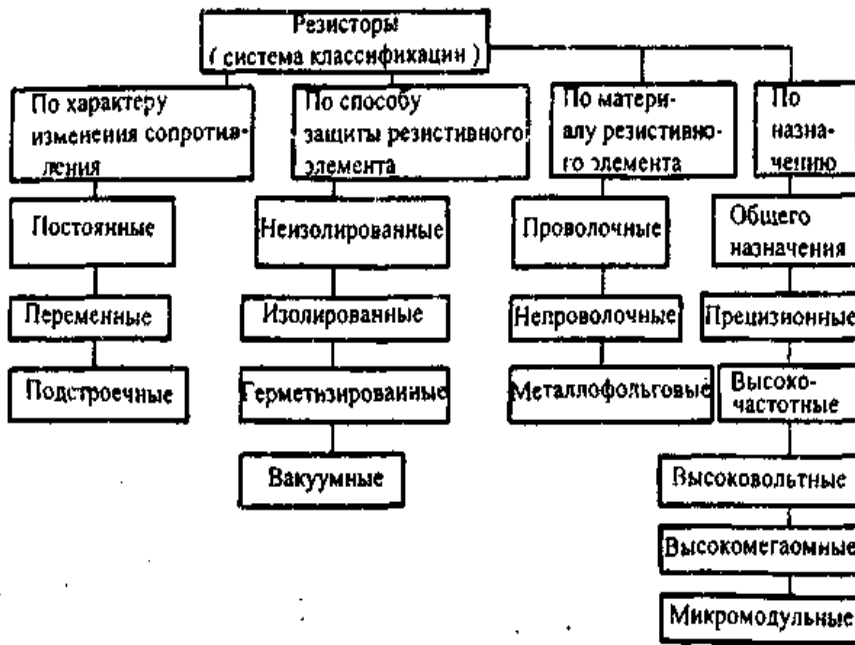


РЕЗИСТОРЫ

Классификация и основные параметры резисторов. Резисторы относятся к наиболее распространенным деталям радиоэлектронной аппаратуры. На их долю приходится от 20 до 50%, т. е. до половины общего количества радиодеталей в устройстве. Принцип работы резисторов основан на использовании свойства материалов оказывать сопротивление протекающему току. Резисторы характеризуются следующими основными параметрами.



- Номинальное значение сопротивления резистора $R_{ном}$. Измеряется в омах (Ом), килоомах (кОм), мегаомах (МОм). Номинальные значения сопротивлений указывают на корпусе резистора.

- Допустимое отклонение действительного сопротивления резистора от его номинального значения. Это отклонение измеряется в процентах, оно нормировано и определяется классом точности. Наиболее широко используются три класса точности: I - допускающий отклонение сопротивления от номинального значения на $\pm 5\%$, II - на $\pm 10\%$, III - на $\pm 20\%$. В современной РЭА часто применяют резисторы с повышенной точностью сопротивления, они выпускаются с допусками (%): ± 2 ; ± 1 ; $\pm 0,5$; $\pm 0,2$; $\pm 0,1$; $\pm 0,05$; $\pm 0,02$; $\pm 0,01$ и т. д.

- Номинальное значение мощности рассеивания резистора $R_{ном}$. Этот параметр измеряется в ваттах (Вт). Это наибольшая мощность постоянного или переменного тока, при протекании которого через резистор он может работать длительное время без повреждений. Мощ-

ность $R_{ном}$, ток I , протекающий через резистор, падение напряжения U на резисторе и его сопротивление R связаны зависимостью: $P=UI$ $U=IR$

В большинстве устройств РЭА применяют резисторы с номинальной мощностью рассеивания от 0,125 до 2 Вт.

- Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) резистора. Характеризует относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на 1°C и выражается в процентах. В резисторах ТКС незначительный и составляет в среднем десятые доли - единицы процента.

- Электродвижущая сила (ЭДС) собственных шумов. Собственные шумы резистора возникают за счет неупорядоченного движения части электронов при приложенном к нему напряжении. ЭДС собственных шумов ($E_{ш}$) измеряется в милливольт на вольт приложенного напряжения (мкВ/В). Эта величина для резисторов также незначительная и составляет единицы милливольт на вольт.

- Собственные индуктивность и емкость резисторов. Определяются габаритными размерами, конструкцией и влияют на частотный диапазон применения резисторов.

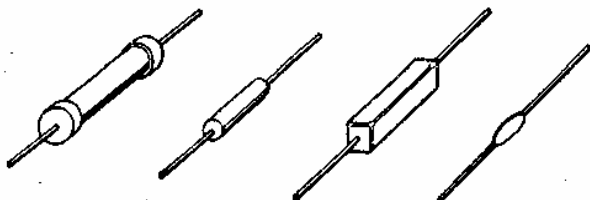
E24 $\pm 5\%$	E12 $\pm 10\%$	E6 $\pm 20\%$	E24 $\pm 5\%$	E12 $\pm 10\%$	E6 $\pm 20\%$	E24 $\pm 5\%$	E12 $\pm 10\%$	E6 $\pm 20\%$
1,0	1,0	1,0	2,2	2,2	2,2	4,7	4,7	4,7
1,1	-	-	2,4	-	-	5,4	-	-
1,2	1,2	-	2,7	2,7	-	5,6	5,6	-
1,3	-	-	3,0	-	-	6,2	-	-
1,5	1,5	1,5	3,3	3,3	3,3	6,8	6,8	6,8
1,6	-	-	3,6	-	-	7,5	-	-
1,8	1,8	-	3,9	3,9	-	8,2	8,2	-
2,0	-	-	4,3	-	-	9,1	-	-

Резисторы используют для ограничения силы тока в цепях, для создания на отдельных участках схем необходимых падений напряжений, для различных регулировок (громкости, тембров и т. д.) и еще во многих случаях. Конструктивно резисторы бывают различных видов, но основным их элементом является токопроводящий (резистивный) элемент, который создает необходимое сопротивление. Резисторы классифицируются в зависимости от характера изменения сопротивления, назначения, материалов резистивного элемента и способа его защиты.

Табл. 3.1. Ряды номинальных значений сопротивле-

ний резисторов и емкостей конденсаторов

Рис. 3.2. Постоянные резисторы различных типов



высокоомной проволоки, в металлофольговых - из металлической фольги. В непроволочных резисторах резистивный элемент может быть:

- из диэлектрика, металла или оксида металла и сплава металлов (металлооксидные, металлодиэлектрические, металлизированные резисторы);

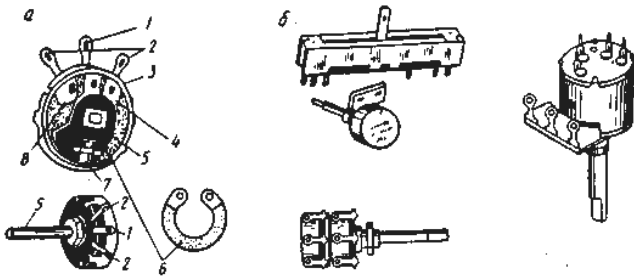
- из пленки углерода или борорганических соединений (углеродистые, бороуглеродистые резисторы);

- из смеси проводящего компонента (графита, сажи) со связующим наполнителем (композиционные резисторы).

Постоянные резисторы. У постоянных резисторов фиксированное значение номинального сопротивления. Они подразделяются на

Рассмотрим краткую характеристику резисторов по приведенной системе классификации. В изолированных резисторах резистивный элемент покрыт изоляционным материалом (например, лаком), у герметизированных резисторов он помещен в герметичный корпус (керамический чехол или опрессовка специальным компаундом). В вакуумных резисторах резистивный элемент находится в стеклянной вакуумной колбе.

В проволочных резисторах резистивный элемент выполнен из



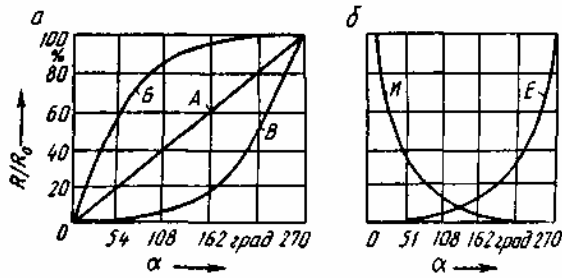
две группы: общего и специального назначения. Резисторы общего назначения применяют в цепях постоянного, переменного и импульсного тока различной РЭА в качестве делителей, шунтов, нагрузок и т. д. Допустимое отклонение сопротивлений от номинальных значений этих резисторов (%): ± 5 ; ± 10 ; ± 20 . Их номинальное сопротивление лежит в диапазоне от 1 Ом до 10 МОм, стандартизировано и соответствует рядам E24, E12иE6(табл. 3.1).

Рис. 3.3. Устройство (а) и разновидности (б) переменных резисторов:

1 - вывод щетки; 2 - концевые выводы; 3 - пластмассовый корпус;

4 - заклепки, 5 - ось; б - дужка с токопроводящим слоем; 7 - контактная щетка; 8 - серебрение

Резисторы специального назначения подразделяются на прецизионные, высокочастотные, высокоомегаомные, высоковольтные, микромодульные. Прецизионные резисторы изготавливаются высокоточными (допуск от 0,001 до 2%) и отличаются стабильностью параметров, номинальные значения сопротивлений могут быть выше 10 МОм и соответствуют рядам E92, E96, E48. Высокочастотные резисторы предназначены для работы в цепях на частотах сотни мегагерц и выше. Они отличаются малыми собственной индуктивностью и емкостью. Высокоомегаомные резисторы используют в цепях с малыми токами. Диапазон номинальных значений сопротивлений этих резисторов от десятков мегом до сотен тераом, рабочее напряжение - до 400 В, мощность рассеивания - не более 0,5 Вт. Высоковольтные резисторы применяют в качестве делителей напряжения в различных высоковольтных цепях, они рассчитаны на рабочее напряжение до десятков киловольт, мощность рассеивания - 0,5 Вт и выше. Микромодульные резисторы предназначены для работы в составе микромодулей и микросхем или для сопряжения с ними.



Постоянные резисторы различных типов приведены на рис. 3.2.

Рис. 3.4. Функциональные характеристики переменных резисторов: а - типов А, Б, В; б - типов Е, И

Переменные и подстроенные резисторы. Переменные (или регулируемые) резисторы - это резисторы, сопротивление которых можно изменить от нуля до номинального значения с помощью подвижного контакта, перемещаемого прямолинейно или по кругу.

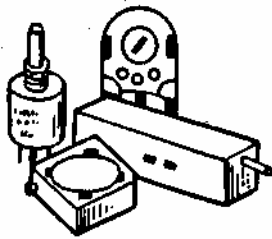
Переменные резисторы применяют для изменения параметров аппаратуры в процессе ее эксплуатации. Конструкции переменных резисторов могут быть разнообразными (рис. 3.3).

Переменные резисторы чаще всего имеют два концевых вывода, сопротивление между которыми не изменяется, и один вывод, соединенный с подвижным контактом. Может быть еще один вывод, соединенный с корпусом переменного резистора. Иногда существуют дополнительные выводы (например, от середины). Переменные резисторы делятся на конструктивно объединенные с выключателями и сдвоенные, имеющие общую ось регулировка сопротивления (рис. 3.3, б). Резистивный (токопроводящий) элемент переменного резистора соответствует приведенной классификации (см. рис. 3.1).

Рис- 3.5- Подстроенные резисторы

Рис. 3.6. Условные графические обозначения резисторов:

а - постоянного; б - переменных; в - переменного с двумя дополнительными отводами; г - подстроенного, д - сдвоенных переменных, с - переменного, совмещенного с выключателем



Сопротивление переменного резистора функционально изменяется в зависимости от положения подвижного контакта. По виду функциональной характеристики переменные резисторы разделяются на линейные - типа А, нелинейные - типов Б, В, Е, И: А - сопротивление изменяется пропорционально нахождению подвижного контакта, Б - по логарифмическому закону, В - обратно логарифмическому закону (рис. 3.4, а). Функциональные характеристики типов Е, И (рис. 3.4, б) бывают только у сдвоенных переменных резисторов, причем один из резисторов имеет характеристику типа Е, другой - типа И. Такие резисторы применяют в регуляторах стереобаланса. Подстроенные резисторы по принципу функционирования, устройству такие же, как и переменные. У них сопротивление также изменяется от нуля до номинального значения при перемещении подвижного контакта. Подстроечные резисторы применяют для установки режимов работы аппаратуры при ее наладке. В этих резисторах положение подвижного контакта можно изменить с помощью отвертки. Подстроечные резисторы выпускают малогабаритными в различном конструктивном исполнении (рис. 3.5).

Рис. 3.7. Условные графические обозначения резисторов с указанием номинальных значений сопротивления и мощности рассеивания

R1 100		$R_{НОМ} = 100 \text{ Ом}; P_{НОМ} = 0.125 \text{ Вт}$
R2 2,4к		$R_{НОМ} = 2.4 \text{ кОм}; P_{НОМ} = 0.25 \text{ Вт}$
R3 1,3М		$R_{НОМ} = 1.3 \text{ МОм}; P_{НОМ} = 0.5 \text{ Вт}$
R4 10		$R_{НОМ} = 10 \text{ Ом}; P_{НОМ} = 1 \text{ Вт}$
R5 3к		$R_{НОМ} = 3 \text{ кОм}; P_{НОМ} = 2 \text{ Вт}$
R6 1М		$R_{НОМ} = 1 \text{ МОм}; P_{НОМ} = 5 \text{ Вт}$
R7 1		$R_{НОМ} = 1 \text{ Ом}; P_{НОМ} = 10 \text{ Вт}$

Условные графические обозначения резисторов. На принципиальных схемах бытовой РЭА условные графические обозначения резисторов (рис. 3.6) даются с указанием номинального значения сопротивления и номинальной мощности рассеивания. При этом номинальное значение сопротивления резистора указывается следующим образом:

- от 1 до 999 Ом - числами без обозначения единицы;
- от 1 до 999 кОм - числами с добавлением строчной буквы «к»;
- от 1 МОм и более - числами с добавлением прописной буквы «М».

Примеры условных графических обозначений резисторов на принципиальных схемах бытовой РЭА с указанием номинального значения сопротивления и мощности рассеивания приведены на рис. 3.7.

Системы условных обозначений, маркировка. В бытовой РЭА могут встречаться системы условных обозначений, маркировки резисторов, соответ-

вующие разным стандартам (как старым, так и новым). Рассмотрим различные системы условных обозначений параметров резисторов.

Системы условных обозначений типов резисторов.

Сопротивление резистора	Примеры кодированных обозначений	
	буквами русского алфавита	буквами латинского алфавита (соответствует рекомендациям МЭК)
4,7 Ом	4Е7	4R7
75 Ом	75Е	75R
100 Ом	100Е(К10)	100R(К10)
1 кОм	1К0	1K0
4,7 кОм	4К7	4K7
47кОм	47К	47K
100кОм	100К(М10)	100K(М10)
1МОм	1М0	1M0
47МОм	47М	47M

Табл. 3.2. Кодированное обозначение номинальных значений сопротивлений резисторов

- Системы условных обозначений, состоящих из букв, которые указывают: вид проводящего элемента (например, К - композиционные, У - углеродистые, М - металлопленочные); вид защиты (например, Л - лакированные, Г - герметичные, В - вакуумные); особые свойства или назначение резисторов (например, Т - теплостойкие, П - прецизионные и т. д.). Примеры условных обозначений: МЛТ - металлопленочные лакированные теплостойкие; УЛИ - углеродистые лакированные измерительные; СПО - сопротивление переменное объемное; ПЭ - проволочные эмалированные и т. д.

Табл.3.3. Кодированные обозначения некоторых допустимых отклонений сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов

Допустимые отклонения, %	Примеры кодированных обозначений	
	буквами русского алфавита	буквами латинского алфавита (соответствует рекомендациям МЭК)
1	2	3
±0,01	Ж	В
±0,25	У	С
±0,5	Д	Д
±1	Р	F
±2	Л	G
+ 5	И	J
+ 10	С	К
±20	В	М
±30	Ф	N
-10 ...+30	-	Q
-10... +50	Э	T
-10. ..+100	Ю	Y
-20 ... +50	Б	S

- Кодированные системы условных обозначений, состоящих из букв и цифр.

Первый элемент - буква (буквы), обозначающая группу изделий: С - резисторы постоянные; СП - резисторы переменные или подстроечные. Второй элемент - число, обозначающее разновидность резисторов в зависимости от материала токопроводящего элемента: 1 - непроволочные тонкослойные углеродистые и бороуглеродистые; 2 - непроволочные тонкослойные металлодиэлектрические и металлооксидные; 3 - непроволочные композиционные пленочные; 4 - непроволочные композиционные объемные; 5 - проволочные; 6 - непроволочные тонкослойные металлизированные. Третий элемент - число (может быть с буквами), обозначающее регистрационный номер разработки, конструктивные особенности. На пример, С3-14, С5-60, СП4-1, СП3-16.

значающих под класс резисторов: Р - резисторы постоянные; РП - резисторы переменные; НР - наборы резисторов; ПТ - потенциометры. Второй элемент - цифра, обозначающая вид материала токопроводящего элемента: 1 - непроволочные; 2 - проволочные. Третий элемент - порядковый номер данного типа резистора (номер разработки), конструктивные особенности. Например, Р1-26.

Системы условных обозначений номинальных значений сопротивлений резисторов и их допустимых отклонений.

- Кодированное обозначение номинальных значений сопротивлений и допустимых отклонений б у к в а м и русского алфавита. Буквы представляют собой множитель, соответствующий значению сопротивления в Омах и определяющий положение запятой десятичного знака: Е - 1, К - 10^3 М - 10^6 . Эти буквы ставятся на месте запятой в числе, определяющем номинальное значение сопротивления, буква Е соответствует Омам, К - килоомам, М - мегомам. Примеры такой системы кодированных обозначений приведены в табл. 3.2., буквенные обозначения допустимых отклонений приведены в табл. 3.3.

- Кодированное обозначение номинальных значений сопротивлений и допустимых отклонений б у к в а м и латинского алфавита. Буквы ставятся на месте запятой в числе, определяющем номинальное значение сопротивлений резисторов, буква R - соответствует Омам, К - килоомам, М - мегомам. Примеры этой системы обозначения приведены в табл. 3.2. Допустимое отклонение сопротивлений также кодируется буквами латинского алфавита, которые ставятся после кода номинального значения сопротивления. Буквенные обозначения допустимых отклонений приведены в табл. 3.3.

Табл.3.4. Цвета знаков маркировки номинальных сопротивлений и допустимых отклонений резисторов

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом				Допустимое отклонение, %
	Значение		Множитель		
Серебристый	-	'-	-	10^{-2}	±10
Золотистый	-	-	-	10^{-1}	±5
Черный	0	0	0	1	-
Коричневый	1	1	1	10	±\
Красный	2	2	2	10^2	±2
Оранжевый	3	3	3	10^3	-
Желтый	4	,4	4	10^4	-
Зеленый	5	5	5	10^5	±0,5
Голубой	6	6	6	10^6	±0,25
Фиолетовый	7	7	7	10^7	±0,1
Серый	8	8	8	10^8	
Белый	9	9	9	10^9	-
Без окраски	-	-	-	-	±20

- П о л н о е обозначение номинальных значений сопротивлений и допустимых отклонений. В этом случае номинальные значения, выраженные в Омах, имеют только цифровую маркировку, в килоомах - цифровую маркировку с указанием единицы измерения «кОм», в мегомах - цифровую маркировку с указанием единицы измерения «МОм». Например, цифровой маркировкой 62 обозначают резистор с номинальным сопротивлением 62 Ом и т. д. Допустимые отклонения сопротивлений указывают в процентах, например: ± 5%, ±10%, ±20% и т. д. - Обозначения номинальных значений сопротивлений и допустимых отклонений цветовым кодом (соответствуют рекомендациям МЭК). Цветовая маркировка наносится в виде четырех или пяти цветных колец на резисторе. Вместо колец могут наноситься точки. Каждому цвету соответствует определенное цифровое значение. При этом у рези-

сторов с четырьмя цветными кольцами первое и второе обозначают первую и вторую цифру, третье кольцо - множитель для номинального значения сопротивления в Омах, а четвертое - допустимое отклонение от номинального значения сопротивления. Если это отклонение составляет 20%, то четвертое кольцо отсутствует, т. е. код состоит из трех цветных колец. У резисторов с пятью цветными кольцами первые три кольца - это три цифры, четвертое кольцо - множитель для номинального значения сопротивления в Омах, а пятое кольцо - отклонение. Цвета знаков маркировки значений номинальных сопротивлений и допустимых отклонений приведены в табл. 3.4.

Маркировочные знаки располагаются слева направо ближе к одному из торцов резистора. Если размеры резистора не позволяют разместить маркировку ближе к одному из его торцов, площадь первого знака делается в 2 раза больше площади других знаков.

Примеры обозначения номинальных значений сопротивлений и допустимых отклонений цветовым кодом показаны на рис.3.8.

Рис. 3.8. Цветовая маркировка резисторов

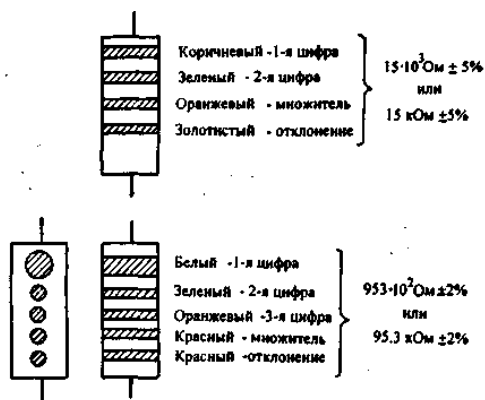


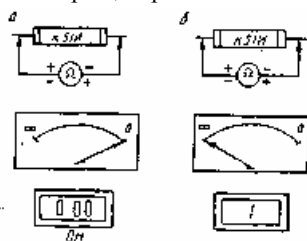
Рис. 3.9 Примеры маркировки резисторов: а - резистор типа МЛТ, мощность рассеивания 1 Вт, номинал 4,7 кОм, отклонение 5 %; б - резистор с номиналом 100 Ом и отклонением 10 %; в - резистор с номиналом 4,7 Ом и отклонением 5 %; г - резистор типа С5-5В, мощность рассеивания 2 Вт, номинал 82 Ом и отклонение 5 %; д - переменный резистор типа СПЗ-23а, мощность рассеивания 1 Вт, номинал 10 кОм, отклонение 20 %, функциональная характеристика типа А и дата выпуска 11.76 г.; е - переменный резистор типа СПЗ-4аМ, номинал 33 кОм, отклонение 20 % и дата выпуска 02.88 г.; ж - переменный двоемный резистор типа СПЗ-33-23, мощность рассеивания 0,25 Вт, номинал 100 кОм, отклонение 20 %, функциональная характеристика типа А и дата выпуска 03.94 г.

Таб. 3.5. Условные обозначения резисторов в конструкторской документации

Позиционное обозначение	ГОСТ. ТУ, нормаль	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество
K1	ГОСТ 7 113-77	МЛТ-0,25-47кОм±Ю%	47кОм	1
R2	ГОСТ 7 113-77	МЛТ-0,Ш-7,5кОм±10%	5,6-27 кОм	1
R3	ОЖ0467072ТУ	С2-Ю-0,25-240Ом ±0,5%	240 Ом	1
R4	0.468.045 ТУ	СП4-26-22кА-ОС-3-20	22кОм	1

неение сопротивления (%); технические условия. Для переменных резисторов указывают еще функциональные характеристики (для непроволочных) и конструктивные особенности. Примеры полных условных обозначений резисторов в конструкторской документации приведены в табл.3.5.

Особенности монтажа и проверки. К характерным неисправностям резисторов относятся следующие: обрыв выводов; повреждение токопроводящего элемента (обрыв, короткое замыкание), нарушение контакта щетки с токопроводящим элементом (для переменных и подстроенных резисторов). Очень часто удается определить неисправный резистор при внешнем осмотре (изменение цвета корпуса, обугливание). Проверка резистора осуществляется любым измерителем сопротивлений, с помощью которого можно определить обрыв, короткое замыкание токопроводящего элемента. При проверке переменного подстроенного резистора сопротивление должно изменяться плавно, без скачков (рис. 3.10).



При электрическом монтаже резисторов необходимо соблюдать общие требования к монтажу, температурный режим при монтаже резисторов данного типа, вариант установки резистора.

При замене резистора во время ремонта бытовой РЭА необходимо учитывать номинальное значение сопротивления, допустимое отклонение, номинальную мощность рассеивания, вариант установки резистора в данном аппарате (особенно по цепям сигнала).

Рис. 3.10. Проверка резисторов с помощью омметра:

а - в резисторе короткое замыкание токопроводящего элемента; и - в резисторе обрыв выводов или токопроводящего элемента

Вопросы для самоконтроля:

1. Назначение, устройство и классификация резисторов.
2. Как обозначаются резисторы на принципиальных схемах? Приведите примеры (не менее 15)
3. Как расшифровываются обозначения на корпусах резисторов? Приведите примеры (не менее 15)
4. Как определить неисправности резисторов?