

Задание 11.2. Черная звезда. В черном ящике с четырьмя выводами находятся четыре элемента, соединенные звездой. В каждом луче звезды содержится только один элемент. Этими элементами могут быть: резисторы, диоды, конденсаторы, катушки индуктивности, батарейки.

- 1) Определите, какие элементы находятся в лучах звезды, и, в случае обнаружения резисторов, определите их сопротивления.
- 2) Определите внутреннее сопротивление мультиметра в режиме вольтметра (диапазон 20 В)
- 3) Определите напряжение на выходе мультиметра, включенного в режиме омметра в диапазоне 2000 кОм.

Приборы и оборудование: черный ящик, мультиметр.

Рекомендации для организаторов

- Внутри черного ящика (рис. 1) следует соединить три резистора с сопротивлениями $R_1 = 810 \text{ кОм}$, $R_2 = 270 \text{ кОм}$, $R_3 = 540 \text{ кОм}$ и конденсатор (проще всего взять полярный) емкостью $C = 20 \text{ мкФ}$. Сопротивления резисторов могут незначительно отличаться от указанных.

Выводы из черного ящика должны быть короткими, чтобы исключить их закорачивание участниками олимпиады.

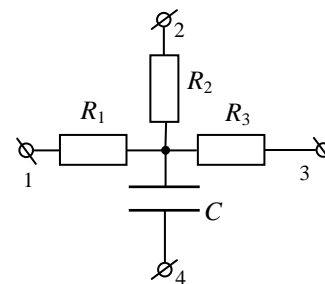
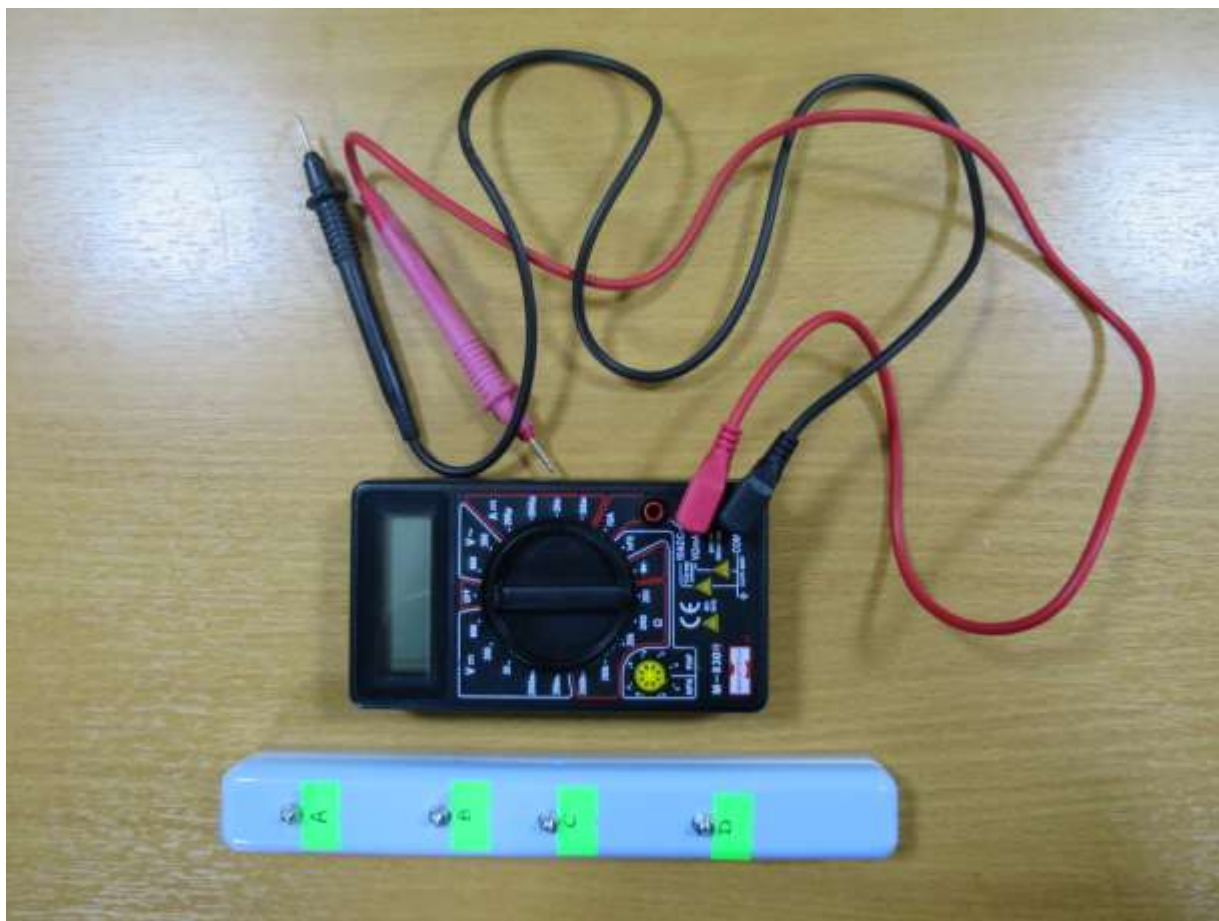


Рис. 1



Возможное решение (Замятнин М., Слободянин В.)

1. Мультиметром в режиме вольтметра проверяем попарно все выводы и убеждаемся в отсутствии источников тока.
2. Измеряем омметром (в режиме 2000 k) сопротивления между выводами и заносим результаты в таблицу.

кОм	1	2	3	4
1		1080	1350	$\approx \infty$
2	1080		810	$\approx \infty$
3	1350	810		$\approx \infty$
4	$\approx \infty$	$\approx \infty$	$\approx \infty$	

Обращаем внимание, что показания омметра при подключении к контакту 4 постепенно увеличиваются и через 10-20 с выходят за диапазон измерений. Так может себя вести только конденсатор. По мере зарядки ток через него уменьшается, и омметр фиксирует бесконечное сопротивление. Катушка индуктивности вела бы себя иначе – ее сопротивление в установившемся режиме должно стремиться к нулю. Диод также вел бы себя иначе, его сопротивление в открытом состоянии было бы мало (но постоянно), а в закрытом – бесконечно велико (но тоже постоянно).

Обнаружив конденсатор, не забываем его разряжать после каждого измерения, и контролируем этот процесс с помощью вольтметра.

Значения сопротивлений резисторов определим, решая совместно систему уравнений:

$$R_{12} = R_1 + R_2;$$

$$R_{23} = R_2 + R_3;$$

$$R_{13} = R_1 + R_3;$$

получим:

$$R_1 = \frac{R_{13} + R_{12} - R_{23}}{2}; \quad R_2 = \frac{R_{12} + R_{23} - R_{13}}{2}; \quad R_3 = \frac{R_{13} + R_{23} - R_{12}}{2}.$$

Примечание: Для ускорения процесса разрядки конденсатора к нему можно подключать омметр в обратной полярности, дожидаясь обращения в ноль его показаний.

Для определения напряжения U_0 на выходе омметра и внутреннего сопротивления R_V вольтметра в течение 2-3 мин будем заряжать конденсатор от омметра через резистор с минимальным сопротивлением 270 кОм (рис. 2). При этом конденсатор зарядится до некоторого напряжения U_0 . Затем отсоединим омметр от четырехполюсника и подключим к этому четырехполюснику мультиметр в режиме вольтметра (рис. 3). Вольтметр подключаем к двум выводам четырехполюсника, один из которых соединен с конденсатором, а другой с одним из резисторов, например, R_1 . После подключения вольтметра внимательно следим за его показаниями и фиксируем их максимальное значение U_1 . (Вскоре показания вольтметра начнут весьма быстро уменьшаться из-за разрядки конденсатора). Измеренное вольтметром максимальное напряжение

$$U_1 \approx \frac{U_0 R_V}{R_V + R_1}. \quad (1)$$

Затем процедуру зарядки конденсатора повторяем, а вольтметр подключаем к выводам конденсатора и любого другого резистора, например, $R_2 = 560$ кОм. В этом случае максимальное показание вольтметра

$$U_2 \approx \frac{U_0 R_V}{R_V + R_2}. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2), с учётом значений R_1 и R_2 , найдём:

$U_0 \approx 2,7$ В и $R_V \approx 1$ МОм.

Для повышения достоверности полученных результатов целесообразно провести аналогичные измерения и расчеты для всех трех возможных подключений вольтметра к четырехполюснику (1 – 4; 2 – 4; 3 – 4;) (см. рис. 3).

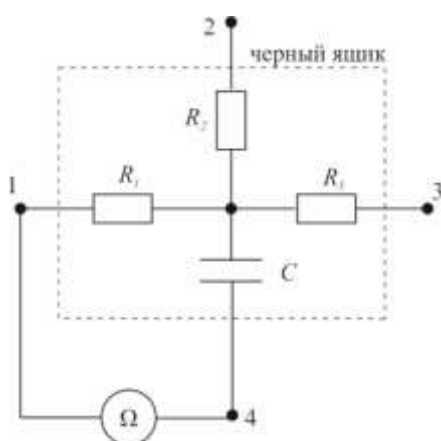


Рис. 2

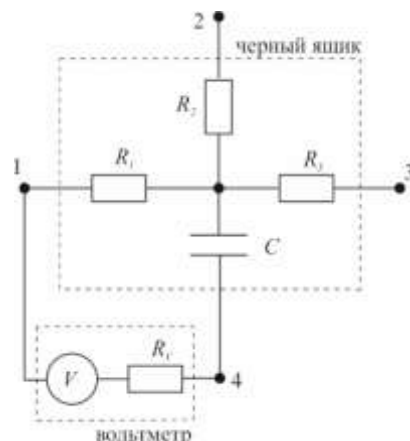


Рис. 3

Если конденсатор C полярный, то в зависимости от полярности подключения омметра, результаты измерений могут несколько отличаются друг от друга. Существенное искажение в результаты измерений больших сопротивлений (МОм) может внести

«замыкание» двумя руками контактов омметра (электрическое сопротивление человека может составлять «всего» несколько сот кОм).

Критерии оценивания:

1) Проведена проверка на отсутствие источников	1 балл
2) Результаты измерений сопротивлений R_{ij}	1 балл
3) Обнаружен конденсатор	1 балл
4) Обосновано отсутствие катушки и диода	1 балл
5) Определены сопротивления резисторов	3 балла
если все значения лежат в диапазоне $\pm 5\%$	3 балла
если все значения лежат в диапазоне $\pm 10\%$	1 балла
6) Предложена методика измерения напряжения U_0 и сопротивления R_V	2 балла
7) Определены показания вольтметра в начальный момент разрядки конденсатора (по 1 баллу за каждое из трёх измерений)	3 балла
8) Рассчитано значение U_0	1 балл
9) Рассчитано значение R_V	1 балл
10) Оценка погрешности результатов	1 балл