соединенные лампочки, подключенные к

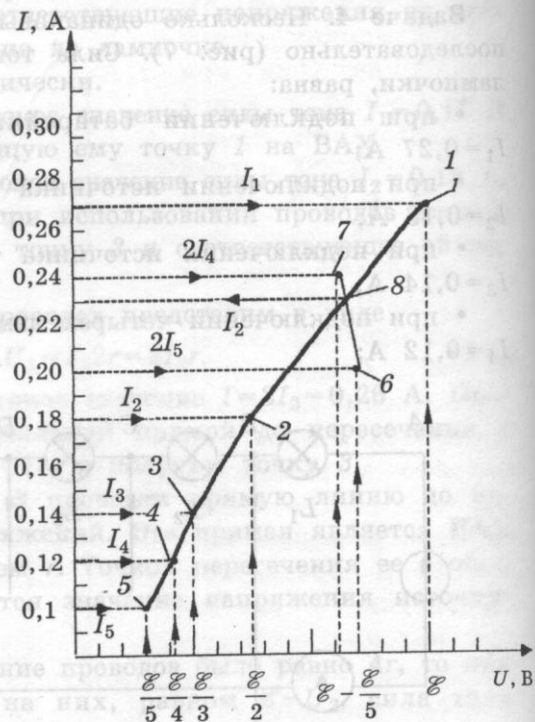


Рис. 8

одному источнику, $I_4 = 0,12$ А, а напряжение на каждой из них составляет $\mathcal{E}/4$. Отметим точку 4 с координатами $(\mathcal{E}/4; I_4)$.

- При подключении к источнику пяти последовательно соединенных лампочек имеем: $I_5 = 0,1$ А; $U_5 = \mathcal{E}/5$. Построим точку 5 с координатами $(\mathcal{E}/5; I_5)$.

- Соединим точки 1—5 плавной линией и построим таким образом ВАХ одной лампочки.

Возможны два варианта смешанного соединения элементов описанной цепи. Они представлены на рисунке 9 и 10. Обратимся сначала к первой из них и заменим ее эквивалентной схемой, представленной на рисунке 11.

- Построим линию сопротивления источника при подключении к нему лампочек L_1 и L_3 (см. рис. 8). С этой целью на оси напряжений отметим точку, соответствующую напряжению $\mathcal{E} - \mathcal{E}/5$, а на оси токов — точку $2I_5$ и построим точку 6, имеющую указанные здесь координаты: $(\mathcal{E} - \mathcal{E}/5; 2I_5)$.

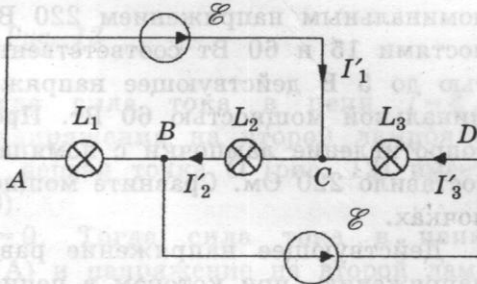


Рис. 9

- Аналогично построим точку 7 с координатами $(\mathcal{E} - \mathcal{E}/4; 2I_4)$.

- Соединив точки 6 и 7 прямой линией и спроецировав на ось токов точку 8 пересечения этой прямой с ВАХ лампочки, найдем значение силы тока, проходящего через лампочку L_2 : $I'_2 \approx 0,23$ А.

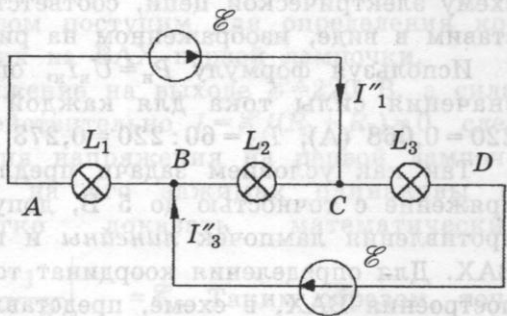


Рис. 10

- Силы токов, проходящих через

лампочки L_1 и L_3 , вдвое меньше силы тока, проходящего через лампочку L_2 : $I'_1 = I'_3 = 0,115$ А.

В схеме, представленной на рисунке 10, источники, подключенные к нагрузке L_2 , имеют противоположную полярность. Поэтому сила тока через лампу L_2 $I''_2 = 0$, а силы тока в источниках одинаковы и равны I_1 , следовательно, $I''_1 = I''_3 = 0,27$ А.

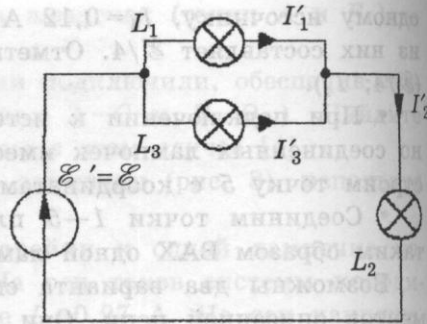


Рис. 11

Задача 5. В сеть переменного напряжения (220 В) включены последовательно две лампочки накаливания с номинальным напряжением 220 В и номинальными мощностями 15 и 60 Вт соответственно. Определите с точностью до 5 В действующее напряжение на лампочке с номинальной мощностью 60 Вт. Предварительно измеренное сопротивление лампочки с номинальной мощностью 15 Вт составило 220 Ом. Сравните мощности, выделяемые в лампочках.

Действующее напряжение равно такому постоянному напряжению, при котором в цепи выделяется та же мощность, что и в цепи переменного напряжения. Поэтому схему электрической цепи, соответствующую задаче, представим в виде, изображенном на рисунке 12.

Используя формулу $P_n = U_n I_n$, определим номинальные значения силы тока для каждой лампочки: $I_{n1} = 15 : 220 = 0,068$ (А); $I_{n2} = 60 : 220 = 0,273$ (А).

Так как условием задачи предложено определить напряжение с точностью до 5 В, допустим сначала, что сопротивления лампочек *линейны* и построим их *линейные* ВАХ. Для определения координат точек, необходимых для построения ВАХ, в схеме, представленной на рисунке 11, проведем два мысленных эксперимента.

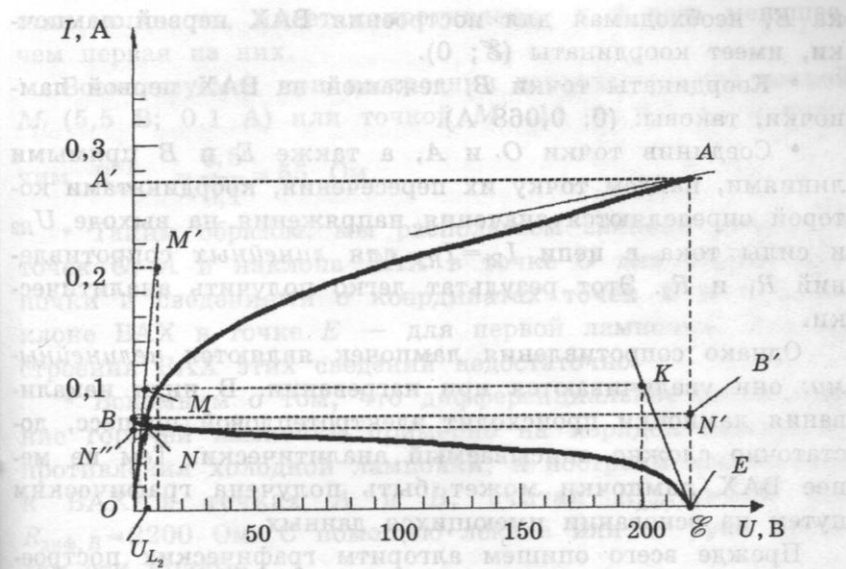


Рис. 12

• Пусть $R_1 = \infty$. Тогда сила тока в цепи $I = \mathcal{E} / (R_1 + R_2) = 0$ и падение напряжения на второй лампочке $U_{R_2} = 0$. Таким образом, первая точка O (рис. 12) имеет координаты $(U; I) = (0; 0)$.

• Пусть теперь $R_1 = 0$. Тогда сила тока в цепи $I = \mathcal{E} / R_2 = I_n(60) = 0,273$ (А) и напряжение на второй лампочке $U_{R_2} = \mathcal{E} = U_n(60) = 220$ (В). Следовательно, точка A имеет координаты $(220 \text{ В}; 0,273 \text{ А})$.

Аналогичным образом поступим для определения координат точек, лежащих на ВАХ первой лампочки.

• При $R_2 = \infty$ напряжение на выходе $\mathcal{E} = 220$ В, а сила тока в цепи $I = 0$. Действительно $I = \mathcal{E} / (R_1 + R_2) = 0$, следовательно, нет падения напряжения на первой лампочке, т.е. потенциалы на его зажимах одинаковы и $U_{\text{вых}} = \mathcal{E}$. Это легко доказать математически:

$$U_{\text{вых}} = IR_2 = \mathcal{E} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \mathcal{E} \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \Big|_{R_2 = \infty} = \mathcal{E}. \text{ Таким образом, точ-}$$

ка E , необходимая для построения ВАХ первой лампочки, имеет координаты $(\mathcal{E}; 0)$.

- Координаты точки B , лежащей на ВАХ первой лампочки, таковы: $(0; 0,068 \text{ А})$.

- Соединив точки O и A , а также E и B прямыми линиями, найдем точку их пересечения, координатами которой определяются значения напряжения на выходе U_{R2} и силы тока в цепи $I_{R1} = I_{R2}$ для *линейных* сопротивлений R_1 и R_2 . Этот результат легко получить аналитически.

Однако сопротивления лампочек являются *нелинейными*: они увеличиваются при нагревании. В нити накаливания лампочки происходит электротепловой процесс, достаточно сложно описываемый аналитически. Тем не менее ВАХ лампочки может быть получена графическим путем на основании имеющихся данных.

Прежде всего опишем алгоритм графических построений для *нелинейных* сопротивлений в схеме, представленной на рисунке 12.

- Линия ВАХ элемента L_2 проходит через начало координат O и точку A (рис. 12).

- Линия ВАХ элемента L_1 проходит через точки E и B . Она строится аналогично ВАХ элемента L_2 , но зеркально отражена относительно оси токов и смещена на \mathcal{E} вправо вдоль оси напряжений.

- Построим линию наклона ВАХ на ее начальном участке для элемента L_1 . С этой целью отметим вспомогательную точку K с координатами $(220—22 \text{ В}; 0,1 \text{ А})$ и соединим ее с точкой E $(220 \text{ В}; 0 \text{ А})$. Эта линия соответствует данным задачи, а именно: измеренному значению сопротивления первой лампочки, равному 220 Ом

$$(R_{\text{диф. В}}^{(1)} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{22}{0,1} = 220 \text{ Ом}).$$

- Аналогичные построения выполним для второй лампочки, учитывая следующие соображения. Так как $R = \frac{U^2}{P}$, то лампочка, в которой выделяется в 4 раза боль-

шая мощность, имеет сопротивление в 4 раза меньше, чем первая из них.

Вспользуемся при построении вспомогательной точкой M (5,5 В; 0,1 А) или точкой M' (11 В; 0,2 А) и полу-

чим $R_{\text{диф}, M}^{(2)} = \frac{5,5}{0,1} = 55 \text{ Ом}$.

- Таким образом, мы располагаем знанием координат точек O , A и наклона BAH в точке O для второй лампочки и сведениями о координатах точек E и B и наклоне BAH в точке E — для первой лампочки. Для построения BAH этих сведений недостаточно.

- Вспомним о том, что дифференциальное сопротивление горячей лампочки примерно на порядок больше сопротивления холодной лампочки, и построим касательные к BAH в точках A и B , считая $R_{\text{диф}, A} \approx 550 \text{ Ом}$, $R_{\text{диф}, B} \approx 2200 \text{ Ом}$. С помощью лекала или от руки проведем эти кривые.

- Координатами точки N пересечения обеих BAH определяются напряжение на второй лампочке и сила тока в цепи: N (8 В; 0,066 А). Таким образом, искомое напряжение $U_{L2} \approx 8 \text{ В}$.

- Мощности, рассеиваемые на элементах цепи, определяются площадями соответствующих прямоугольников. На рисунке 12 $P_{1\text{ном}} = S_{OBB'E}$, $P_1 = S_{U_{L2}NN'E}$, $P_{2\text{ном}} = S_{OA'AE}$, $P_2 = S_{ON'NU_{L2}}$. Сведя результаты решения в таблицу, можно убедиться, что на лампочке мощностью 60 Вт рассеивается лишь 1 % номинальной мощности, естественно, что эта лампочка «не горит». На лампочке мощностью 15 Вт выделяется 93 % номинальной мощности и она работает практически в номинальном (сберегающем) режиме, т.е. «горит» почти в полный накал.

Заметим, что при наличии в цепи нелинейных элементов погрешности результатов, полученных графическим способом, сравнимы с погрешностями значений, найденных аналитически.

В заключение предлагаем задачи для самостоятельного решения.

1. Измеренное напряжение на выводах плоской батарейки составляет 4,5 В («свежая» батарейка типа 3,7 КБС-Л-0,5). Первыми цифрами маркировки обозначено напряжение на стандартной лампочке карманного фонаря, на цоколе которой написано: 3,5 В; 0,26 А. Измеренное мультиметром сопротивление лампочки составило ~ 1,6 Ом. Объясните различие в напряжениях батарейки. Определите внутреннее сопротивление батарейки. Результат обоснуйте аналитически и графически.

2. На рисунке 13 представлена зависимость силы тока через автомобильную лампочку от напряжения на ней. Лампочка подключена к источнику, ЭДС которого $\mathcal{E} = 10$ В, последовательно с резистором, имеющим сопротивление $R = 4$ Ом. Определите мощность, выделяемую в лампочке [5].

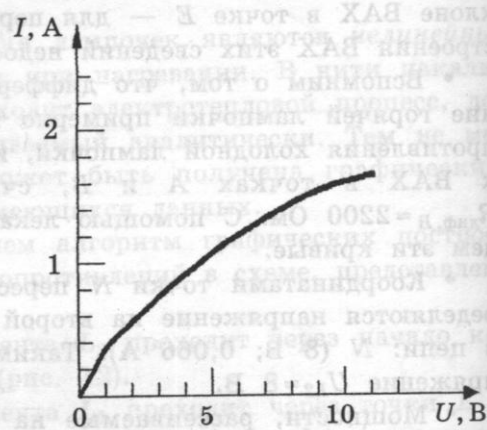


Рис. 13

3. На участок цепи, состоящий из последовательно соединенных лампочки, ВАХ которой представлена на рисунке 14, и амперметра, подано напряжение $U = 7$ В. При этом показание амперметра составляет $I_1 = 120$ мА. После шунтирования амперметра резистором его показание стало равным $I_2 = 50$ мА. Найдите сопротивление шунта R [6].

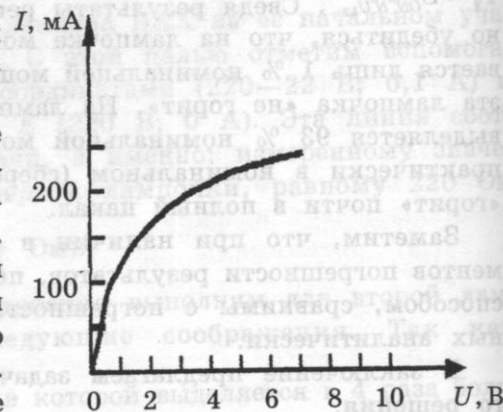


Рис. 14

4. Рабочее (номинальное) напряжение лампочки, ВАХ которой представлена на рисунке 15, $U_{л.н} = 3,5$ В. При напряжении, равном 4 В, лампочка перегорает. Две такие лампочки соединены последовательно и подключены к мощному источнику, ЭДС которого $\mathcal{E} = 5$ В. Какова сила тока, проходящего по цепи? Резистор какого сопротивления нужно подключить параллельно одной из лампочек, чтобы $U_{л2} = 3,5$ В? Перегорит ли какая-то из лампочек, если этот резистор заменить такой же лампочкой [7]?

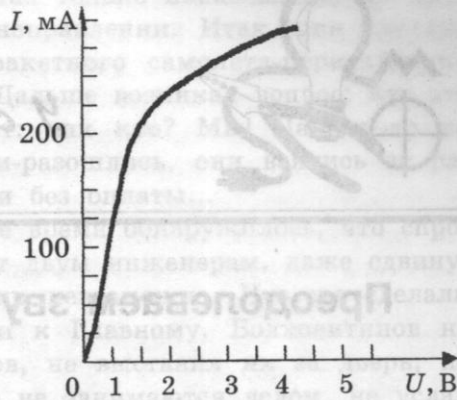


Рис. 15

1. Данилов Л.В., Матханов П.Н., Филиппов Е.С. Теория нелинейных электрических цепей. — Л.: Энергоатомиздат, 1990. — 256 с.
2. Годлевская А.Н., Яковцов И.Н. Графический анализ линейных электрических цепей // Фізика: проблеми викладання. — 2003. — № 2. — С. 77—93.
3. Бланк Е. Линейные и нелинейные физические системы // Квант. — 1978. — № 11. — С. 5.
4. Зильберман А. Задачник «Кванта». № 1311 // Квант. — 1992. — № 1. — С. 24—26.
5. Рафаилов З. Задачник «Кванта». Задачи по математике и физике // Квант. — 1995. — № 3. — С. 16—27.
6. Задачник «Кванта» // Квант. — 1978. — № 8. — С. 34.
7. XV Всероссийская олимпиада по математике и физике // Квант. — 1989. — № 10. — С. 67—70.
8. Зильберман А.Р. XXIII Всесоюзная олимпиада по физике // Квант. — 1989. — № 11. — С. 68—71.

Да ведама аўтараў і падпісчыкаў!

Рэдакцыя прымае да разгляду матэрыялы на беларускай і рускай мовах аб'ёмам да 20 машынапісных старонак, у 2 экзэмплярах (першы і другі).

Артыкулы павінны быць надрукаваны на белаі паперы праз 2 інтэрвалы на адным баку ліста фарматам А4 (тэксты, набраныя на камп'ютэры, — кеглем 12).

Фотаздымкі прымаюцца чорна-белыя. Малюнкi і графікі выконваюцца асобна на глянцавай паперы чорнай тушшу ў фармаце, які забяспечвае выразнасць перадачы ўсіх дэталей.

Неабходна ўказаць прозвішча, імя і імя па бацьку аўтара, месца яго працы, займаемую пасаду, вучоную ступень, вучонае званне, хатні адрас, тэлефоны, пашпартныя даныя (серыя, нумар, калі і кім выдадзены, адрас прапіскі). **Аўтарам, якія разам з матэрыялам не дасылаюць пашпартныя даныя, ганарар не будзе выплачвацца. Без гэтых даных матэрыялы прымацца не будуць.**

Паколькі наш часопіс не паступае ў рознічны гандаль, набыць яго можна шляхам падпіскі. Дасылаючы матэрыял, зрабіце заяўку на патрэбную колькасць экзэмпляраў часопіса з Вашым артыкулам.

Кошт дасланых Вам часопісаў будзе ўтрыманы з ганарару.

Рэдакцыя не заўсёды падзяляе думкі аўтараў. Апошнія нясуць адказнасць за ўсю інфармацыю, якая ўтрымліваецца ў артыкуле, у адпаведнасці з Законам аб друку Рэспублікі Беларусь.

Рукапісы аўтарам не вяртаюцца.

Рэдактар

А.У. Палянская

Камп'ютэрны набор

А.П. Другавец

Вёрстка

Н.В. Сакалова

Карэктар

Л.В. Суцягіна

Падпісана ў друк 27.05.2003. Фармат 60×84¹/₁₆. Папера афсетная. Друк афсетны. Ум. друк. арк. 7,4. Ул.-выд. арк. 7,2. Тыраж 2772. Заказ № 121.

Цана свабодная.

Адрас рэдакцыі часопіса "Фізіка: праблемы выкладання":

220040, г. Мінск, вул. Нярасава, д. 20. АПА.

Надрукавана ў друкарні Выдавецкага цэнтра Нацыянальнага інстытута адукацыі Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь.

Ліцэнзія ЛП №514 ад 24.10.2002. 220088, г. Мінск, вул. Захарава, 59.