

Рис. 7

(обычно несколько микроампер), который называется «обратным током». При слишком большом напряжении обратной полярности диод «пробивается» и выходит из строя. Заметим: поскольку у диода в случае тока прямого направления с ростом напряжения сопротивление очень быстро падает, его следует подключать через ограничительный резистор порядка 100 Ом, иначе он просто сгорит. И ещё: понятие «сопротивление диода», очень сильно зависящее от напряжения и силы тока, вообще обычно не вводится. Тем не менее, существуют такие параметры, которые характеризуют конкретный диод, и их можно измерить. Это открывающее напряжение $U_{откр}$, которое можно определить по излому графика вблизи точки $(0, 0)$, а также сила обратного тока, которая находится по ВАХ непосредственно.

Стабилитрон. Для снятия ВАХ соберём цепь по схеме, показанной на рис. 8.

Стабилитрон имеет устройство, похожее на устройство полупроводникового диода. Поэтому у них схожие свойства

4. Вольтамперные характеристики при параллельном и последовательном соединениях элементов

Итак, мы рассмотрели вольтамперные характеристики элементов по

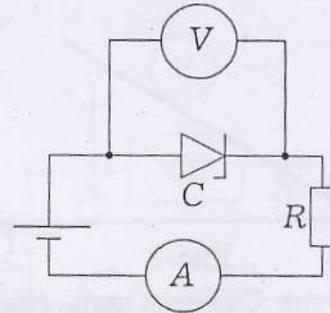


Рис. 8

при «прямом» включении, но в отличие от диода при определённом напряжении обратной полярности стабилитрон пропускает ток в обратном направлении. ВАХ этого элемента представлена на рис. 9. Интересно то, что при изменении силы обратного тока в довольно

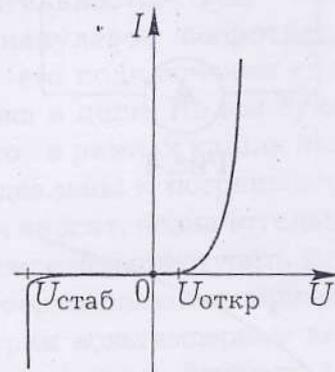


Рис. 9

широких пределах напряжение на стабилитроне почти не изменяется. Так как это свойство проявляется на «обратной» ветви ВАХ, стабилитрон обычно включают в цепь «наоборот». Таким образом, он поддерживает определённое напряжение (называемое напряжением стабилизации $U_{стаб}$) на участке цепи вне зависимости от силы тока, т.е. стабилизирует его, что собственно и дало такое название – стабилитрон. Так же, как и диод, это – нелинейный элемент.

отдельности, но ведь возможны их различные соединения.

При параллельном соединении элементов «складываются» силы токов, а напряжения на них одинаковы. Например, если параллельно соединены резистор (прямая 1 на рис. 10) и диод (кривая 2), то их вольтамперные характеристики для любого напряжения U_x складываются по току ($I_3 = I_1 + I_2$) – получается кривая 3, представляющая ВАХ параллель-

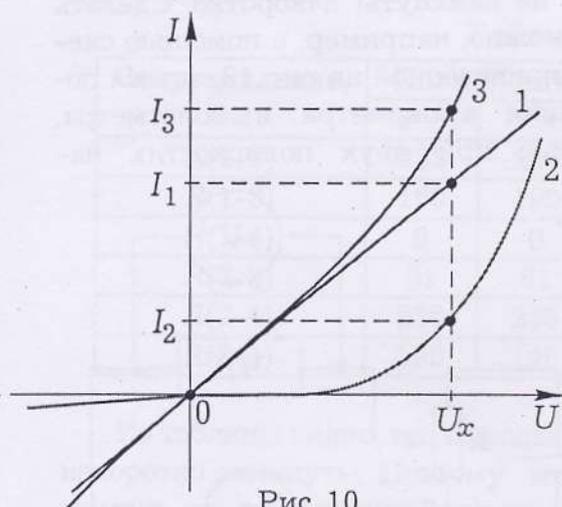


Рис. 10

но соединённых резистора и диода.

В случае последовательного соединения элементов складываются напряжения при одинаковой силе тока. Например, пусть последовательно соединены резистор (прямая 1 на рис. 11) и диод (кривая 2), их вольтамперные характеристики для каждой силы тока I_x складываются по напряжению ($U_3 = U_1 + U_2$), и получается кривая 3 – ВАХ последовательно соединённых резистора и диода.

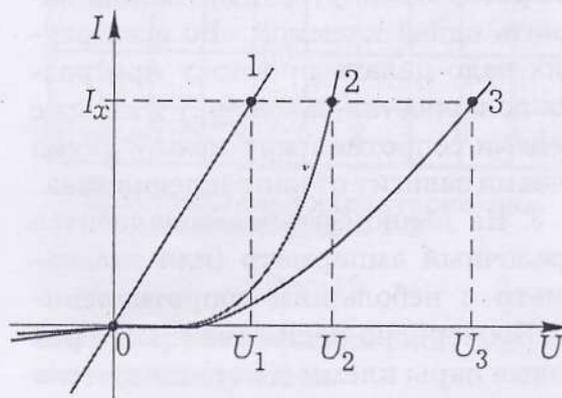


Рис. 11

5. Методика исследования чёрных ящиков

Исследуя чёрный ящик в цепи постоянного тока, следует придерживаться некоего алгоритма, чтобы разгадать его схему и узнать параметры элементов. Не все приведённые ниже советы могут оказаться полезными (всё зависит от конкретной схемы), но некоторые могут облегчить этот процесс. Этапы исследования можно, вероятно, провести в другом порядке, но приведённая последовательность кажется автору наиболее логически правильной. Итак, что же следует делать?

1. Надо подключать ко всем возможным парам клемм ЧЯ вольтметр (причём при разных полярностях его подключения). Если во всех случаях показания равны нулю, то ЧЯ не содержит источников тока (источник

может быть внутри, но он, значит, никак не соединён с выводами или соединён через обратно включённый диод). Если же в каком-либо случае вольтметр покажет наличие напряжения, то с уверенностью можно сказать, что в ЧЯ есть источник тока (батарейка).

2. Далее ко всем парам клемм ЧЯ следует подключать омметр (тоже при разной полярности). Измеряя сопротивление с помощью омметра (мультиметра), на исследуемый элемент подают небольшое напряжение ($\approx 0,1-0,5$ В) и измеряют силу тока, проходящего через него. Показание омметра соответствует делению поданного напряжения на силу тока. Естественно, что при подаче на элемент напряжения (даже очень мало-

го) разного знака он может вести себя по-разному. В связи с этим вводится понятие «полярности» подключения омметра. (Не стоит удивляться его «отрицательным» показаниям – они означают, что «полярности» напряжения и силы тока противоположны; это возможно, например, когда в исследуемом ЧЯ есть источник тока.)

Итак, если в каком-либо случае омметр покажет нулевое сопротивление, то, следовательно, эти клеммы накоротко замкнуты и их можно заменить одной клеммой. Во всех случаях надо делать проверку при разных полярностях, поскольку в цепях с диодами сопротивление между двумя точками зависит от направления тока.

3. На данном этапе понадобится стрелочный амперметр (или гальванометр с небольшим сопротивлением). Поочерёдно подключая ЧЯ через разные пары клемм к источнику тока согласно схеме на рис. 12 и замыкая ключ, нужно следить за его показаниями. Если при замыкании ключа

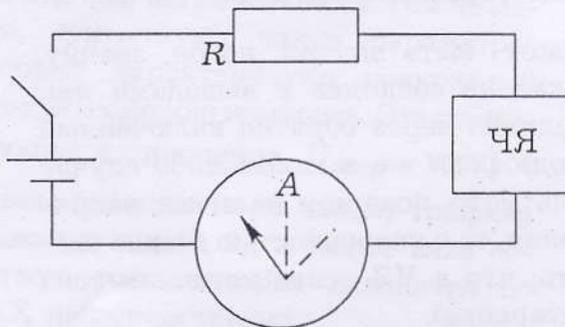


Рис. 12

стрелка амперметра скачком отклоняется от нулевого деления, а затем возвращается обратно, то в ЧЯ при-

6. Пример поиска схемы чёрного ящика на постоянном токе

Оборудование. Чёрный ящик с 4 выводами (рис. 14), источник постоянного тока с регулируемым напряжением (0 – 12 В), 2 мультиметра, соединительные провода.

Задание. Определить схему чёрно-

сутствует конденсатор – вероятно, он включён между данными клеммами. Отметим, что конденсатор не рассматривался выше, так как он не относится к типичным элементам ЧЯ, работающих на постоянном токе (зато часто используется в ЧЯ для переменного тока).

4. После этого следует получить ВАХ для всех пар выводов ЧЯ, к которым не подключён конденсатор и которые не замкнуты накоротко. Сделать это можно, например, с помощью схемы, приведённой на рис. 13, занося показания амперметра и вольтметра, снятые при двух полярностях на-

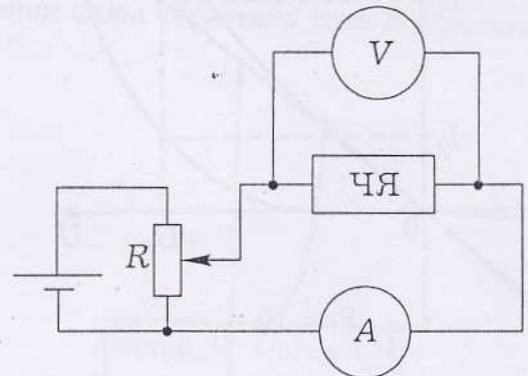


Рис. 13

пряжения на каждой паре клемм, в таблицу. По её данным строятся графики $I = f(U)$ для выбранных пар клемм. (Заметим, что напряжение между клеммами можно изменять с помощью переменного резистора.)

Анализируя все вольтамперные характеристики, делают выводы о схеме цепи в ЧЯ. Следует отметить, что результат разгадки ЧЯ не всегда однозначен. Обычно ищут самую простую из возможных схем.

го ящика и параметры её элементов.

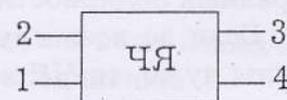


Рис. 14

Исследование

Действие 1. Поставив мультиметр в режим омметра, измеряем сопротивления между всеми парами выводов при различной полярности омметра. Полученные данные заносим в таблицу 1. (Поясним, что пересечение, например, столбца «+ -» и строки «R(2-3)» означает подключение к выводу 2 ЧЯ «+» омметра, а к выводу 3 его «-».)

Таблица 1

Сопротивление, Ом	Полярность	
	+ -	- +
R(1-2)	235	235
R(1-3)	190	190
R(1-4)	0	0
R(2-3)	61	61
R(2-4)	235	235
R(3-4)	190	190

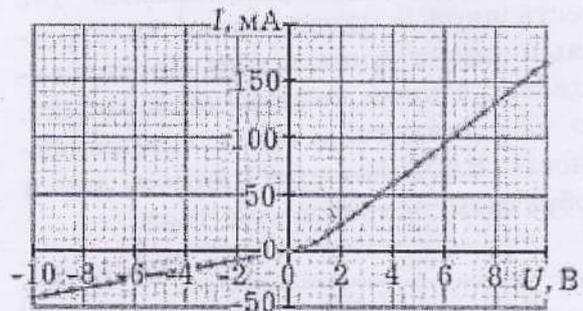
Из таблицы видно, что выводы 1 и 4 накоротко замкнуты. Поэтому можно считать, что у ЧЯ только 3 вывода.

Действие 2. Строим вольтамперные характеристики для всех пар выводов при различных полярностях напряжения. Полученные данные приведены в таблицах 2-4 и отражены на рис. 15, 18, 21. (Отрицательные значения напряжения и силы тока соответствуют противоположной полярности подключения приборов и источника.)

Таблица 2

U, В	I, мА	U, В	I, мА
-10,0	-42	0,0	0
-9,5	-39,9	0,5	2,1
-9,0	-37,8	1,0	6,8
-8,5	-35,7	1,5	14,8
-8,0	-33,6	2,0	23,4
-7,5	-31,5	2,5	31,9
-7,0	-29,4	3,0	41,1
-6,5	-27,3	3,5	49,7
-6,0	-25,2	4,0	58,7
-5,5	-23,1	4,5	67,6
-5,0	-21	5,0	76,7
-4,5	-18,9	5,5	85,6

-4,0	-16,8	6,0	94,6
-3,5	-14,7	6,5	103,8
-3,0	-12,6	7,0	112,7
-2,5	-10,5	7,5	121,6
-2,0	-8,4	8,0	130,7
-1,5	-6,3	8,5	139,9
-1,0	-4,2	9,0	149,2
-0,5	-2,1	9,5	158,5
0,0	0,0	10,0	167,2



Вольтамперная характеристика для выводов 1-2

Рис. 15

Анализируя график на рис. 15, можно сказать следующее:

так как при изменении знака напряжения ВАХ изменяется, а также проявляет нелинейную зависимость при подключении 1(+)-2(-), то между выводами включен диод;

поскольку ток есть при обеих полярностях напряжения, причём в обратном подключении зависимость линейна, то параллельно диоду включён резистор;

практически линейная зависимость, выявленная ВАХ при прямом подключении, свидетельствуют о том, что последовательно с диодом включён также резистор.

Так что схема между выводами 1 и 2 имеет вид, показанный на рис. 16.

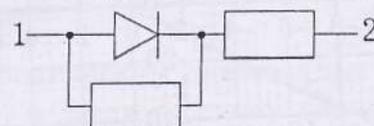


Рис. 16

(Это лишь одна из возможных схем, например, полученной ВАХ удовлетворяет и схема, представленная на рис. 17.)