

Пассивные электронные компоненты Резисторы

КУРС ЛЕКЦИЙ

ЧУ ПО «СОЦИАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ» Г ТУЛА

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ: БОРИСОВ АЛЕКСЕЙ АЛЬБЕРТОВИЧ

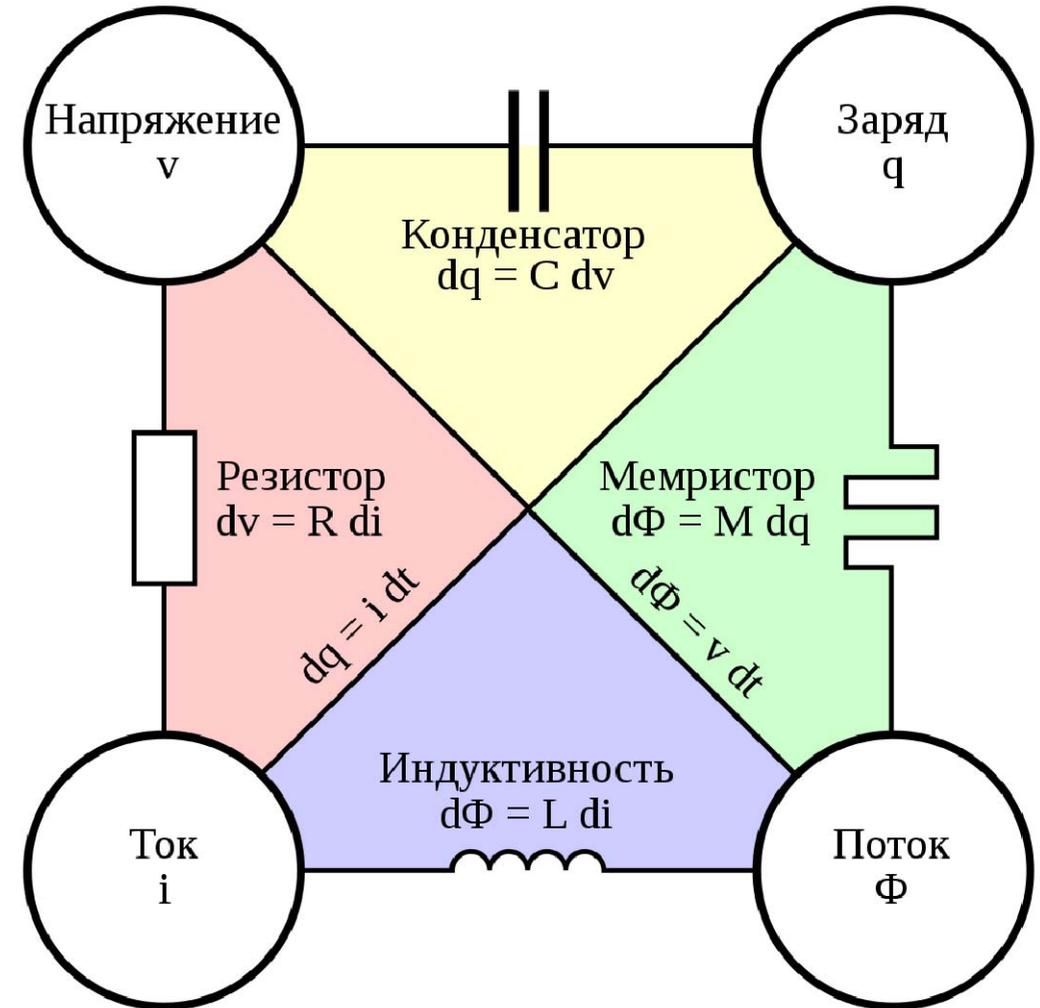
Пассивные компоненты

Компоненты делятся на 3 большие группы:

- 1. Резисторы**
- 2. Конденсаторы**
- 3. Дроссели, трансформаторы**

Резисторы делятся еще на несколько групп:

- 1. Постоянные**
- 2. Переменные**
- 3. Нелинейные**



Резистор (англ. resistor, от лат. resisto — сопротивляюсь), также сопротивление — пассивный элемент электрических цепей, обладающий определённым постоянным или переменным значением электрического сопротивления, предназначенный для линейного преобразования силы тока в напряжение и напряжения в силу тока, ограничения тока, поглощения электрической энергии.

По характеру ВАХ все резисторы делятся на **линейные** и **нелинейные**.

- Сопротивления **линейных** резисторов не зависят от приложенного напряжения или протекающего тока.
- Сопротивления **нелинейных** резисторов изменяются в зависимости от значения:
 - приложенного напряжения или протекающего тока **варисторы**,
 - температуры **термисторы**,
 - освещённости **фоторезисторы**.



Классификация резисторов

По назначению:

- резисторы **общего** применения;
- резисторы **специального** применения:
 - **высокоомные** (сопротивления от десятка МОм до единиц ТОм, рабочие напряжения 100—400 В);
 - **высоковольтные** (рабочие напряжения — десятки кВ);
 - **высокочастотные** (имеют малые собственные индуктивности и ёмкости, частоты до сотен МГц);
 - **прецизионные и сверхпрецизионные** (высокой точностью и стабильностью: допуск 0,001 — 1 %).

По характеру изменения сопротивления:

- **постоянные** резисторы;
- переменные **регулируемые** резисторы;
- переменные **подстроечные** резисторы.

По материалу резистивного элемента:

- **тонкослойные** на изоляционном основании:
 - **углеродистые**;
 - **металлоплёночные**:
 - **металлизированные**;
 - **металлокисные**;
 - **керметные**;
 - **композиционные** (объёмные);
 - **проволочные** и микропроволочные;
 - **полупроводниковые**.



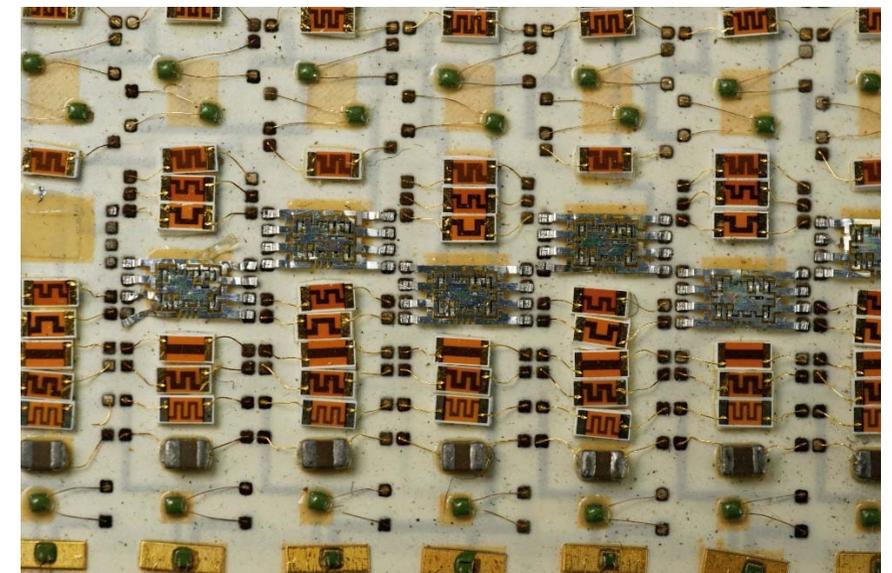
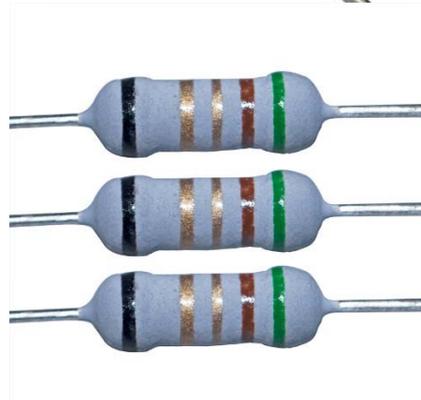
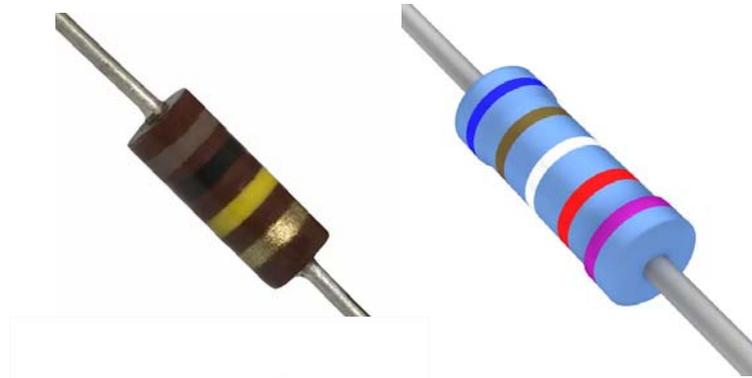
Классификация резисторов

По способу защиты от влаги:

- **неизолированные;**
- **изолированные-лакированные;**
- **компаундированные;**
- **опрессованные** в пластмассу;
- **герметизированные;**
- **вакуумные.**

По способу монтажа:

- для **печатного монтажа;**
- для **навесного монтажа;**
- для **микросхем** и микромодулей.



Классификация резисторов

По вольт-амперной характеристики:

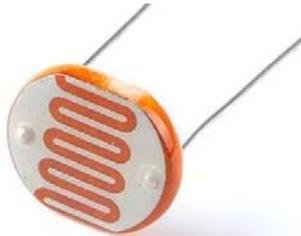
- **линейные резисторы**;
- **нелинейные резисторы**:
 - **варисторы** — сопротивление зависит от приложенного напряжения;



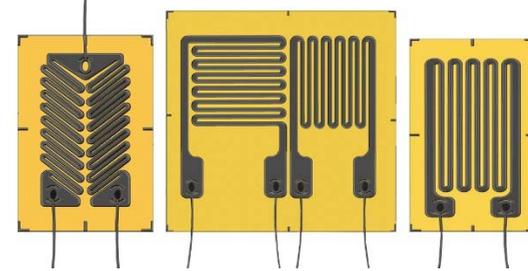
- **терморезисторы** — сопротивление зависит от температуры;



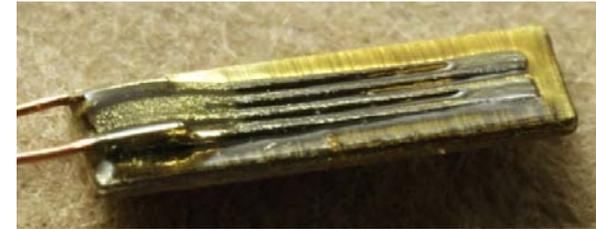
- **фоторезисторы** — сопротивление зависит от освещённости;



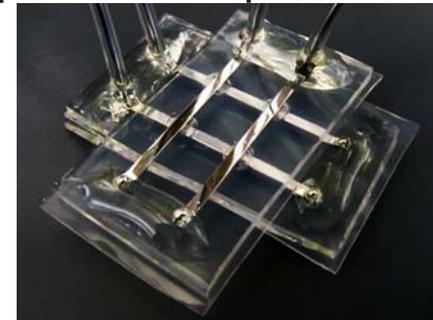
- **тензорезисторы** — сопротивление зависит от деформации резистора;



- **магниторезисторы** — сопротивление зависит от величины магнитного поля.



- **мемристоры** — сопротивление зависит от протекавшего через него заряда.



Классификация резисторов

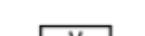
К резисторам специального назначения относят:

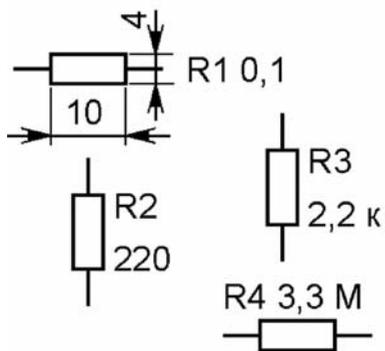
- **Высокоомные резисторы** выполняют преимущественно композиционного типа с сопротивлением до 10^{13} Ом и используют в устройствах для измерения малых токов. Номинальная мощность рассеивания их обычно не указывается, а рабочие напряжения составляют 100—300 Вольт.
- **Высоковольтные резисторы** с сопротивлением до 10^{11} Ом, но большей мощности и более крупные по размерам, чем высокоомные, используют для делителей напряжения, эквивалентов антенн, искрогашения, разряда конденсаторов фильтров. Наиболее распространенные их типы имеют рабочие напряжения в диапазоне 10-35 кВ.
- **Высокочастотные резисторы** предназначены для схем, работающих на частотах свыше 10 МГц, используются в качестве согласующих нагрузок, аттенюаторов, эквивалентов антенн, элементов волноводов, обладают малой собственной ёмкостью и индуктивностью. При искусственном охлаждении их номинальные мощности составляют 5, 20, 50 Вт.
- **Прецизионные и полупрецизионные резисторы**, применяемые в точных измерительных устройствах, вычислительных машинах, релейных системах, магазинах сопротивлений отличаются высокой точностью изготовления, имеют повышенную стабильность основных параметров и часто выполняются герметизированными. Номинальные сопротивления их от 1 Ом до 1 МОм, а номинальные мощности рассеивания не более 2 Вт.

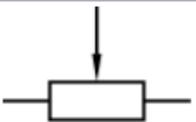
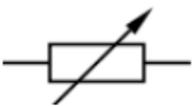
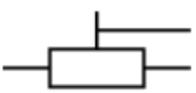
Основные характеристики и параметры резисторов

- **Номинальное сопротивление** — основной параметр. Ом.
- Предельная рассеиваемая мощность. Вт.
- Температурный коэффициент сопротивления **ТКС**.
- Допустимое отклонение сопротивления от номинального. %.
- Предельное рабочее напряжение. В.
- Избыточный шум. Дб.
- Максимальная температура окружающей среды для номинальной мощности рассеивания.
- Влагоустойчивость и термостойкость.
- Коэффициент напряжения. Зависимости сопротивления от приложенного напряжения.
- Паразитная ёмкость. пФ.
- Паразитная индуктивность. мГн.

Условное графическое обозначение

Обозначение по ГОСТ 2.728-74	Описание
	Постоянный резистор без указания номинальной мощности рассеивания
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,05 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,125 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,25 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 0,5 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 1 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 2 Вт
	Постоянный резистор номинальной мощностью рассеивания 5 Вт



Обозначение по ГОСТ 2.728-74	Описание
	Переменный резистор (реостат).
	Переменный резистор в реостатном включении
	Подстроечный резистор.
	Подстроечный резистор в реостатном включении
	Варистор (сопротивление зависит от приложенного напряжения).
	Термистор (сопротивление зависит от температуры).
	Фоторезистор (сопротивление зависит от освещённости).

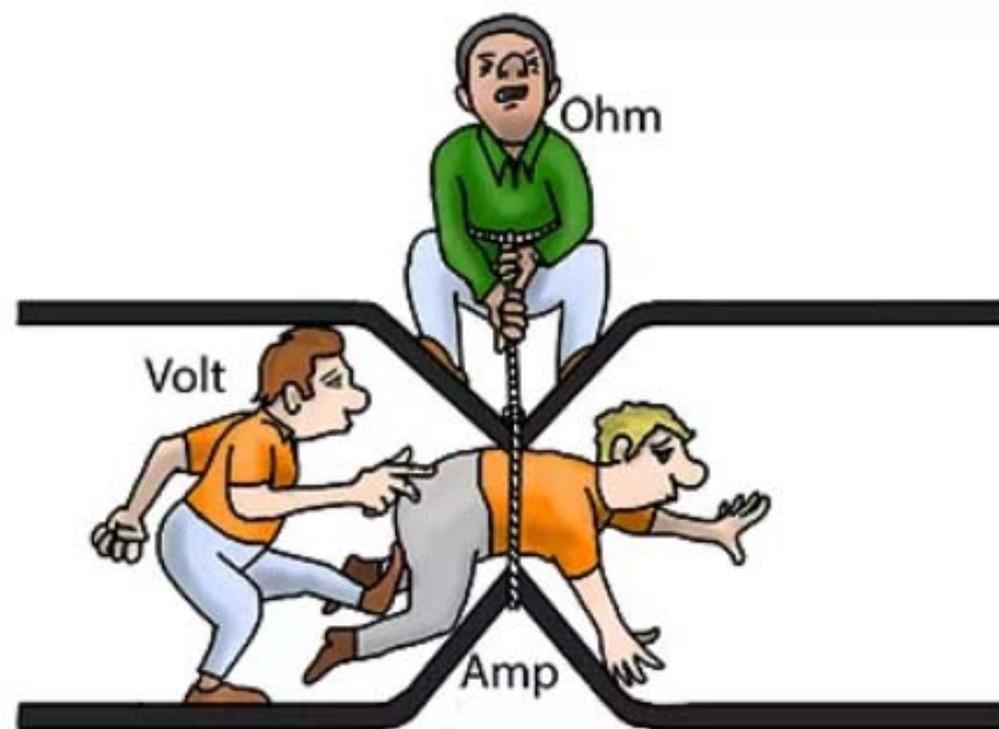
Закон Ома

R – сопротивление резистора;
I – ток, протекающий через резистор;
U – приложенное напряжение.

$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = IR$$

$$R = \frac{U}{I}$$



Закон Кирхгофа

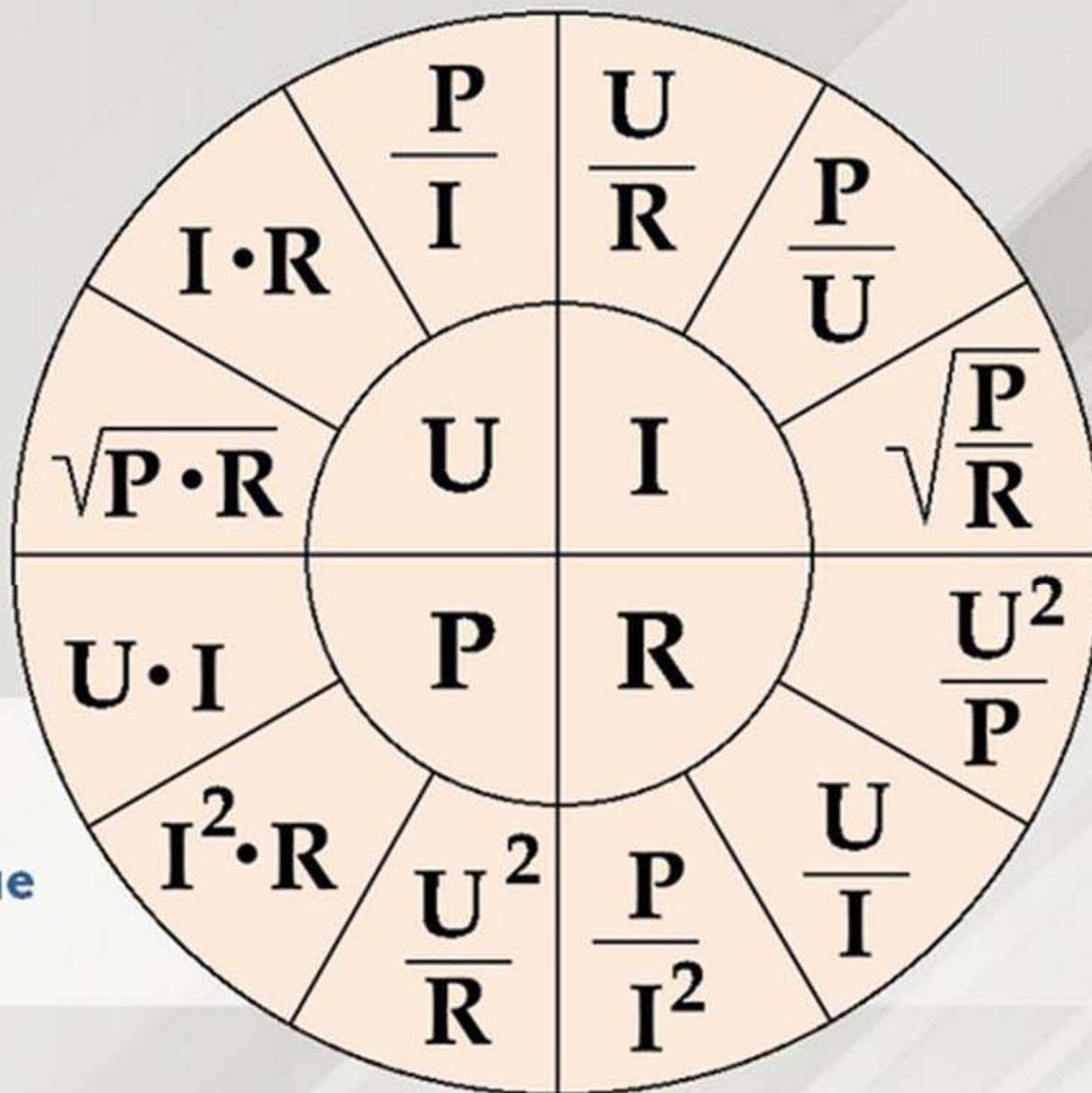
Для узла сумма токов равна нулю.

Для цепи сумма напряжений равна нулю.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m R_k I_k = \sum_{k=1}^m U_k$$

Закон Ома



U – напряжение

I – ток

R – сопротивление

P – мощность

JVC

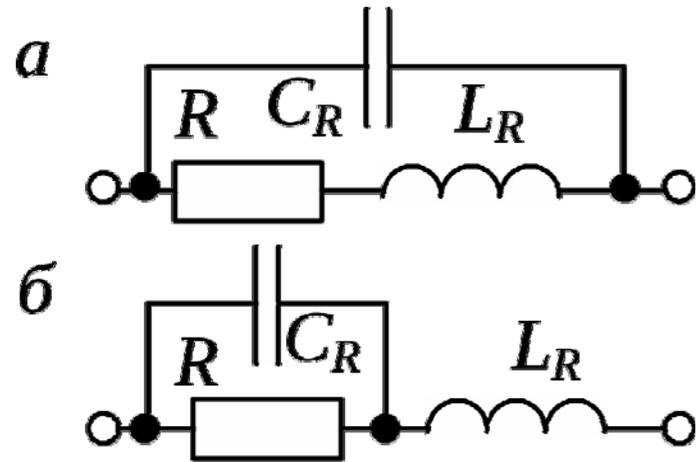
Эквивалентная схема реального резистора на низких частотах имеет вид параллельно соединённых сопротивления и паразитной ёмкости.

На высоких частотах последовательно включают паразитную индуктивность.

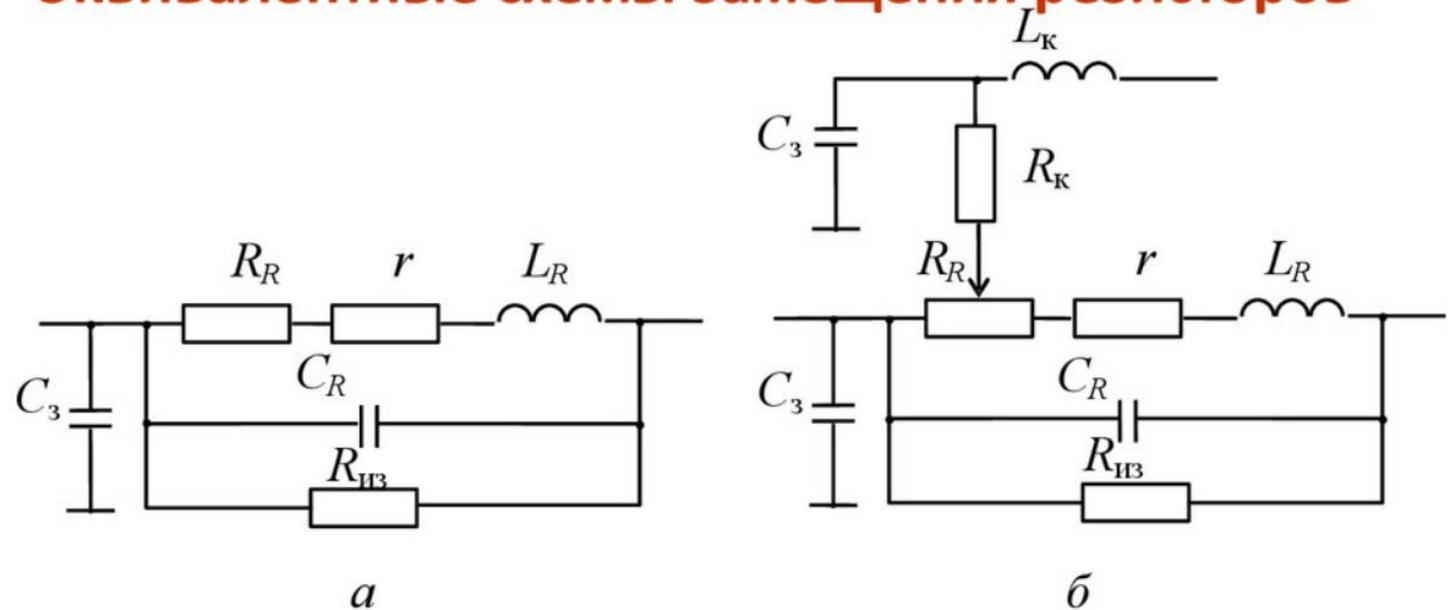
R – сопротивление резистора

L – индуктивность выводов резистора

C – ёмкость между



Эквивалентные схемы замещения резисторов



a – постоянного резистора; *б* – переменного резистора

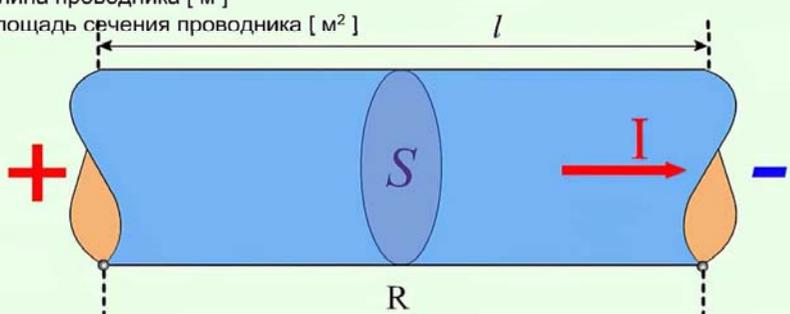
Активное сопротивление

$$R_a = \frac{R}{1 + (\omega RC)^2}$$

Удельное сопротивление проводника

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

R - электрическое сопротивление проводника [Ом]
 ρ - удельное сопротивление проводника [Ом·м]
 l - длина проводника [м]
 S - площадь сечения проводника [м²]



Удельное поверхностное сопротивление

Удельное поверхностное сопротивление ρ_s . Удельное поверхностное сопротивление – это сопротивление квадрата пленки R_{KB} :

$$\rho_s = R_{KB} = \frac{\rho d}{d}, \text{ Ом.}$$

Так как R_{KB} не зависит от размера квадрата, сопротивление пленочного резистора можно рассчитать по формуле

$$R = \rho_s \frac{l}{b} = \rho_s \cdot K_\phi, \text{ Ом,}$$

где l_0 – длина резистора в направлении прохождения тока, м; b – ширина резистора, м²; $K_\phi = l/b$ – коэффициент формы резистора.

Зависимость сопротивления от температуры

Сопротивление металлических и проволочных, резисторов зависит от температуры практически линейно:

$$R=R_0(1+\alpha(t-t_0)).$$

Коэффициент α - температурный коэффициент сопротивления (ТКС).

Такая зависимость позволяет использовать резисторы в качестве термометров.

Сопротивление полупроводниковых резисторов зависит от температуры сильнее.



Неисправности резисторов.

Основной неисправностью является резкое (обрыв) или незначительное увеличение его сопротивления.

Связано это с превышением выделяемой на нем мощности выше номинальной.

Так же на выход из строя влияют: превышение напряжения, связанный с ним пробой, превышение температуры резистора, неправильное крепление, превышение длительности импульсов в импульсном режиме и др.



Шум резисторов

- При температуре выше абсолютного нуля любой резистор является **источником электрического шума** даже если к нему не приложено внешнее напряжение. Это следует из фундаментальной флуктуационно-диссипационной теоремы (теорема Найквиста).
- При частоте, существенно меньшей чем $k\frac{T}{h}$, где k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура резистора в кельвинах, h — постоянная Планка, спектр теплового шума плоский, то есть не зависит от частоты («**белый шум**»). Спектральная плотность шума (преобразование Фурье от коррелятора напряжений шума) $|U|_{\omega}^2 = 4RkT$, где $U_{\omega}^2 = \int dt \langle U(t)U(0) \rangle e^{i\omega t}$
- Эффективное напряжение шума на резисторе будет $|U| = \sqrt{4RkT\Delta f}$, где Δf — ширина полосы частот.
- Эффективное напряжение шума пропорционально квадратному корню из сопротивления и корню из температуры. Чем больше сопротивление резистора и температура, тем больше напряжение шума.
- В шуме реальных резисторов также всегда присутствует компонент, интенсивность которого пропорциональна обратной частоте, то есть $1/f$, так называемый шум типа $1/f$ или «**розовый шум**». Этот шум возникает из-за множества причин, одна из главных — перезарядка ионов примесей, на которых локализованы электроны.
- Шумы резисторов также возрастают при прохождении через них тока.
- В переменных резисторах имеются так называемые «механические» шумы, возникающие при работе подвижных контактов.

Ряды номиналов

Номинальные значения параметров компонентов (сопротивление резисторов, ёмкость конденсаторов, индуктивность небольших катушек индуктивности) организованы международным стандартом в специальные ряды, представляющие собой геометрические прогрессии.

- Существует 7 рядов, состоящие из буквы E и числа, равного количеству значений ряда в диапазоне от 1 до 10: **E3, E6, E12, E24, E48, E96, E192**.
- Умножив на 10^n можно получить значения любого порядка.
- Каждый следующий ряд содержит в себе все предыдущие.
- Каждый ряд соответствует определённому допуску в номиналах деталей. Так, детали из ряда E6 имеют допустимое отклонение от номинала $\pm 20\%$, из ряда E12 — $\pm 10\%$, из ряда E24 — $\pm 5\%$

Знаменатель геометрической прогрессии ряда E_a вычисляется по формуле:

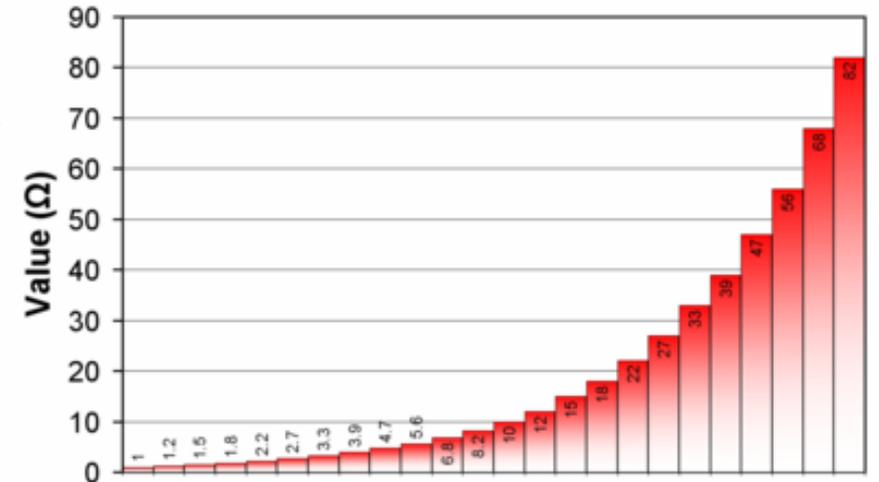
$$m = \sqrt[a]{10}$$

например: E6: $m = \sqrt[6]{10} = 1.47$, E12: $m = \sqrt[12]{10} = 1.21$

Каждый член ряда может быть найден по формуле:

$$N = m^b$$

где b — целое число. Вычисленные значения округляются.



Ряды номиналов

E3 ±30%	E6 ±20%	E12 ±10%	E24 ±5%
1,0	1,0	1,0	1,0
			1,1
		1,2	1,2
			1,3
	1,5	1,5	1,5
			1,6
		1,8	1,8
			2,0
2,2	2,2	2,2	2,2
			2,4
		2,7	2,7
			3,0

E3 ±30%	E6 ±20%	E12 ±10%	E24 ±5%
	3,3	3,3	3,3
			3,6
		3,9	3,9
			4,3
4,7	4,7	4,7	4,7
			5,1
		5,6	5,6
			6,2
	6,8	6,8	6,8
			7,5
		8,2	8,2
			9,1

Ряды номиналов

E48	E96	E192															
1,00	1,00	1,00	1,47	1,47	1,47	2,15	2,15	2,15	3,16	3,16	3,16	4,64	4,64	4,64	6,81	6,81	6,81
		1,01			1,49			2,18			3,20			4,70			6,90
	1,02	1,02		1,50	1,50		2,21	2,21		3,24	3,24		4,75	4,75		6,98	6,98
		1,04			1,52			2,23			3,28			4,81			7,06
1,05	1,05	1,05	1,54	1,54	1,54	2,26	2,26	2,26	3,32	3,32	3,32	4,87	4,87	4,87	7,15	7,15	7,15
		1,06			1,56			2,29			3,36			4,93			7,23
	1,07	1,07		1,58	1,58		2,32	2,32		3,40	3,40		4,99	4,99		7,32	7,32
		1,09			1,60			2,34			3,44			5,05			7,41
1,10	1,10	1,10	1,62	1,62	1,62	2,37	2,37	2,37	3,48	3,48	3,48	5,11	5,11	5,11	7,50	7,50	7,50
		1,11			1,64			2,40			3,52			5,17			7,59
	1,13	1,13		1,65	1,65		2,43	2,43		3,57	3,57		5,23	5,23		7,68	7,68
		1,14			1,67			2,46			3,61			5,30			7,77
1,15	1,15	1,15	1,69	1,69	1,69	2,49	2,49	2,49	3,65	3,65	3,65	5,36	5,36	5,36	7,87	7,87	7,87
		1,17			1,72			2,52			3,70			5,42			7,96
	1,18	1,18		1,74	1,74		2,55	2,55		3,74	3,74		5,49	5,49		8,06	8,06
		1,20			1,76			2,58			3,79			5,56			8,16
1,21	1,21	1,21	1,78	1,78	1,78	2,61	2,61	2,61	3,83	3,83	3,83	5,62	5,62	5,62	8,25	8,25	8,25
		1,23			1,80			2,64			3,88			5,69			8,35
	1,24	1,24		1,82	1,82		2,67	2,67		3,92	3,92		5,76	5,76		8,45	8,45
		1,26			1,84			2,71			3,97			5,83			8,56
1,27	1,27	1,27	1,87	1,87	1,87	2,74	2,74	2,74	4,02	4,02	4,02	5,90	5,90	5,90	8,66	8,66	8,66
		1,29			1,89			2,77			4,07			5,97			8,76
	1,30	1,30		1,91	1,91		2,80	2,80		4,12	4,12		6,04	6,04		8,87	8,87
		1,32			1,93			2,84			4,17			6,12			8,98
1,33	1,33	1,33	1,96	1,96	1,96	2,87	2,87	2,87	4,22	4,22	4,22	6,19	6,19	6,19	9,09	9,09	9,09
		1,35			1,98			2,91			4,27			6,26			9,20
	1,37	1,37		2,00	2,00		2,94	2,94		4,32	4,32		6,34	6,34		9,31	9,31
		1,38			2,03			2,98			4,37			6,42			9,42
1,40	1,40	1,40	2,05	2,05	2,05	3,01	3,01	3,01	4,42	4,42	4,42	6,49	6,49	6,49	9,53	9,53	9,53
		1,42			2,08			3,05			4,48			6,57			9,65
	1,43	1,43		2,10	2,10		3,09	3,09		4,53	4,53		6,65	6,65		9,76	9,76
		1,45			2,13			3,12			4,59			6,73			9,88

Маркировка резисторов

• **Маркировка цифрами и буквами.** На резисторах времен СССР нанесены цифры и буквы. При указании номинала вместо десятичной точки пишут букву, соответствующую единицам измерения.

К — для килоомов; М — для мегаомов; E, R или без указания единиц — для единиц Ом.

Например, 4К7 обозначает резистор сопротивлением 4,7 кОм, 1R0 — 1 Ом, М12 — 120 кОм (0,12 МОм) и т. д. Если стоит только цифра без буквы, цифры обозначают сопротивление в Омах, а допуск равен 20%. То есть, если написано просто 33, значит перед вами резистор на 33 Ом с допуском 20%.

1K0J — резистор на 1.0 кОм с допуском 5%. Буква К обозначает множитель 10^3 . Это значит, что цифру, которая стоит перед ней надо умножить на 1000.



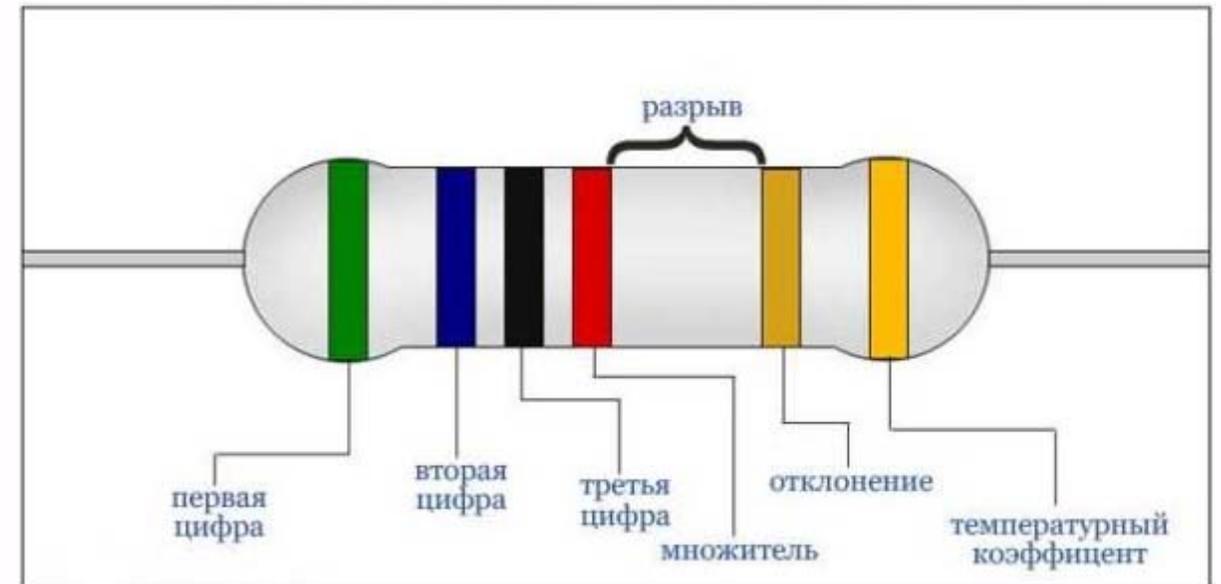
Сопротивление		Допуск		Примеры обозначения	
Множитель	Код	Допуск, %	Код	Полное обозначение	Код
1	R (E)	±0,1	B(Ж)	3,9 Ом±5%	3R9J
		±0,25	C(У)	215 Ом±2%	215RG
10 ³	K(К)	±0,5	D(Д)	1 кОм±5%	1K0J
		±1	F(Р)	12,4 кОм±1%	12K4F
10 ⁶	M(М)	±2	G(Л)	10 кОм±5%	10KJ
		±5	J(И)	100 кОм±5%	M10J
10 ⁹	G(Г)	±10	K(С)	2,2 МОм±10%	2M2K
		±20	M(В)	6,8 ГОм±20%	6G8M
10 ¹²	T(Т)	±30	N(Ф)	1 ТОм±20%	1TOM

Маркировка резисторов

- **Маркировка цветными полосами.** Для резисторов с точностью 20 % используют маркировку с тремя полосками, для резисторов с точностью 10 % и 5 % — маркировку с четырьмя полосками, для более точных резисторов — с пятью или шестью полосками. Первые две полоски всегда означают первые два знака номинала. Если полосок 3 или 4, третья полоска означает десятичный множитель, то есть степень десятки, которая умножается на число, состоящее из двух цифр, указанное первыми двумя полосками. Если полосок 4, последняя указывает точность резистора. Если полосок 5, третья означает третий знак сопротивления, четвёртая — десятичный множитель, пятая — точность. Шестая полоска, если она есть, указывает температурный коэффициент сопротивления (ТКС).

3 полосы:	4 полосы:	5 полос:	6 полос:
1) зн. цифра	1) зн. цифра	1) зн. цифра	1) зн. цифра
2) зн. цифра	2) зн. цифра	2) зн. цифра	2) зн. цифра
3) множитель	3) множитель	3) зн. цифра	3) зн. цифра
	4) допуск	4) множитель	4) множитель
		5) допуск	5) допуск
			6) темп. коэф.

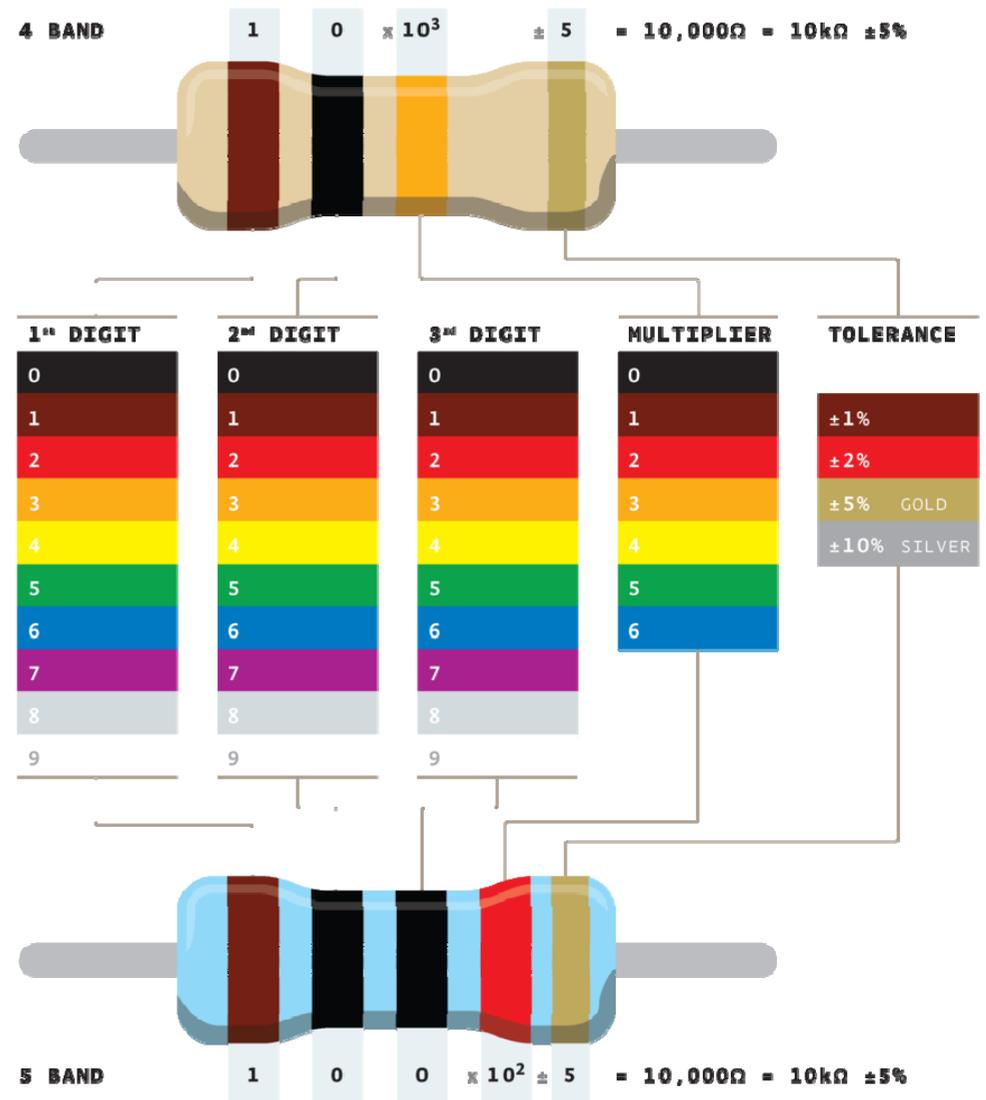
Маркировка резисторов цветными полосками



Маркировка цветными полосками

Цвет	число	десятичный множитель	точность в %	ТКС в ppm/°C	% отказов
серебристый	—	$1 \cdot 10^{-2} = \text{«0,01»}$	10	—	—
золотой	—	$1 \cdot 10^{-1} = \text{«0,1»}$	5	—	—
чёрный	0	$1 \cdot 10^0 = 1$	—	—	—
коричневый	1	$1 \cdot 10^1 = \text{«10»}$	1	100	1 %
красный	2	$1 \cdot 10^2 = \text{«100»}$	2	50	0,1 %
оранжевый	3	$1 \cdot 10^3 = \text{«1000»}$	—	15	0,01 %
жёлтый	4	$1 \cdot 10^4 = \text{«10 000»}$	—	25	0,001 %
зелёный	5	$1 \cdot 10^5 = \text{«100 000»}$	0,5	—	—
синий	6	$1 \cdot 10^6 = \text{«1 000 000»}$	0,25	10	—
фиолетовый	7	$1 \cdot 10^7 = \text{«10 000 000»}$	0,1	5	—
серый	8	$1 \cdot 10^8 = \text{«100 000 000»}$	0,05	—	—
белый	9	$1 \cdot 10^9 = \text{«1 000 000 000»}$	—	1	—
отсутствует	—	—	20 %	—	—

С красного по фиолетовый используется последовательность цветов радуги. Синий и голубой заменен одним цветом.



Маркировка SMD резисторов



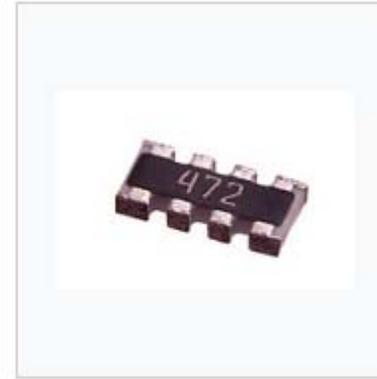
Устройство и габариты



резистор-перемычка



10 кОм, 1%



сборка 4,7 кОм



390 Ом

Кодирование 3 или 4 цифрами

ABC обозначает $AB \cdot 10^C$ Ом,
например 102 — это $10 \cdot 10^2$ Ом = 1 кОм
ABCD обозначает $ABC \cdot 10^D$ Ом,
точность 1,
например 1002 — это $100 \cdot 10^2$ Ом = 10 кОм

 223	223 = 22×10^3 = 22,000 Ohm = 22K Ohm	 8202	8202 = 820×10^2 Ohm = 82,000 Ohm = 82 KOhm
Three-Digit Resistor		Four-Digit Resistor	
 4R7	4R7 = 4.7 Ohm	 0R22	0R22 = 0.22 Ohm
Resistor With Radix Point		Resistor With Radix Point	
 0	0 = 0 Ohm	 000	000 = 0 Ohm

Маркировка SMD резисторов

Кодирование цифра-цифра-буква (JIS-C-5201) ряд E96, точность 1 %

Мантисса значения сопротивления кодируется 2 цифрами, степень кодируется буквой:

Примеры: 09R = 12,1 Ом; 80E = 6,65 МОм; все 1 %.

S или Y = 10^{-2}

R или X = 10^{-1}

A = $10^0 = 1$

B = 10^1

C = 10^2

D = 10^3

E = 10^4

F = 10^5



10 кОм, 1%

код	m										
01	100	17	147	33	215	49	316	65	464	81	681
02	102	18	150	34	221	50	324	66	475	82	698
03	105	19	154	35	226	51	332	67	487	83	715
04	107	20	158	36	232	52	340	68	499	84	732
05	110	21	162	37	237	53	348	69	511	85	750
06	113	22	165	38	243	54	357	70	523	86	768
07	115	23	169	39	249	55	365	71	536	87	787
08	118	24	174	40	255	56	374	72	549	88	806
09	121	25	178	41	261	57	383	73	562	89	825
10	124	26	182	42	267	58	392	74	576	90	845
11	127	27	187	43	274	59	402	75	590	91	866
12	130	28	191	44	280	60	412	76	604	92	887
13	133	29	196	45	287	61	422	77	619	93	909
14	137	30	200	46	294	62	432	78	634	94	931
15	140	31	205	47	301	63	442	79	649	95	953
16	143	32	210	48	309	64	453	80	665	96	976

Маркировка SMD резисторов

Кодирование буква-цифра-цифра Ряды E24 и E12, точность 2 %, 5 % и 10 %.

Степень при 10 кодируется буквой, так же, как для 1%-х сопротивлений. Мантисса m значения сопротивления и точность кодируются 2 цифрами.

Например,

2 %, 1,00 Ом = S01

5 %, 1,00 Ом = S25

5 %, 510 Ом = A42

10 %, 1,00 Ом = S49

10 %, 820 кОм = D60

S или Y = 10^{-2}

R или X = 10^{-1}

A = $10^0 = 1$

B = 10^1

C = 10^2

D = 10^3

E = 10^4

F = 10^5

2 %			
код	m		
01	100	13	330
02	110	14	360
03	120	15	390
04	130	16	430
05	150	17	470
06	160	18	510
07	180	19	560
08	200	20	620
09	220	21	680
10	240	22	750
11	270	23	820
12	300	24	910

5 %			
код	m		
25	100	37	330
26	110	38	360
27	120	39	390
28	130	40	430
29	150	41	470
30	160	42	510
31	180	43	560
32	200	44	620
33	220	45	680
34	240	46	750
35	270	47	820
36	300	48	910

10 %	
код	m
49	100
50	120
51	150
52	180
53	220
54	270
55	330
56	390
57	470
58	560
59	680
60	820

Проволочные постоянные резисторы

Самые возрастные изделия электронной индустрии, они способны обрабатывать мощные импульсные воздействия и нагреваться до высоких температур. Имеют высокую надежность и способны работать при неблагоприятных внешних воздействиях. Для сердечников используются керамики, пластики и стекло. Проволочные резисторы являются низкочастотными, совпадающей с устройством однослойных индуктивностей без сердечника.

Уменьшение собственной индуктивности в них достигается за счет намоток особого типа (рис. 3).

Бифилярная намотка обладает меньшей индуктивностью, но большей собственной емкостью по сравнению с обычной намоткой. Плоская намотка обеспечивает несколько меньшие значения индуктивности и емкости. Намотка Айртона-Перри обладает значительно меньшими значениями собственных индуктивности и емкости.

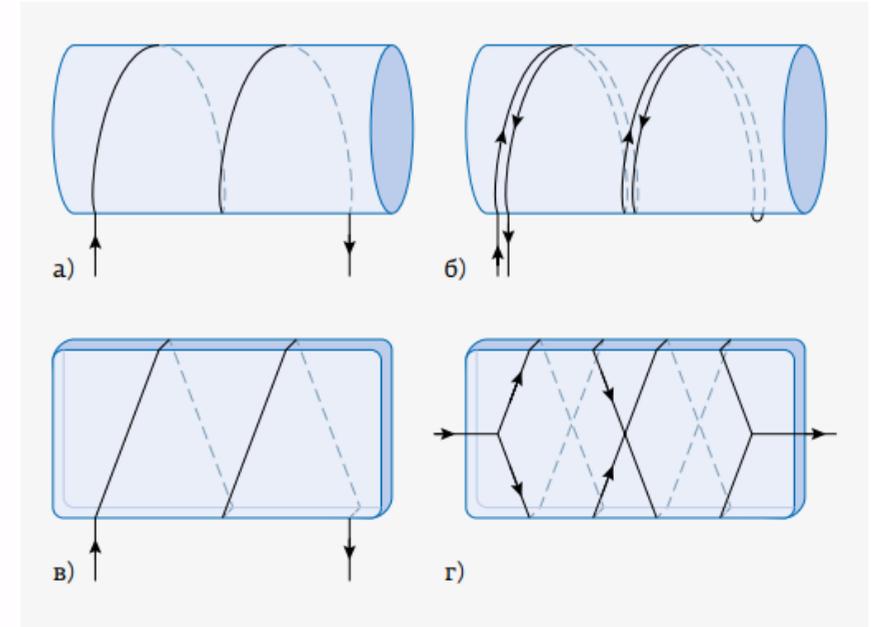


Рис. 3. Типы намоток проволочных резисторов:
а - обычная; б - бифилярная (двухзаходная); в - плоская; г - Айртона-Перри

Типы сплавов	Материал	Состав, %	Удельное сопротивление, Ом·м	ТКС, ppm/°C	Максимальная рабочая температура, °C
Медные сплавы	Константан	54Cu-45Ni-1Mn	0,485	200	400
	Никелин	67Cu-30Ni-3Mn	0,4	110	300
	Манганин	86Cu-2Ni-12Mn	0,442	20	300
Серебряные сплавы	Сплав 109	82Ag-10Mn-8Sn	0,55	~40	-
	Сплав 139	78Ag-13Mn-9Sn	0,61	~80	-
	Сплав 173	80Ag-17Mn-3Sn	0,58	~100	-
Никель-хром	Нихром	20Cr-77/80Ni-2/0Mn	1,105	170	1 150
Железо-хром	CrNiFe 1	70Ni-20Cr-8Fe-2Mn	1,11	900	1 100
	CrNiFe 2	63Ni-15Cr-20Fe-2Mn	1,12	890	1 100
Железо-хром-алюминий	Кантал А	72Fe-20Cr-5Al-3Co	1,45	60	1 300
	Секас	75Fe-20Cr-5Al	1,4	40	1 300
	Мегапир	65Fe-30Cr-5Al	1,4	25	1 350
Чистый металл	Вольфрам	100W-спеченный	0,053	4 500	1 500/1 700

Пленочные постоянные резисторы

Компоненты с несущей подложкой и резистивным слоем от долей до десятков микрометров. Резистивный слой (обязательно в виде пленки, толщина которой значительно меньше толщины подложки) у них закреплен на несущем основании. Делятся на две группы по толщине резистивного слоя: тонкопленочные, толстопленочные и отличаются технологией изготовления. Толщина пленки тонкопленочных компонентов (до 1 мкм) показывает, что основной технологией их изготовления является напыление (магнетронное, ионно-плазменное, вакуумно-термическое), а также осаждение металла из газовой фазы. Для производства тонкопленочных Metal Film резисторов чаще всего используются два сплава: нихром (80Ni20Cr, температура плавления $t_{\text{плавл.}}=1400\text{ }^{\circ}\text{C}$) и нитрид тантала (TaN, $t_{\text{плавл.}}=3\ 360\text{ }^{\circ}\text{C}$). Высокая температура плавления обоих сплавов определяет их мелкозернистую структуру и высокую стойкость к окислению – это два наиболее важных параметра для резистивного материала. При производстве толстопленочных резисторов основной технологией является спекание трафаретно нанесенных на подложку паст, содержащих керамические и металлические включения (кермет).

Группы компонентов по толщине резистивного слоя

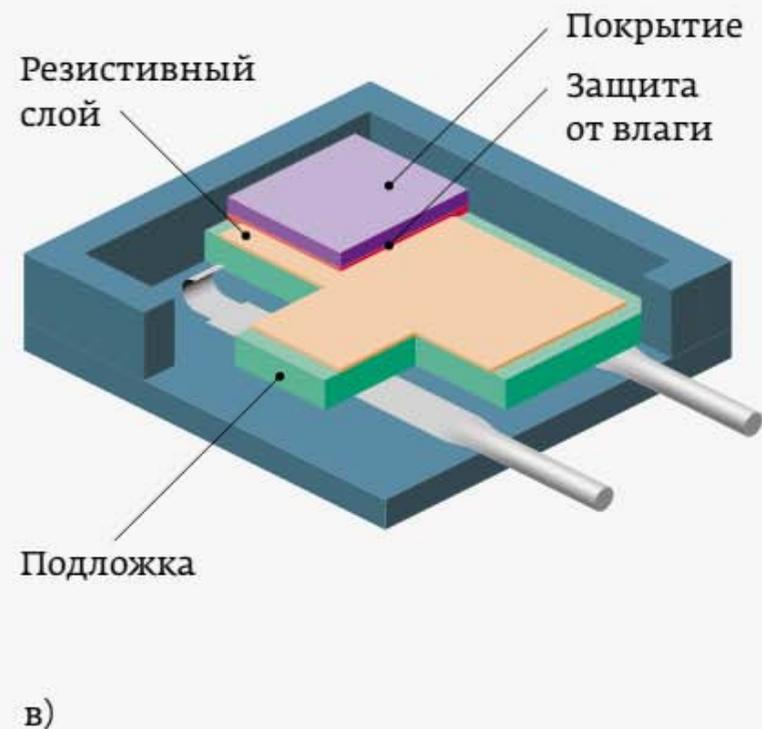
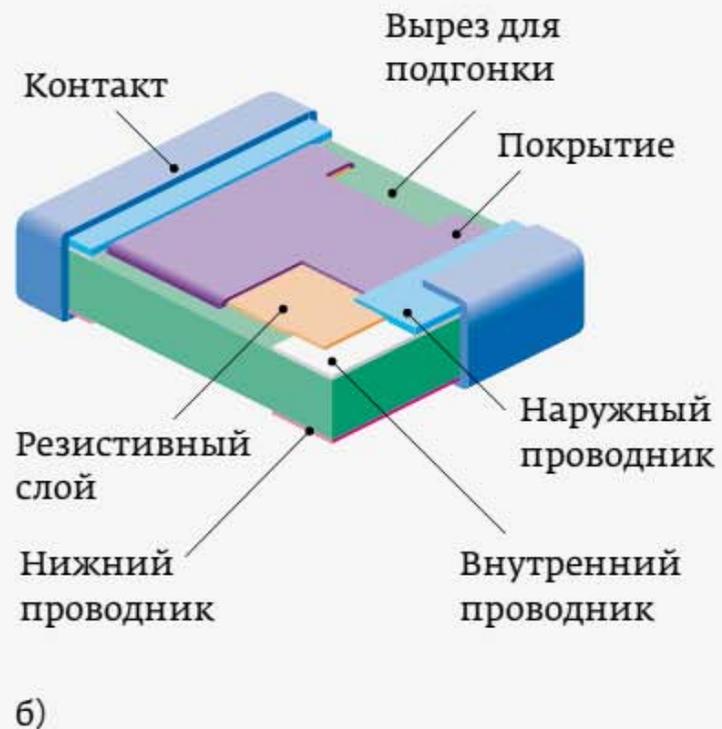
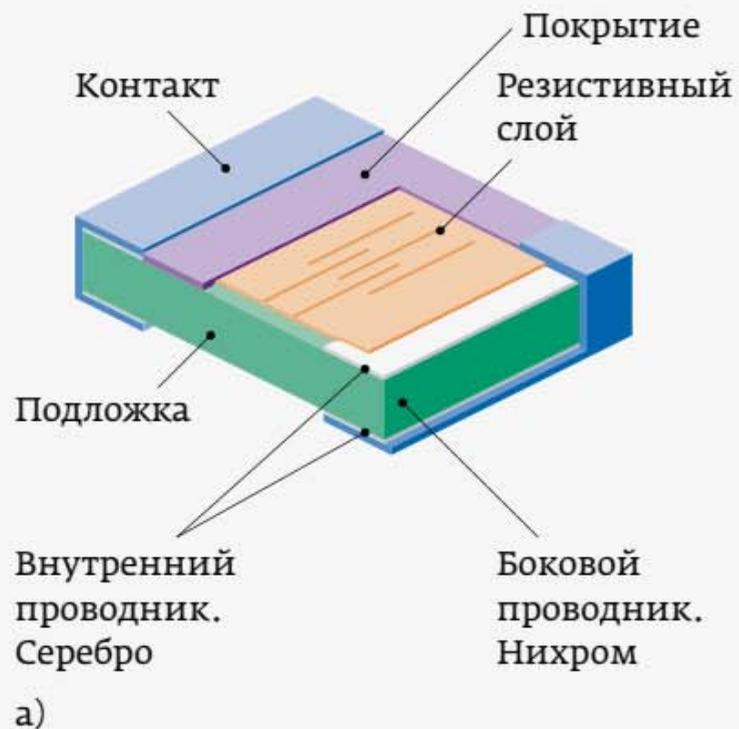
До 1 мкм

- Тонкопленочные (Thin Film) – общее название;
- металлопленочные (Metal Film) – резистивный слой из нихрома или нитрида тантала;
- углепленочные (Carbon Film) – чаще всего цилиндрические выводные резисторы с угольной пленкой;
- металлооксидные (Metal Oxide Film) – чаще всего цилиндрические выводные компоненты с резистивным слоем из окиси олова (SnO_2), иногда с добавлением оксида сурьмы

От 1 до 100 мкм

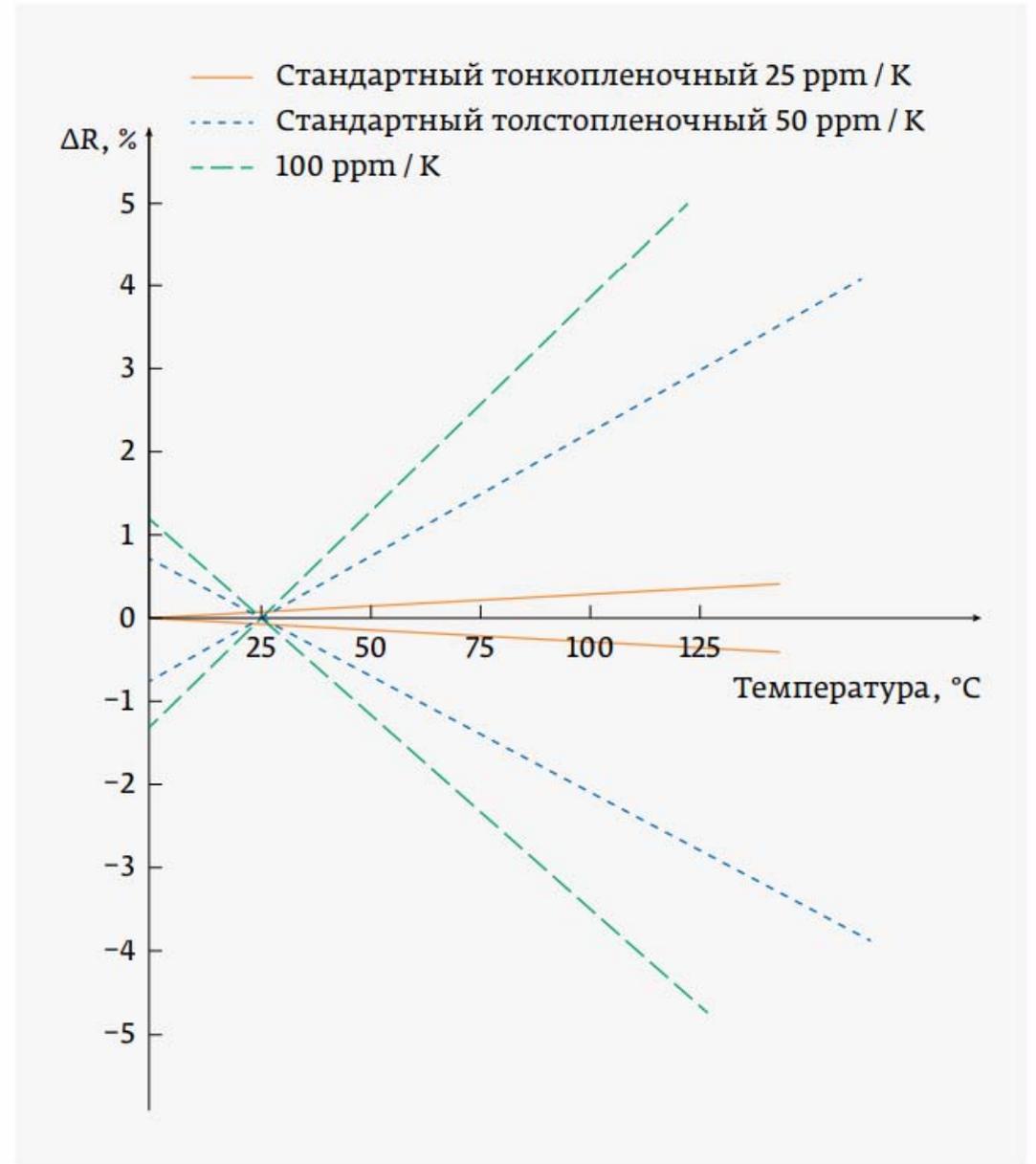
- Толстопленочные (Thick Film) – общее название;
- керметные (Cermet, используется также термин Metal Glaze Film) – резистивный слой из композитного материала на основе керамики и металла;
- металлофольговые (Metal Foil) – резистивный слой представляет собой фольгу из металлургического сплава

Конструкции пленочных резисторов: а – тонкопленочный, компания Phycotr, б – толстопленочный, компания MSI, в – металлофольговый, компания Vishay



Сравнение ТКС тонко- и толсто пленочных резисторов.

Меньшая толщина резистивного слоя в сочетании с его большей однородностью по сравнению с толсто пленочными приводит к снижению шумов у высокоомных компонентов и уменьшению деградации параметров в течение срока службы, а также позволяет достичь лучших допусков номинала, показывает лучший ТКС тонко пленочных резисторов.



Углеродистые резисторы изготавливаются в виде плёночных и объёмных. Плёнки или резистивные тела представляют собой смеси графита с органическими или неорганическими веществами.

В **металлоплёночных и металлоокисных резисторах** в качестве резистивного материала используется тонкая металлическая лента – фольга металлического сплава толщиной 2–10 мкм. Считается, что эти резисторы по своим свойствам наиболее приближены к идеальной модели резистора. При производстве фольговых резисторов применяется приклеивание фольги металлургического сплава к керамической подложке с последующим использованием фотолитографии для получения топологии резистивного слоя. Способ создания такого резистора был предложен Феликсом Зандманом в шестидесятых годах прошлого века.

Резистивный элемент интегральных резисторов —

слабелегированный полупроводник, формируемый в кристалле микросхемы, обычно в виде зигзагообразного канала, изолированного от других цепей микросхемы p-n переходом. Такие резисторы имеют большую нелинейность вольт-амперной характеристики. В основном используются в составе интегральных монокристаллических микросхем, где применить другие типы резисторов принципиально невозможно.

Компоненты с несущим резистивным слоем — у которых резистивный слой служит силовым несущим элементом конструкции. К этому типу относятся объёмные угольные выводные резисторы и сопротивления, выполненные на основе металлургических сплавов.

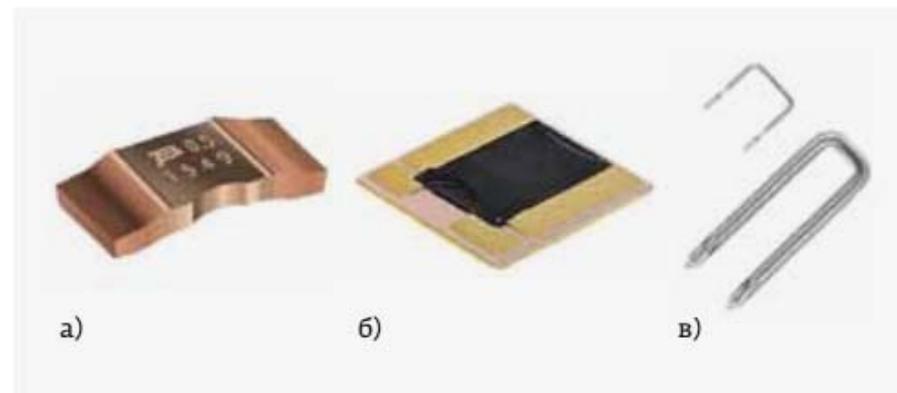
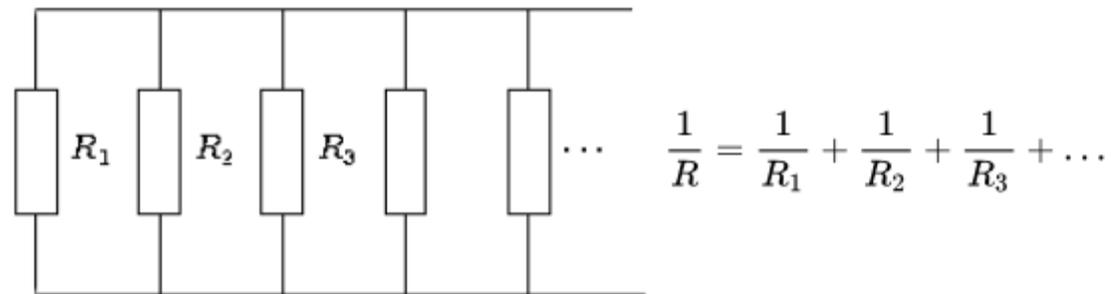


Рис. 8. Резисторы с несущим резистивным элементом: а – Metal Strip (металлоленточные), компания Bourns; б – Metal Plate (металлопластинчатые), компания Vishay; в – Metal Wire (металлопроволочные), компания KOA Speer

Цепи, состоящие из резисторов

Параллельное соединение.

При **параллельном соединении** резисторов складываются величины, обратные сопротивлению, то есть общая проводимость



$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Для двух параллельно соединённых резисторов их общее сопротивление равно:

Если $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n$,

то общее сопротивление равно:

$$R = R/n$$

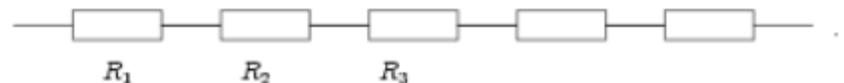
При **параллельном** соединении резисторов итоговая мощность будет равна сумме мощностей всех резисторов

$$P_R = P_{R1} + P_{R2} + \dots + P_{Rn}$$

Цепи, состоящие из резисторов

Последовательное соединение.

При **последовательном соединении** резисторов их сопротивления складываются.



$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Если $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n$, то общее сопротивление равно: $R = nR_1$

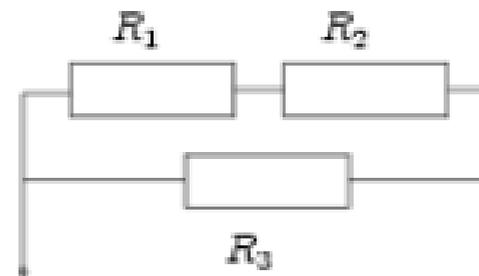
При **последовательном соединении** резисторов итоговая мощность будет равна сумме мощностей всех резисторов

$$P_R = P_{R1} + P_{R2} + \dots + P_{Rn}$$

Параллельно-последовательное соединение.

При **смешанном соединении** схема состоит из двух параллельно включённых блоков.

Общая проводимость будет равна



$$R = \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{(R_1 + R_2)} + \frac{1}{R_3}$$

Цепи, состоящие из резисторов

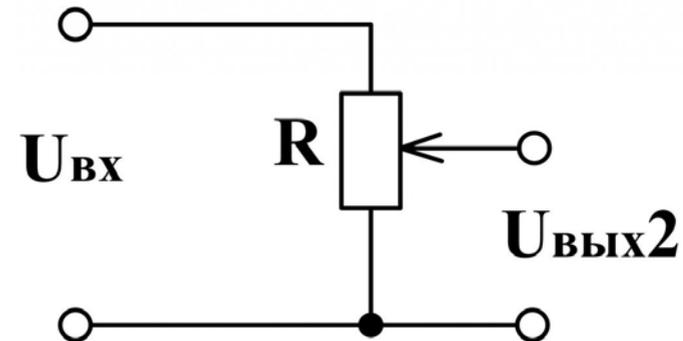
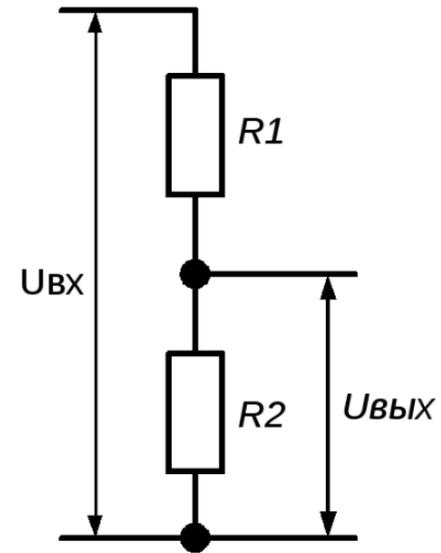
Делители напряжения

- Могут использоваться и для постоянного, и для переменного тока.
- Делители предназначены для низкого напряжения.
- Их нельзя использовать при питании мощных нагрузок.
- Самый простой вариант исполнения - последовательное соединение двух резисторов.
- Может применяться вместо двух резисторов один потенциометр.

$$U_{\text{ВЫХ}} = R_2 * I, \quad U_{\text{ВЫХ}} = R_2 * \frac{U_{\text{ВХ}}}{R_1 + R_2}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{\frac{R_1}{R_2} + 1}$$

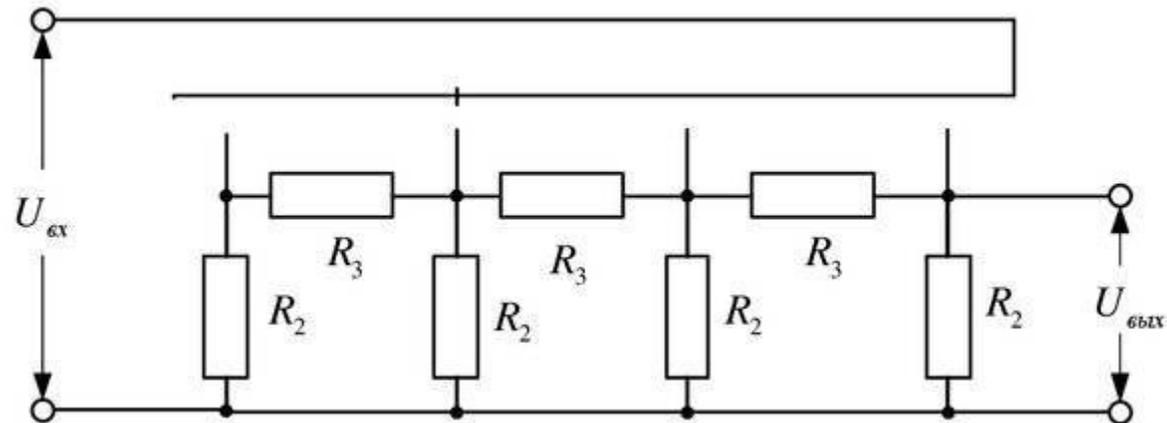
$$U_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВЫХ}} * \left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right)$$



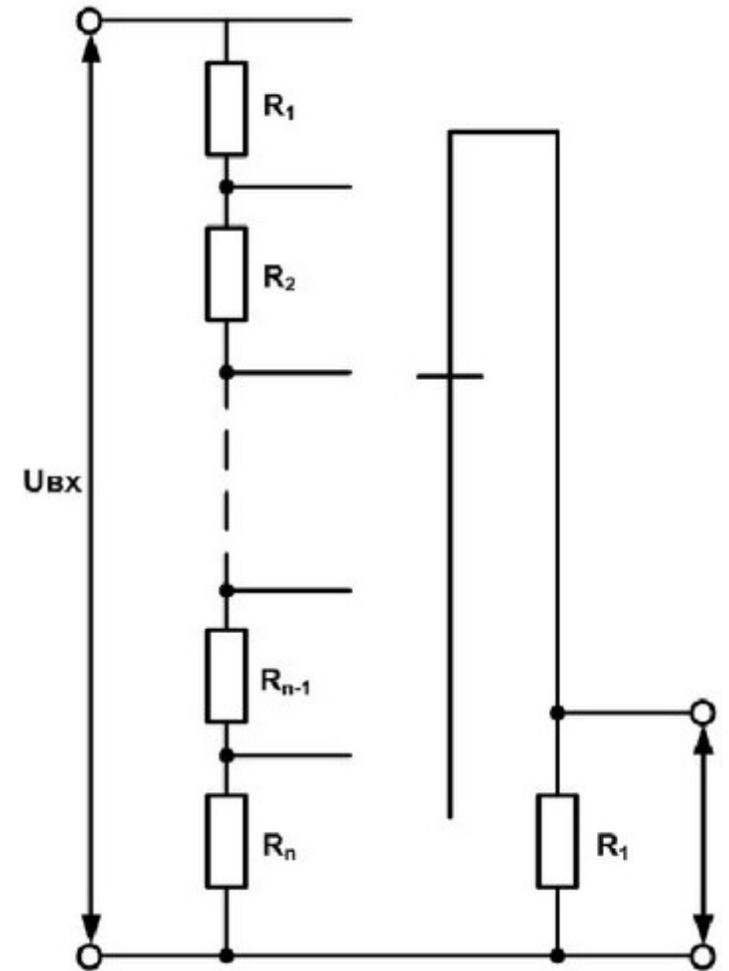
Цепи, состоящие из резисторов

Лестничные делители напряжения

- В резисторных делителях могут применяться больше двух резисторов.
- Используются делители секционированного типа или ступенчатого типа.
- Применяются эти решения в измерительных схемах, а так же в схемах АЦП или ЦАП.



Ступенчатый



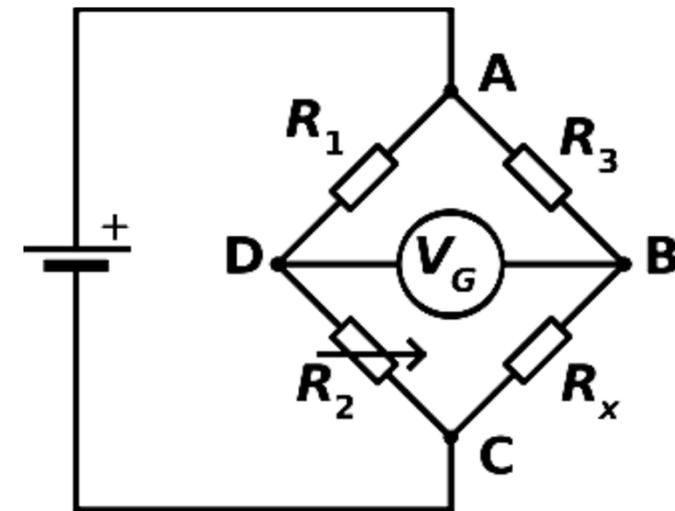
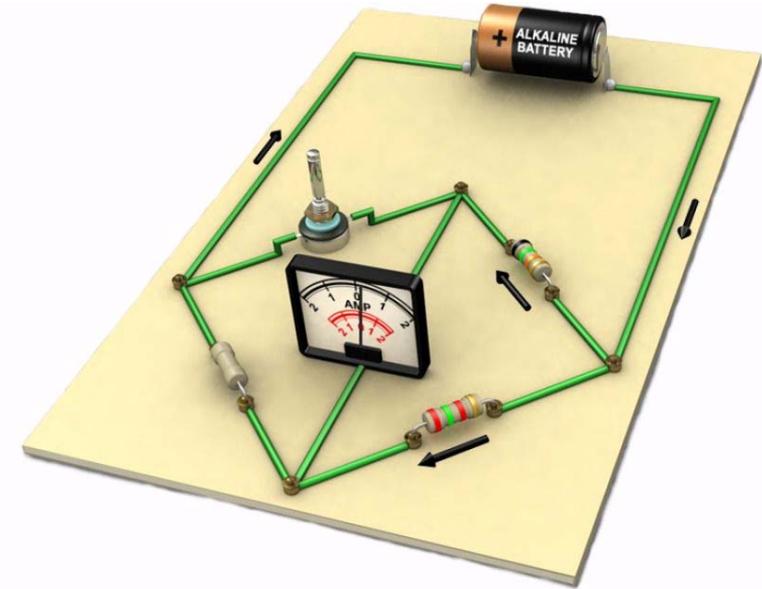
Секционированный

Цепи, состоящие из резисторов

Резисторный мост Уитстона

Измерительный мост Уитстона — электрическая схема для измерения электрического сопротивления. Предложен в 1833 году Самуэлем Хантером Кристи и в 1843 году усовершенствован Чарльзом Уитстоном. Мост Уитстона относится к одинарным мостам в отличие от двойных мостов Томсона. Состоит из 4 резисторов, соединенных в виде ромба или квадрата. Применяется измерительных схемах. Принцип измерения сопротивления основан на уравнивании потенциала средних выводов двух ветвей. Отношение R_2/R_1 равно отношению R_x/R_3

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3}, \quad R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1};$$

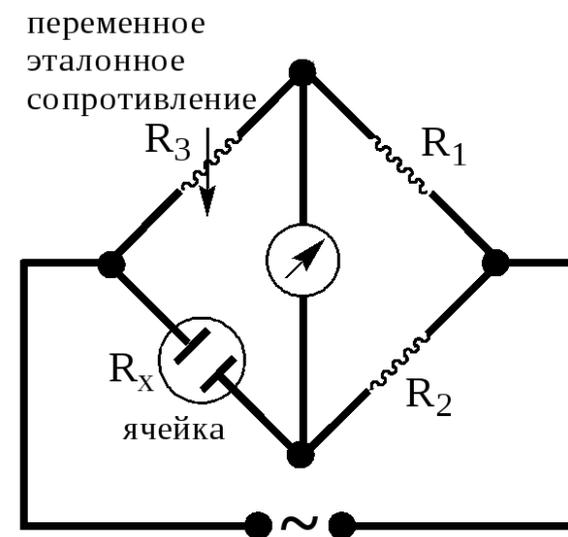
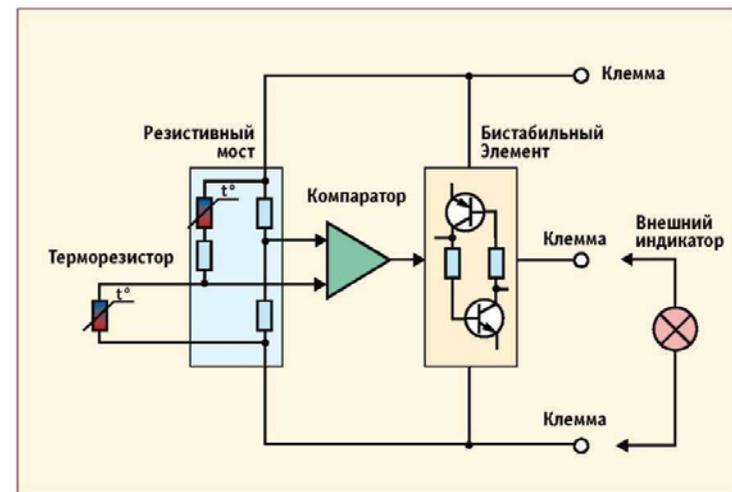


Цепи, состоящие из резисторов

Применение резисторного моста Уитстона

Мост Уитстона применим не только для измерений сопротивлений резисторов, но и **для нахождения самых разных неэлектрических параметров, нужно чтобы сам датчик неэлектрической величины был резистивным.** Тогда сопротивление чувствительного элемента-датчика, изменяясь под неэлектрическим воздействием на него, может быть измерено при помощи мостовой схемы Уитстона, и соответствующая неэлектрическая величина может быть таким образом найдена с малой погрешностью.

- Применение в весах. Измерение отношения сопротивлений тензо-резисторов позволяет вычислить массу измеряемого груза. Датчик, кстати, может быть и пьезоэлектрическим, если измеряется быстрая или динамическая деформация.
- Применение в датчиках температуры. Измерение сопротивления термо-резистора позволяет точно измерить температуру.
- Применение в датчиках движения. Измерение отношения сопротивлений двух пирометрических датчиков позволяет определить изменение теплового поля, таким образом определить движение.



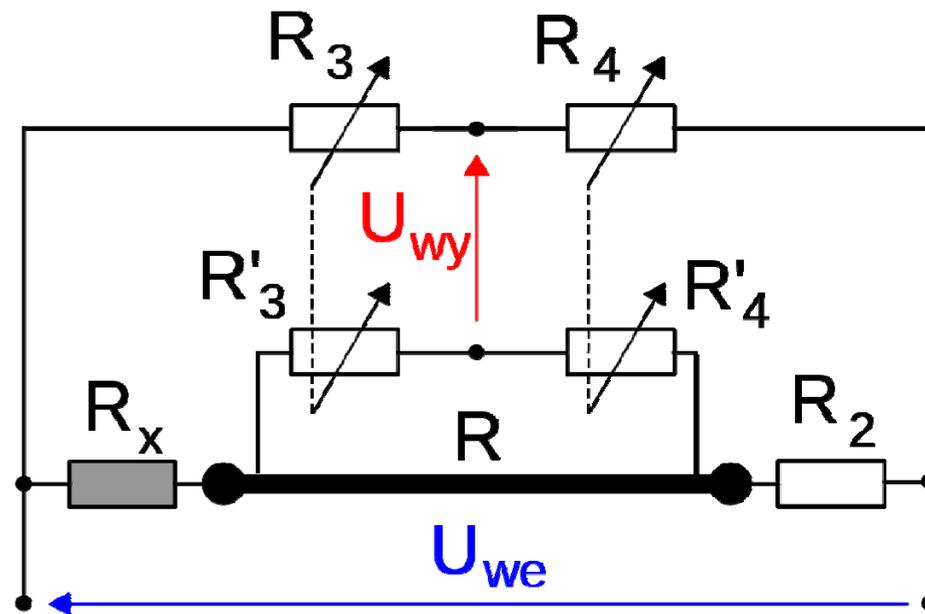
Цепи, состоящие из резисторов

Резисторный мост Кельвина

Мост Кельвина (мост Томсона) — схема для измерения электрических сопротивлений, изобретённая У. Томсоном (лорд Кельвин). Схема используется для измерения электрических сопротивлений величиной менее 1 Ома. Её принцип действия подобен принципу действия моста Уитстона, но в мосте Кельвина имеются добавочные сопротивления, которые имеют малые значения, в совокупности с конфигурацией моста существенно снижают ошибки измерения, вносимые падением напряжения на плече моста с высоким током (низким сопротивлением).

$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} + R \cdot \frac{R_3 \cdot R'_4 - R'_3 \cdot R_4}{R_4 \cdot (R + R'_3 + R'_4)}$$

Сопротивление R должно быть намного меньше, чем измеряемое сопротивление, и обычно представляет собой короткую толстую проволоку из меди. Если условие $R_3 \cdot R'_4 = R'_3 \cdot R_4$ выполняется (и сопротивление R достаточно мало), вторым слагаемым в формуле выше можно пренебречь, и тогда измеряемое сопротивление можно посчитать по приближённой формуле:



Что эквивалентно мосту Уитстона

$$R_x \approx R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Цепи, состоящие из резисторов

Сумматор напряжений

Сумматор — это устройство, формирующее на выходе напряжение или ток, пропорциональный сумме входных напряжений или токов.

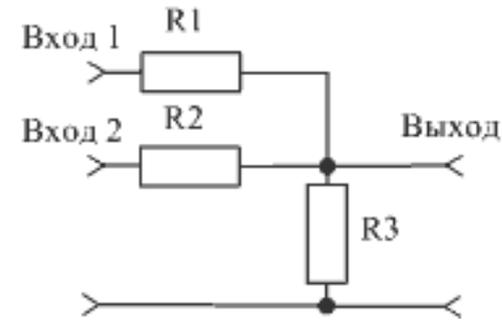
Реализуется суммирование токов, согласно первому закону Кирхофа.

Резисторы R1 и R2 служат для преобразования источника напряжения в источник тока. Суммарный ток, вытекающий из точки соединения резисторов на общий провод, преобразуется в напряжение на резисторе R3.

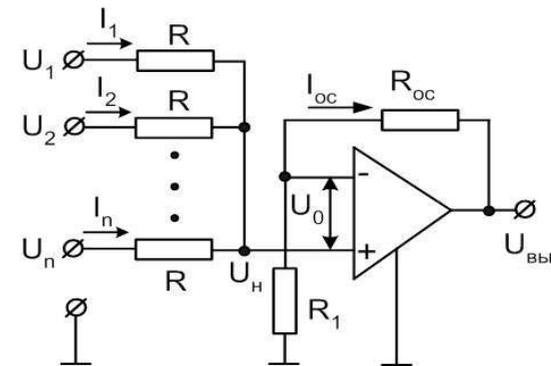
В схеме сумматора, выполненного на операционном усилителе, также как и в схеме резистивного сумматора, весовые коэффициенты суммирования зависят от соотношения резисторов R1 и R2.

Применение

- в смесителях аудио или аналоговых сигналов,
- в цепях коррекции в регуляторах,
- суммирование прямого и обратного сигнала



Неинвертирующий сумматор



При $U_0=0$ напряжения на обоих входах ОУ равны и составляют

$$U_n = U_u = \frac{R_1}{R_1 + R_{oc}} U_{\text{вых}}$$

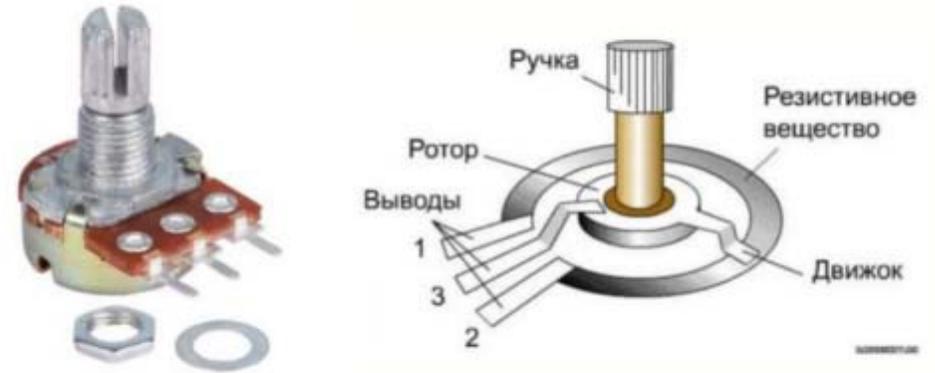
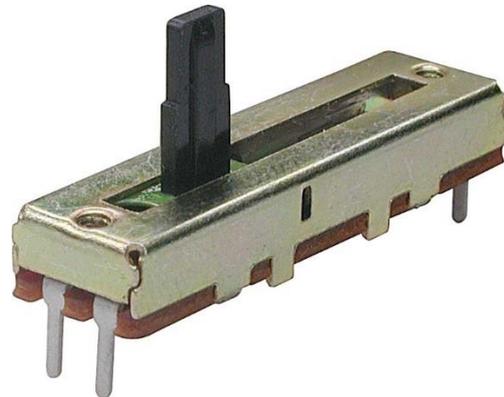
Переменные резисторы

Переменные регулировочные резисторы

Переменный резистор, сопротивление которого можно изменять от нуля до номинального значения.

Состоит из:

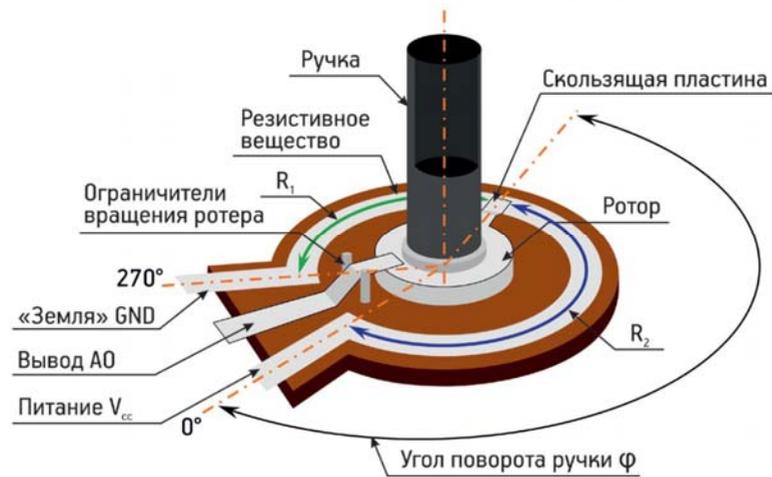
- Резистивного элемента с припаянными по краям двумя выводами;
- Подвижного подпружиненного третьего контакта (ползунка, бегунка), который можно передвигать по металлической или металлизированной дорожке (коллектору);
- Ручки, которая управляет регулировочным механизмом.
- Ручка переменного резистора выводится на лицевую панель прибора.



Переменные резисторы

Переменные подстроечные резисторы

Подстроечный резистор один из разновидностей переменного – применяется для точной подстройки отдельных узлов радиоэлектронной аппаратуры. Его сопротивление так же можно изменять от нуля до номинального значения. Подстроечный резистор компактного размера, устанавливается непосредственно на электронной плате и применяется для вывода схемы в нужный режим только на стадии настройки. Регулируется только с помощью отвертки.



Типы переменных резисторов

Проволочный

Состоит из трубчатого пластмассового или керамического каркаса, на который в виде однослойной обмотки уложена тонкая проволока с высоким сопротивлением (манганиновая или константановая). По поверхности проволоки скользит металлический ползунок, который при перемещении касается следующего витка обмотки раньше, чем сойдет с предыдущего – этим обеспечивается плавность регулировки.



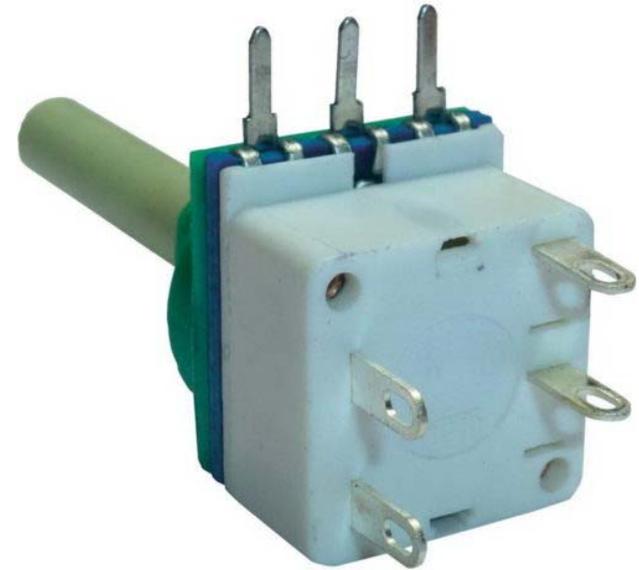
Тонкопленочный

Состоит из каркаса в виде подковообразной диэлектрической пластины, покрытой тонкой пленкой, изготовленной из углерода, бора, металлизированных или композиционных материалов. По поверхности пленки скользит ползунок, прочно связанный с регулировочным механизмом.



Основные характеристики переменных резисторов

- Номинальное (полное) *сопротивление*;
- Номинальная *мощность*;
- Максимальная *мощность*, которую резистор может рассеивать в виде тепла;
- Предельное рабочее *напряжение*;
- Температурный коэффициент сопротивления *ТКС*;
- Допуск или *точность*;
- *Износоустойчивость*, число циклов передвижения подвижного контакта;
- *Функциональная зависимость*. Зависимость изменения сопротивления резистора от угла поворота:
 - *Линейная* – равномерное изменение сопротивления;
 - *Нелинейная логарифмическая*;
 - *Нелинейная обратно-логарифмическая*;
 - *Уровень шумов*. Электрические помехи, возникающие при работе подвижного контакта.



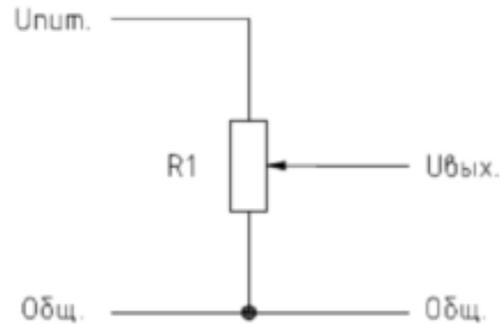
- Одно секционные, двух или более секционные;
- С кнопкой или выключателем или без;
- Номиналы сопротивлений для переменных резисторов ограничиваются рядом Е6: **1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8**

Схема подключения переменных резисторов

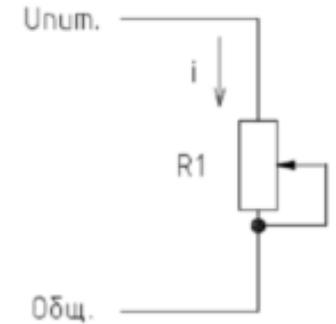
Работа переменных сопротивлений зависит от схемного соединения. Различают два типа подключения:

- **Реостат.** Включается в цепь последовательно, служит для регулировки силы тока и напряжения. Реостат включается в цепь двумя контактами – любым крайним и подвижным.
- **Потенциометр.** Потенциометры служат делителями напряжения, включаются в схему параллельно и позволяет регулировать напряжение от нуля до напряжения источника путем изменения сопротивления цепи. При подключении потенциометра задействованы все три контакта.
- Для **уменьшения сопротивления** переменного резистора – нужно параллельно ему подключить в цепь резистор с постоянным сопротивлением.

Включение потенциометром



Включение реостатное

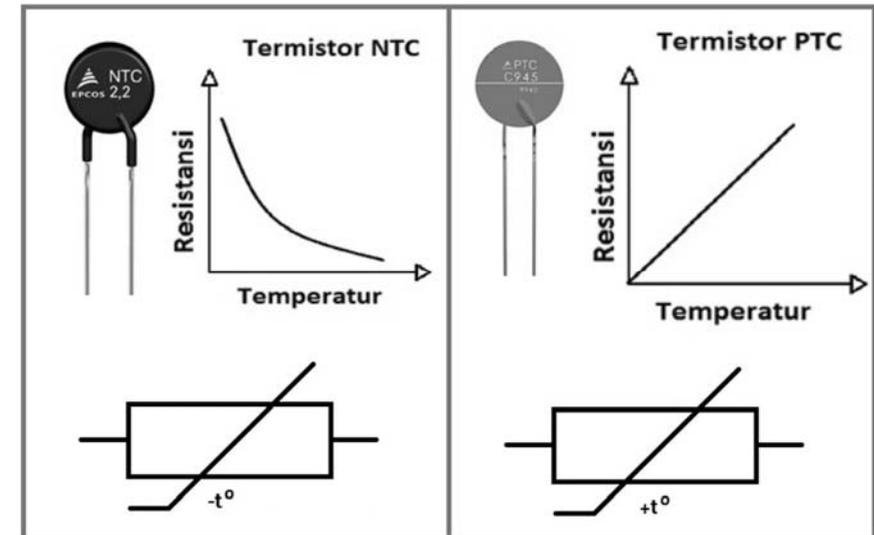
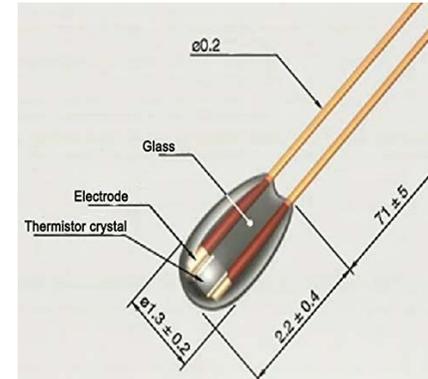


Нелинейные резисторы

Термо-резистор Термистор Позистор

Существует огромный ассортимент терморезисторов, позисторов и NTC-термисторов. Каждая отдельная модель изготавливается для эксплуатации в определённых условиях. Компоненты, сопротивление которых меняется при изменении температуры. Этот элемент изобрел в 1930 году ученый Самюэль Рубен.

По типу зависимости сопротивления от температуры различают терморезисторы с отрицательным (**NTC-термисторы**, от слов «**Negative Temperature Coefficient**») и положительным (**PTC-термисторы**, от слов «**Positive Temperature Coefficient**») или **позисторы**) температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Для **позисторов** — с ростом температуры растёт их сопротивление; для NTC-термисторов увеличение температуры приводит к падению их сопротивления.



Нелинейные резисторы

NTC Термистор

NTC-термисторы чаще всего применяются для измерения температуры окружающего пространства. Увеличение температуры приводит к уменьшению сопротивления.

Терморезисторы классифицируют как:

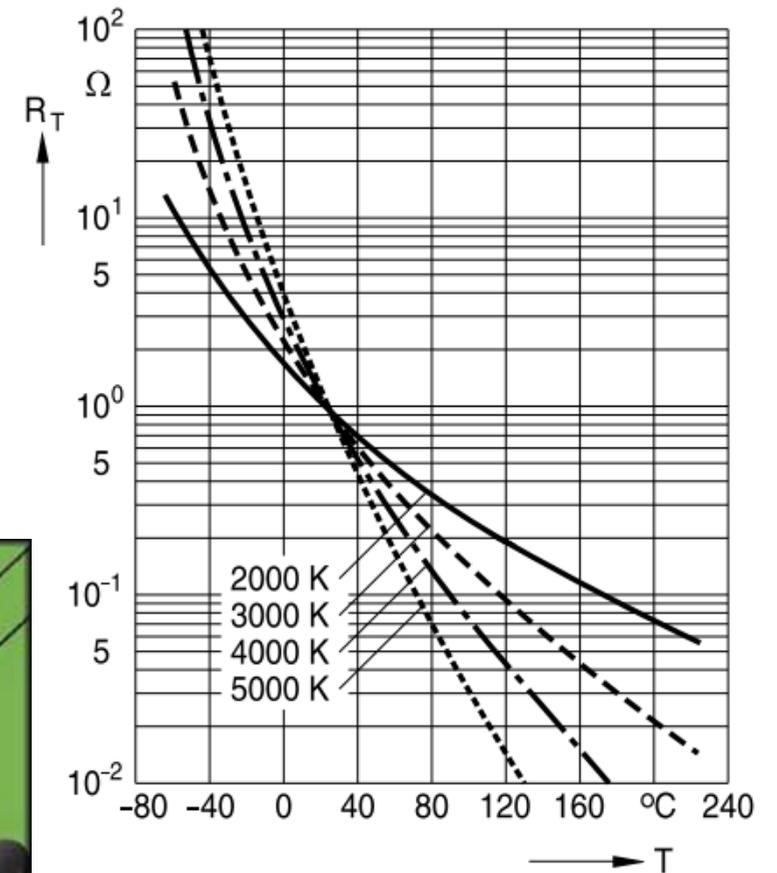
- *низкотемпературные* (ниже 170 К),
- *среднетемпературные* (от 170 до 510 К) ;
- *высокотемпературные* (выше 570 К).

По видам производственного процесса:

- *бисерные*;
- *дисковые и чиповые*;
- *в оболочке из стекла*.



Зависимость R_T сопротивления от температуры T
(при разных значениях коэффициента B)

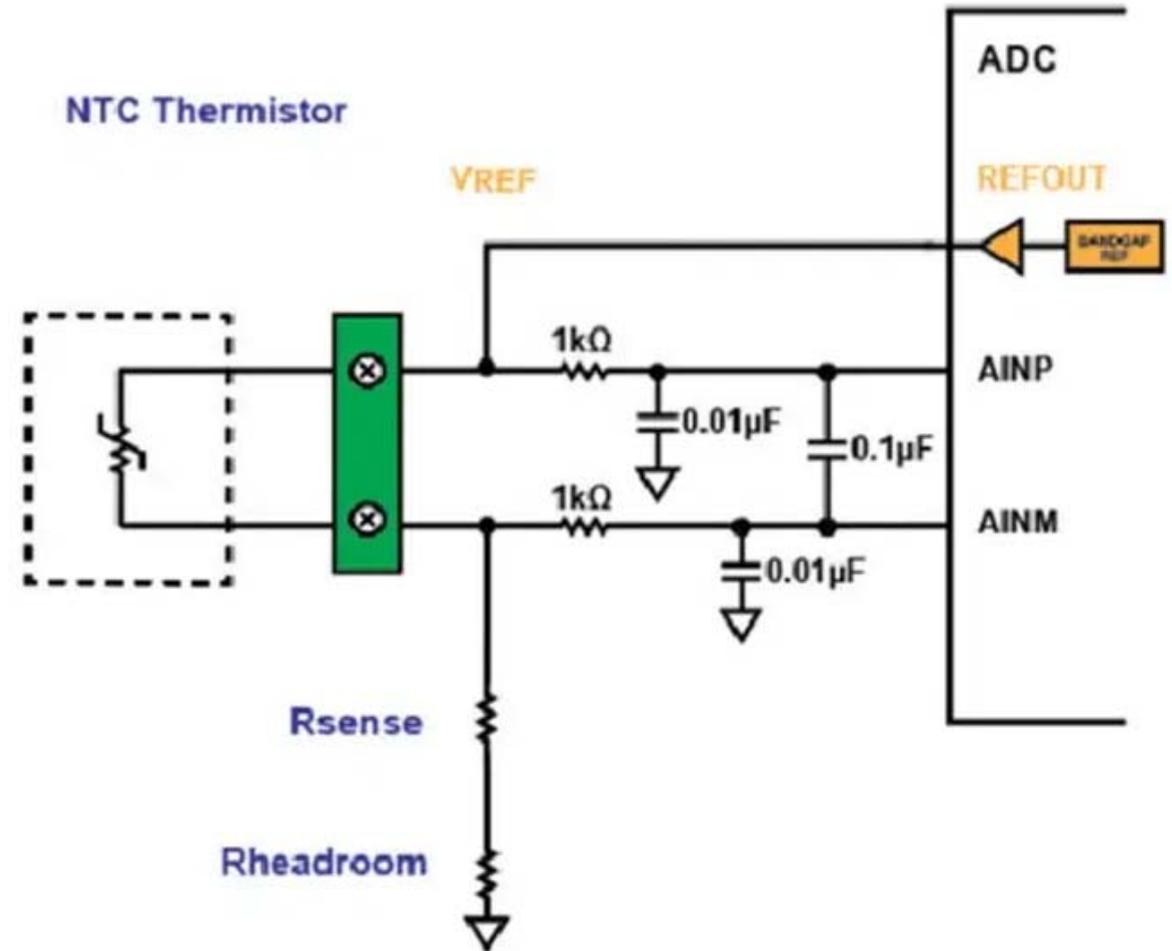
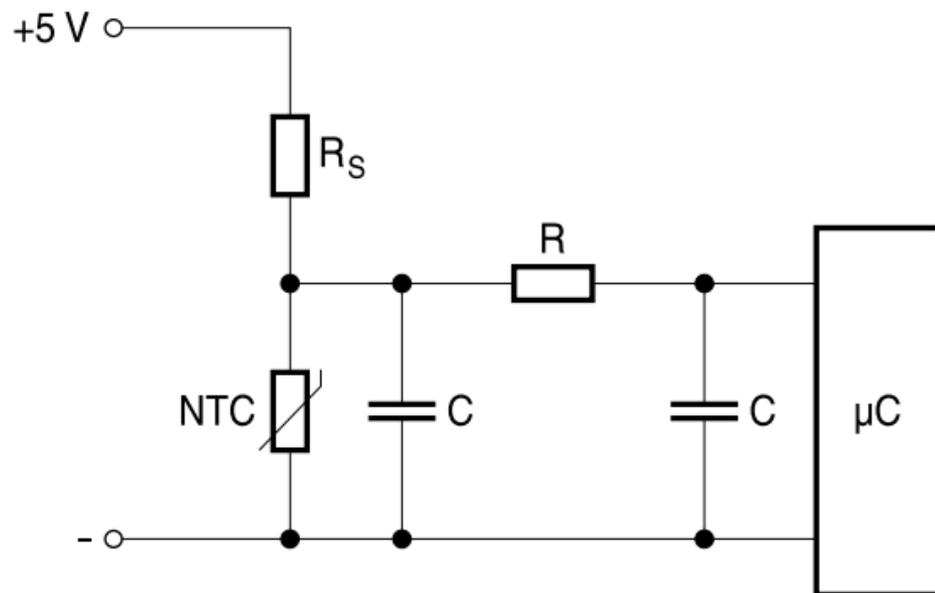


Нелинейные резисторы

Схема подключения Термистора

Через терморезистор пропускается постоянный ток от образцового источника тока и измеряется падение напряжения на терморезисторе.

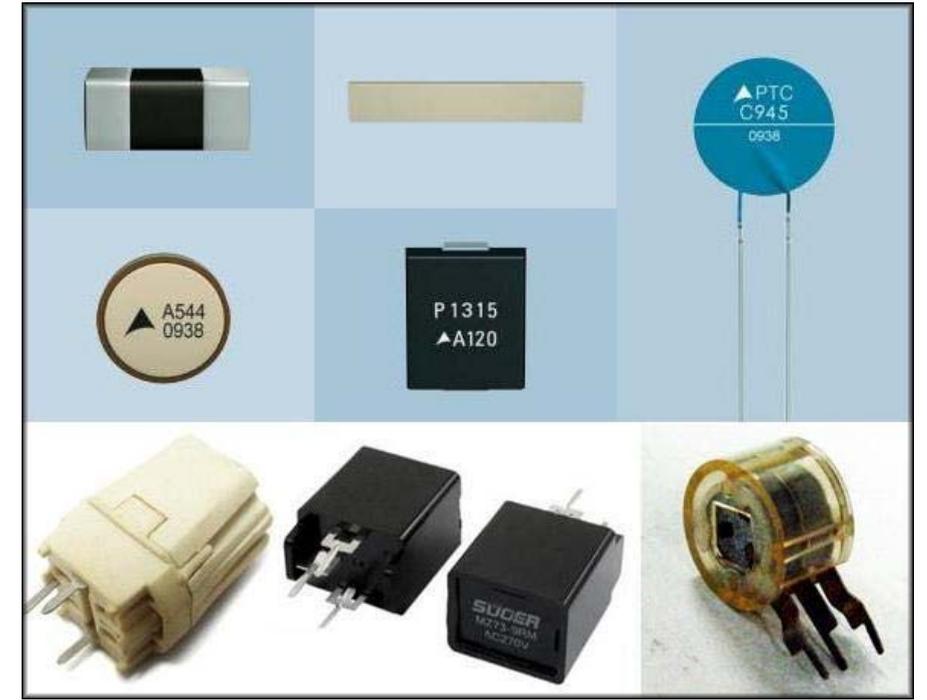
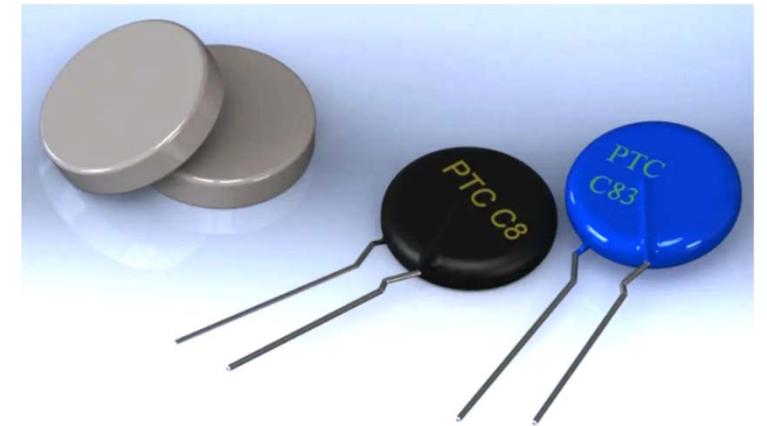
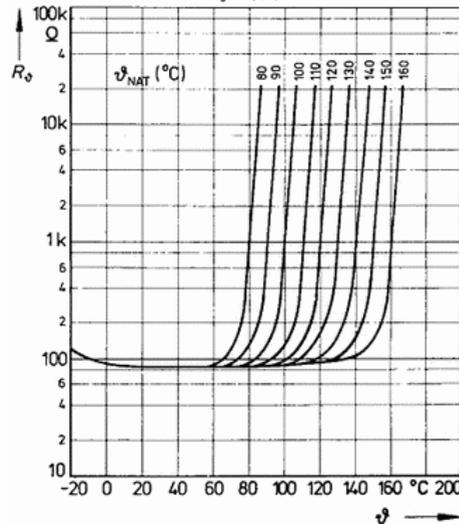
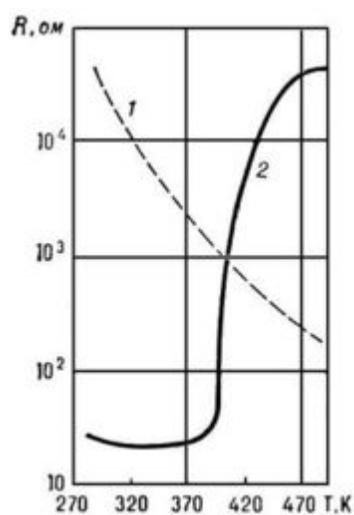
Сопротивление вычисляется по закону Ома. Второй вариант более простой, используется точный источник напряжения и образцовый резистор R_s .



Нелинейные резисторы

PTC Термисторы

Второе название элементов с Positive Temperature Coefficient — позисторы. PTC-термистор применяется для ограничения тока при коротком замыкании и перегрузках. Т.е. это своеобразный предохранитель. По количеству ножек есть 2 типа позисторов: с 2 или 3 указанными элементами. Трехвыводные состоят из 2 пластинок, объединенных одним корпусом. Одна из пластинок меньшая. Отличается и R , например, 1.3...3.6 кОм и 18...24 Ом. TP с 2 ножками чаще всего кремниевые (Si), это более узнаваемые пластинки.

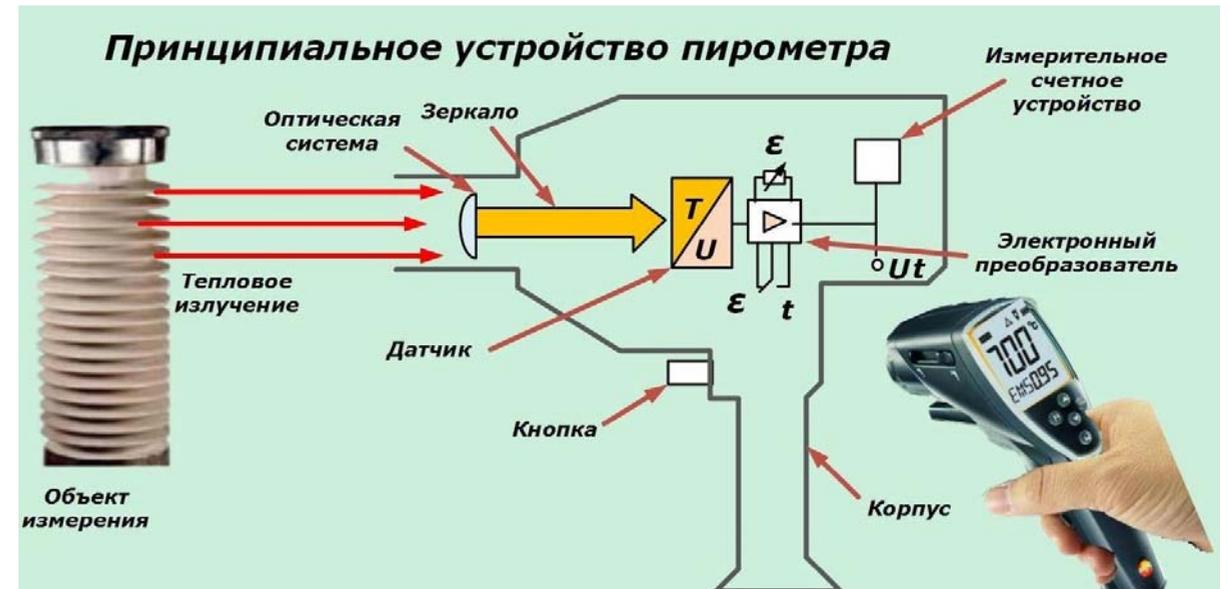


Нелинейные резисторы

Пирометр

Принцип действия болометрического пирометра основан на изменении электрического сопротивления термочувствительного элемента вследствие его нагрева под воздействием поглощаемого потока электромагнитной энергии. Тонкая пластинка из платины, зачерненная для лучшего поглощения излучения, из-за своей малой толщины под действием излучения быстро нагревается и ее сопротивление повышается.

Но в пирометрах могут применяться и другие типы датчиков: оптические (яркостные, цветные), термопары, полупроводниковые термодатчики и другие типы.



Нелинейные резисторы

Фоторезистор — полупроводниковый прибор, изменяющий величину своего сопротивления при облучении светом. Не имеет р-n-перехода, поэтому обладает одинаковой проводимостью независимо от направления протекания тока - его ВАХ симметрична.

Явление изменения электрического сопротивления полупроводника, называется фоторезистивным эффектом, или внутренним фотоэлектрическим эффектом.

Для изготовления фоторезисторов используют полупроводниковые материалы с шириной запрещенной зоны, оптимальной для решаемой задачи. Для регистрации видимого света используются фоторезисторы из селенида и сульфида кадмия, Se. Для регистрации инфракрасного излучения используются Ge (чистый или легированный примесями Au, Cu или Zn), Si, PbS, PbSe, PbTe, InSb, InAs, HgCdTe, часто охлаждаемые до низких температур с помощью термоэлектрического охладителя, компактного сосуда Дьюара с жидким азотом или же с помощью дросселирования азота. Полупроводник наносят в виде тонкого слоя на стеклянную или кварцевую подложку или вырезают в виде тонкой пластинки из монокристалла.

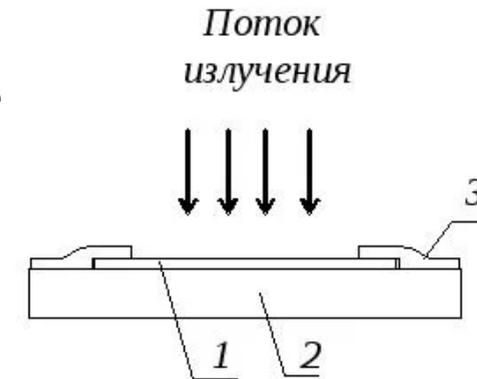
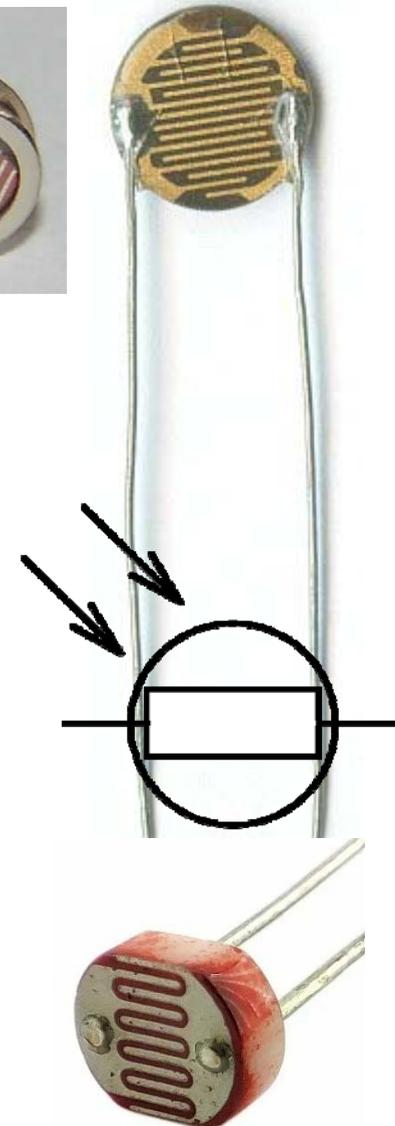


Рис. 7.15. Принципиальное устройство фоторезистора
1 – светочувствительный полупроводниковый слой,
2 – изоляционное основание,
3 – металлические электроды



Нелинейные резисторы

Резистивный датчик влажности

В основе его работы лежит свойство некоторых проводящих материалов впитывать влагу, за счет чего изменяется омическое сопротивление элемента. В качестве таких материалов применяются порошковые пористые структуры, чаще всего, оксид алюминия. Порошок наносят на плату между двумя электродами, выполненными в виде дорожек, и запекают до состояния пленки. Наличие пленочной поверхности предотвращает последующее растворение керамического порошка и образование конденсата в его структуре. Однако при взаимодействии с молекулами воды, содержащимися в воздухе, пленка меняет физические свойства. По мере накопления влаги на поверхности пленки сопротивление такого резистора пропорционально уменьшится, проводимость возрастет, как и величина протекающего в цепи тока. За счет измерения тока или падения напряжения на резистивном элементе осуществляется контроль влажности.

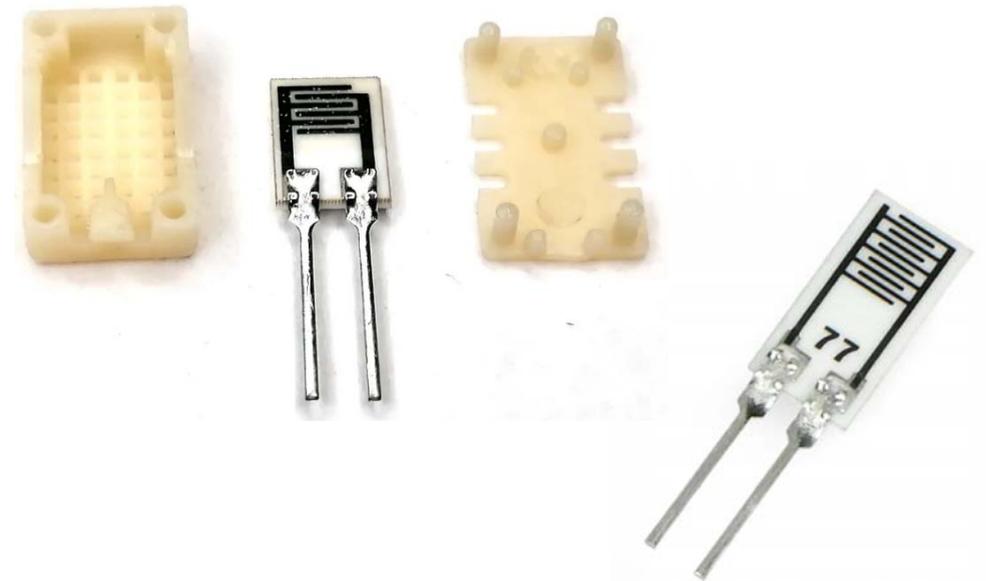


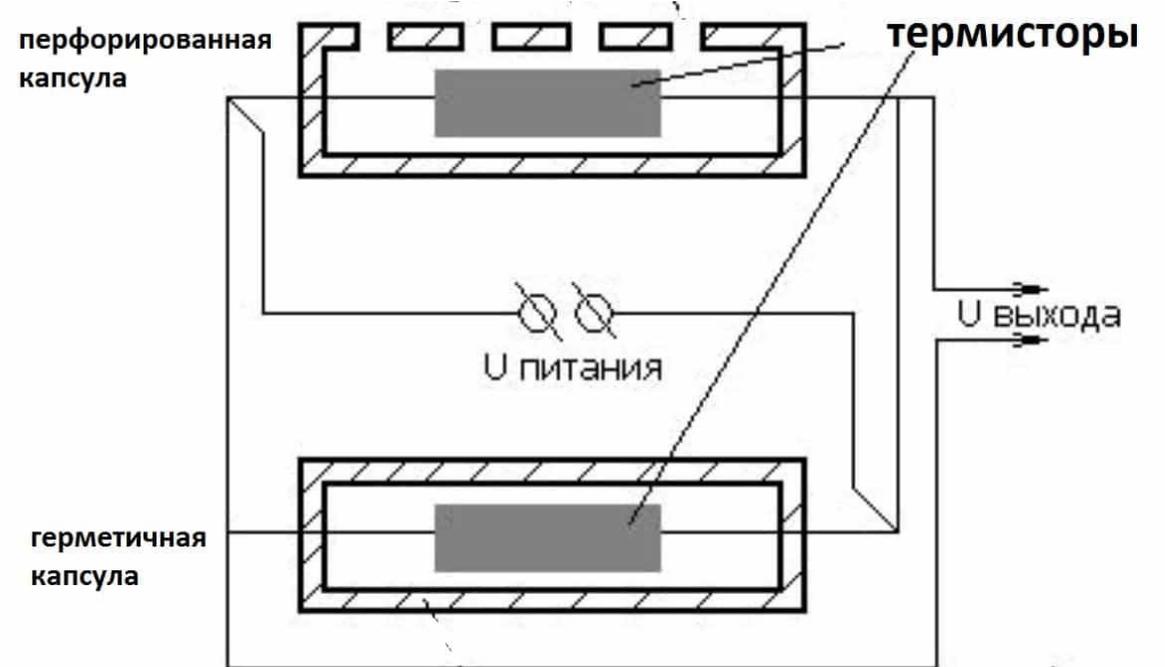
Рисунок 1 - Резистивный датчик влажности



Нелинейные резисторы

Термисторный датчик влажности

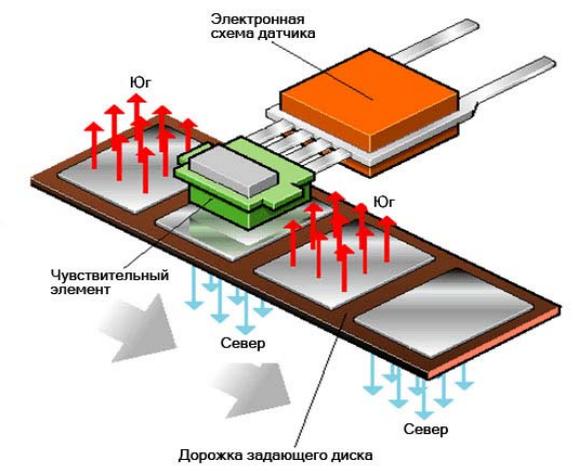
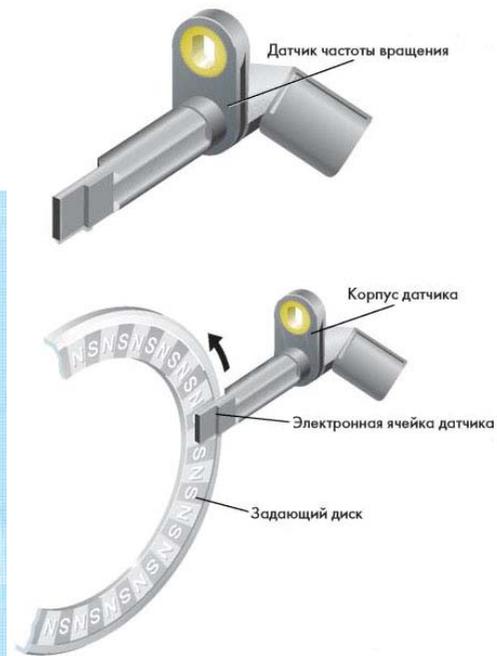
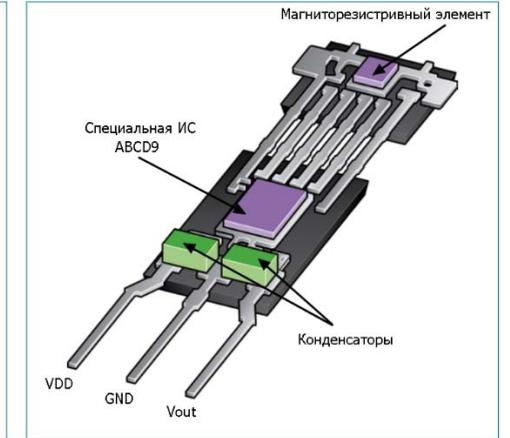
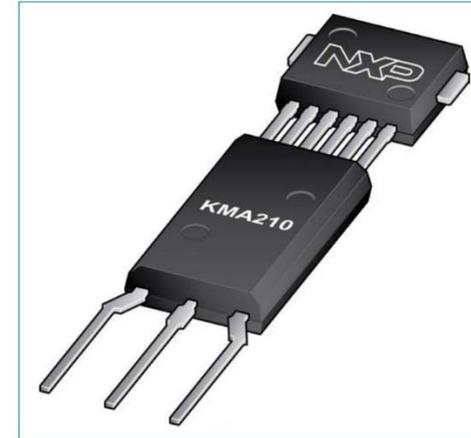
В основе работы такого датчика влажности лежит термистор – нелинейный резистор, чье сопротивление зависит от температуры. Принцип действия основывается на сравнении показаний двух термисторов. Один из них размещается в герметичной капсуле с сухим воздухом и является базовым параметром. Второй термистор устанавливается в перфорированную капсулу, которая взаимодействует с воздушными массами. Оба термистора располагаются в плечах измерительного моста для сравнения показаний. При увлажнении воздушного пространства термистор в перфорированной капсуле покрывается влагой. Слой жидкости начинает испаряться с поверхности резистора и он быстрее остывает, в результате чего меняются разница сопротивлений двух термисторов и изменится напряжение в плечах измерительного моста.



Нелинейные резисторы

Магнито-резистивный датчик

Магнитосопротивление (магниторезистивный эффект) — изменение электрического сопротивления материала в магнитном поле. Впервые эффект был обнаружен в 1856 Уильямом Томсоном. Изменение тока через образец при том же приложенном напряжении и изменении магнитного поля и зависит и от ориентации относительно магнитного поля. Все вещества в той или иной мере обладают магнитосопротивлением благодаря силе Лоренца. В полупроводниках относительное изменение сопротивления может быть в 100—10 000 раз больше, чем в металлах.

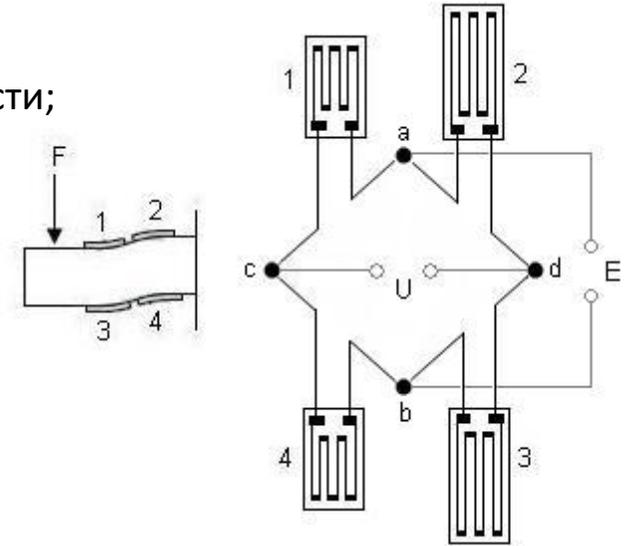


Нелинейные резисторы

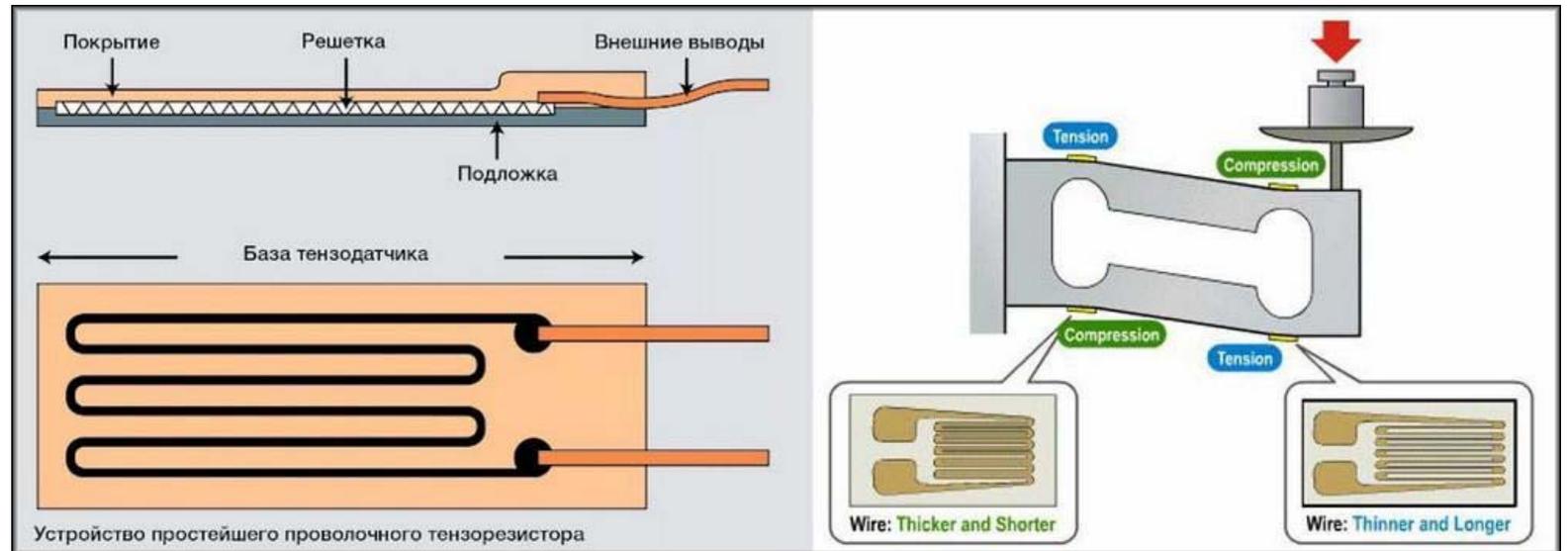
Тензо-резистивный датчик

Работа тензорезистора основывается на законе Гука, гласящем, что изменение электрического сопротивления по отношению к исходному положению элемента пропорционально удлинению или сжатию сенсора. Из этого определяется коэффициент пропорциональности: $K = \Delta l / l = \Delta R / R$

K – коэффициент пропорциональности;
 Δl – величина изменения длины
 l – длина измеряемого;
 ΔR – изменение сопротивления при деформации;
 R – сопротивление тензорезистора в нормальном положении.

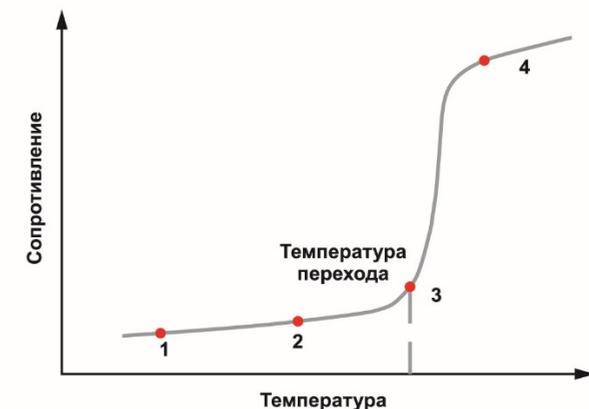
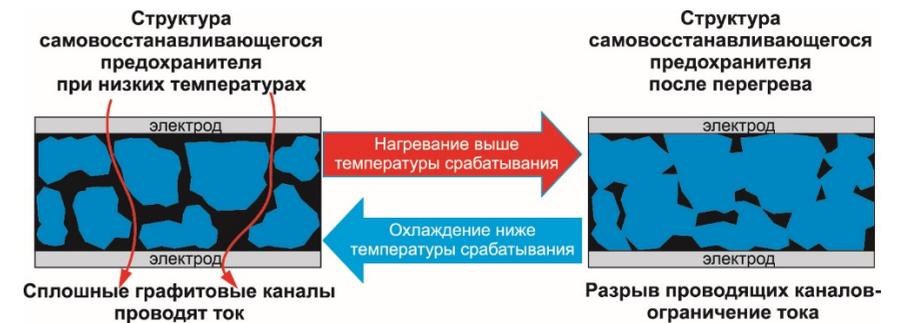


При удлинении тензодатчика длина проводящих дорожек увеличивается, а поперечное сечение уменьшается. Омическое сопротивление тензорезистора будет повышаться. При сжатии произойдет обратный процесс.



Самовосстанавливающийся предохранитель

Это полимерное устройство с положительным температурным коэффициентом сопротивления разновидность РТС термистора, применяемое в защите электронной аппаратуры. Принцип действия предохранителя основан на резком увеличении сопротивления при превышении порогового тока. Предохранитель представляет собой матрицу из непроводящего ток полимера, смешанного с техническим углеродом. В холодном состоянии полимер кристаллизован, а пространство между кристаллами заполнено частицами углерода, образующими множество проводящих цепочек. Если через предохранитель начинает протекать слишком большой ток, он начинает нагреваться, и в какой-то момент времени полимер переходит в аморфное состояние, увеличиваясь в размерах. Из-за этого увеличения углеродные цепочки начинают разрываться, что вызывает рост сопротивления, и предохранитель нагревается еще быстрее. В конце концов сопротивление предохранителя увеличивается настолько, что он начинает заметно ограничивать протекающий ток, защищая таким образом внешнюю цепь. После устранения замыкания, когда протекающий ток снизится до исходного значения, предохранитель остывает и его сопротивление возвращается к начальному значению.

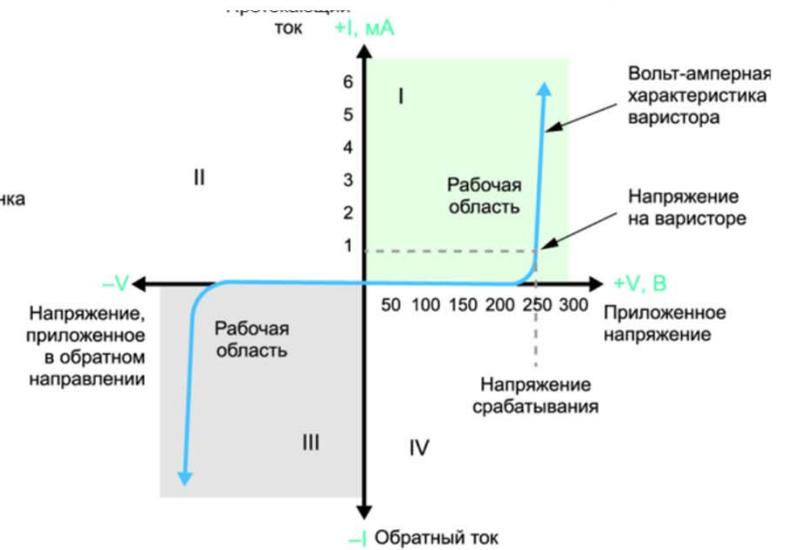
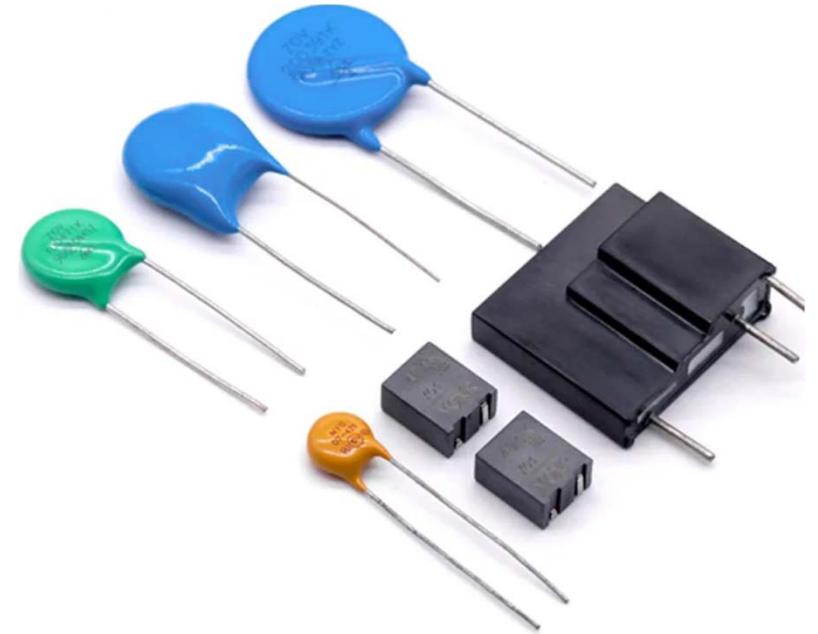


Нелинейные резисторы

Варисторы

Вари́стор (vari(able) - переменный (resi)stor — резистор) — полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого нелинейно зависит от приложенного напряжения, то есть обладающий нелинейной симметричной вольт-амперной характеристикой и имеющий два вывода. Обладает свойством резко уменьшать своё сопротивление с миллиардов до десятков Ом при увеличении приложенного к нему напряжения выше пороговой величины.

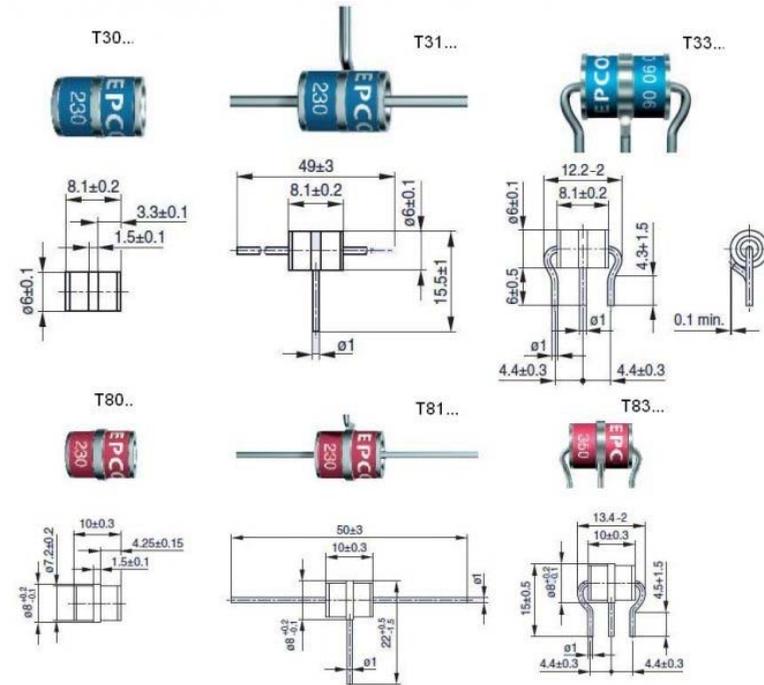
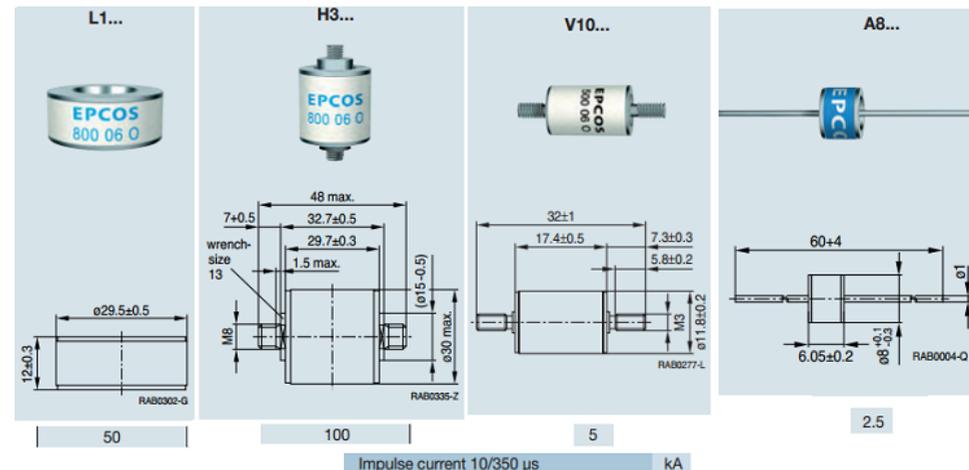
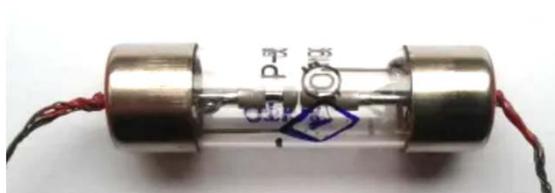
Изготавливают варисторы спеканием при температуре около 1700 °С полупроводника, порошкообразного карбида кремния (SiC) или оксида цинка (ZnO), и связующего вещества (глины, жидкого стекла, лака, смолы). Далее две поверхности полученного элемента металлизуют (обычно электроды имеют форму дисков) и припаивают к ним металлические проволочные выходы.



Нелинейные резисторы

Разрядники

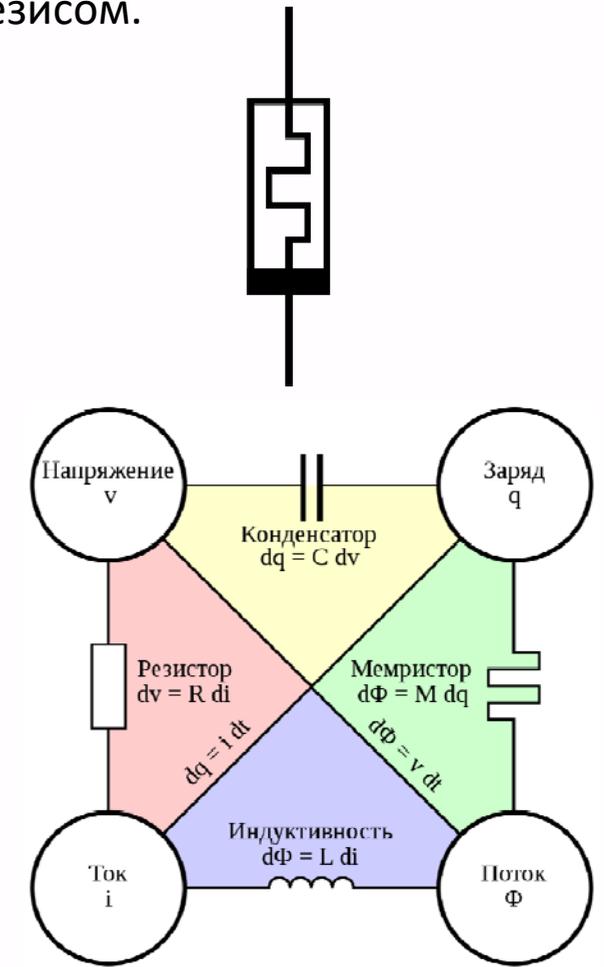
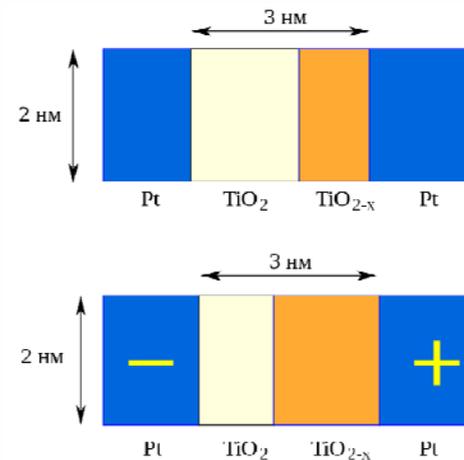
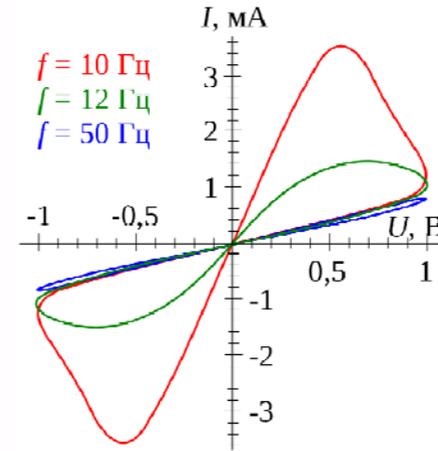
Разрядник — элемент, предназначенный для ограничения перенапряжений. Первоначально разрядником называли устройство для защиты от перенапряжений на основе искрового промежутка. Затем, для ограничения перенапряжений начали применять устройства на основе полупроводников и металл-оксидных варисторов, применительно к которым продолжают употреблять термин «разрядник». Пробивной предохранитель — элемент, предназначенный для защиты низковольтных систем с изолированной нейтралью от появления в них высокого напряжения в случае пробоя изоляции в трансформаторах. Представляет собой воздушный разрядник однократного действия специальной конструкции. Разрядник состоит из двух электродов и дугогасительного устройства. Напряжение пробоя — от 60 вольт до 5 киловольт. В сигнальных электрических цепях в качестве разрядника может использоваться неоновая лампа.



Нелинейные резисторы

Мемристор (memory — память, и англ. resistor — электрическое сопротивление) — пассивный электрический элемент, способный изменять своё сопротивление в зависимости от протекшего через него электрического заряда (интеграла тока по времени), обладающей гистерезисом.

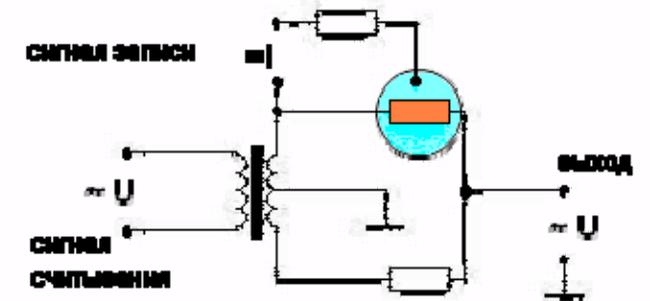
Теория **мемристора** была разработана в 1971 году профессором Леоном Чуа. В ней устанавливаются отношения между интегралами по времени силы тока, протекающего через элемент, и напряжением на нём. Долгое время **мемристор** считался теоретическим объектом, который нельзя построить. Лабораторный образец запоминающего элемента, демонстрирующего свойства **мемристора**, был создан в 2008 году учёными во главе с Р. С. Уильямсом в лаборатории Hewlett-Packard. Изменение сопротивления обеспечивается за счёт химических превращений в тонкой 5 нм двухслойной плёнке диоксида титана. Один из слоев плёнки слегка обеднен кислородом, и кислородные вакансии мигрируют между слоями под действием приложенного к устройству электрического напряжения. Данную реализацию **мемристора** следует отнести к классу наноионных устройств.



Нелинейные резисторы

Мемистор — электрохимический компонент электронной техники (хемотрон), функционально представляющий собой переменный резистор, сопротивление которого регулируется током управляющей цепи по интегрирующему принципу. Мемистор был изобретён в 1960 году американскими исследователями Уидроу и Гоффом в процессе работы по созданию искусственного нейрона Адалин.

Мемистор представляет собой миниатюрную электролитическую ячейку, один электрод которой (управляющий) сделан из металла, способного переходить в электролит в результате электрохимического процесса, а другой (электрод считывания) представляет собой тонкую плёнку инертного металла или графита, нанесённую на высокоомную подложку. При протекании управляющего тока между электродами происходит процесс осаждения металла из электролита на электрод считывания или растворение его на электроде. В результате сопротивление электрода считывания изменяется от долей ома до сотен ом. Конструктивно мемисторы обычно изготавливают в виде группы на одной плате. Существуют также мемисторы на твёрдом электролите (йодистом серебре). Приращение сопротивления выходной цепи мемистора пропорционально интегралу управляющего тока. Таким образом, по своим функциональным свойствам мемистор представляет собой одновременно и электрически управляемый переменный резистор, и интегратор, и запоминающее устройство.



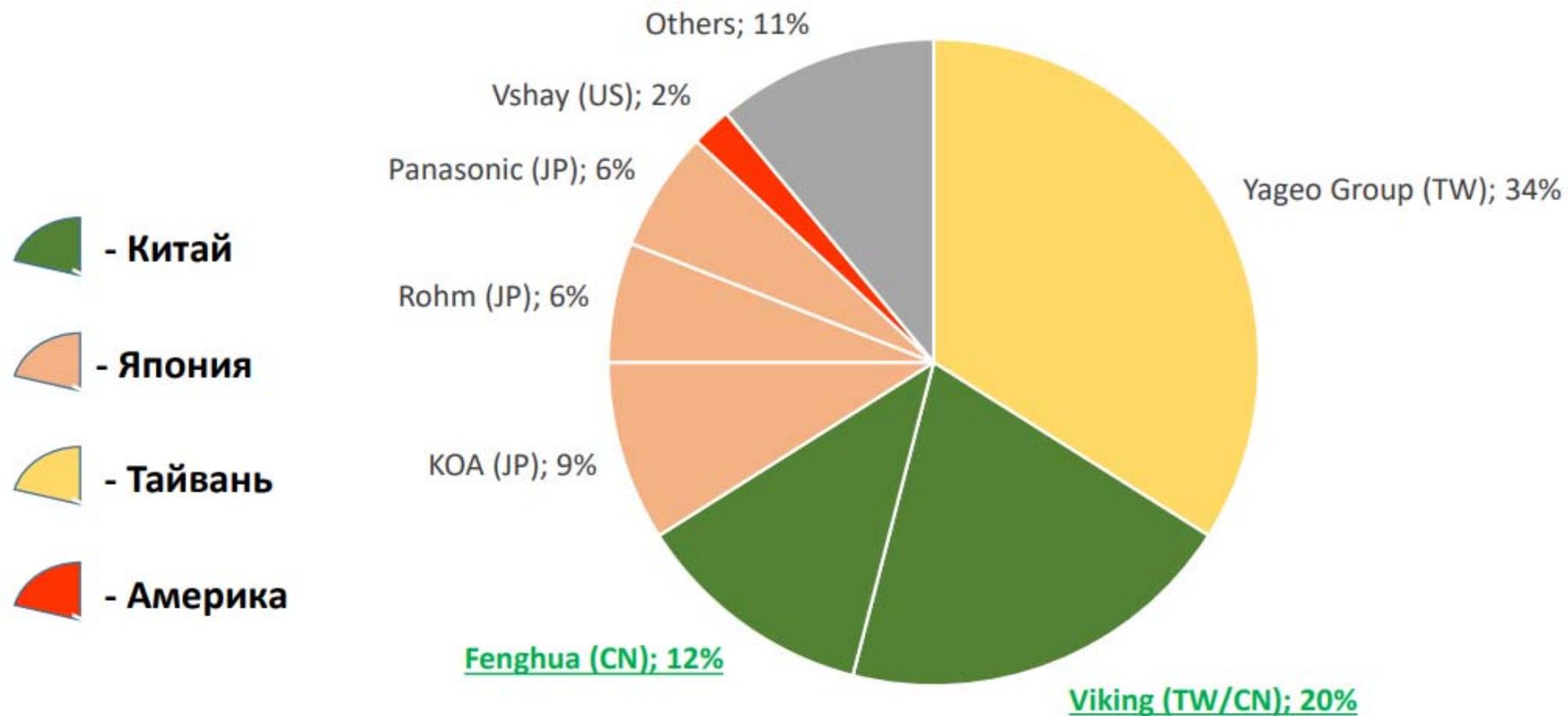
Типовая схема подключения мемистора

$$\Delta R = k \int i(t) dt.$$

Резисторы, выпускаемые промышленностью

- Выпускают резисторы с **допуском** $\pm 20\%$, 10% , 5% , 1% , и т. д. вплоть до $0,01\%$.
- Номиналы резисторов выбираются из **специальных рядов E3, E6, E12, E24, E48, E96, E192**.
Каждый ряд соответствует определённому допуску Так, детали из ряда E6 имеют допустимое отклонение от номинала $\pm 20\%$, из ряда E12 — $\pm 10\%$, из ряда E24 — $\pm 5\%$
На практике при изготовлении деталей разбраковка идёт по более жёстким допускам ($\pm 3\div 4\%$ для E24 и $\pm 8\div 9\%$ для E12)^[2], чтобы учесть естественное старение деталей.
- Выпускаются резисторы **мощностью** 0,125 Вт, 0,25 Вт, 0,5 Вт, 1 Вт, 2 Вт, 5 Вт
- Согласно ГОСТ 24013-80 и ГОСТ 10318-80 выпускались резисторы следующих номиналов мощностей, в ваттах: 0.01, 0.025, 0.05, 0.062, 0.125, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 500

Китайские производители чип-резисторов на Мировой арене



Примерный объем мирового рынка — 1.7 млрд. \$

Российские производители резисторов

- **Рус Абсолют** Воронеж

Производство мощных проволочных резисторов С5-35В.

- **Алагирский Завод Сопротивлений** Республика Северная Осетия, Алагир

Производство и разработка пассивных элементов электрической.

- **ООО РЭЗ «Рикон»** Воронеж

Производит мощные проволочные резисторы, догрузочные резисторы, охладители.

- **Кермет** Пензенская область, Белинский

Производит и поставляет 16 типов постоянных и регулируемых проволочных резисторов.

- **ОАО «Контакт»** Республика Марий Эл, Йошкар-Ола

Специализированное предприятие по изготовлению проволочных переменных и постоянных резисторов.

- **ЗАО "РЕОМ"** Санкт-Петербург

Производство резисторов навесного и поверхностного монтажа, потенциометров, переменных, проволочных, резисторных сборок.

АО "НПО "ЭРКОН" Нижний Новгород

Прецизионные резисторы, ВЧ и СВЧ резисторы, ВЧ и СВЧ аттенюаторы и поглотители, Высокоомные высоковольтные резисторы, Мощные резисторы, Наборы резисторов, делители, Низкоомные фольговые резисторы, Резисторы общего применения, Специальные изделия, Чип-индуктивности

[Прецизионные резисторы](#)



[P1-8MP](#)

[P1-81](#)

[C2-29B](#)

[Посмотреть все \(24 шт.\)](#)

[ВЧ и СВЧ резисторы](#)



[P1-17](#)

[C2-10](#)

[C6-3](#)

[Посмотреть все \(20 шт.\)](#)

[ВЧ и СВЧ аттенюаторы и поглотители](#)



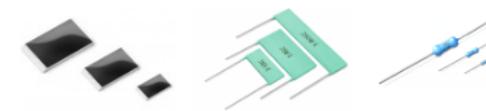
[PR1-25](#)

[C6-8](#)

[PR1-24](#)

[Посмотреть все \(26 шт.\)](#)

[Высокоомные высоковольтные резисторы](#)



[P1-33](#)

[P1-35](#)

[P1-32](#)

[Посмотреть все \(9 шт.\)](#)

[Мощные резисторы](#)



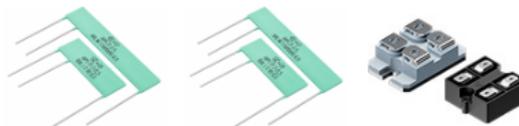
[P1-150 A, B, V, G](#)

[P2-108 A, B](#)

[P1-150](#)

[Посмотреть все \(5 шт.\)](#)

[Наборы резисторов, делители](#)



[HP1-77](#)

[HP1-77](#)

[HP1-82](#)

[Посмотреть все \(3 шт.\)](#)

[Низкоомные фольговые резисторы](#)



[P2-105](#)

[P2-105](#)

[Посмотреть все \(2 шт.\)](#)

[Резисторы общего применения](#)



[P1-8B](#)

[C2-33](#)

[P1-71](#)

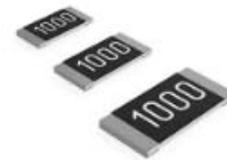
[Посмотреть все \(12 шт.\)](#)

АО «РЕСУРС» г. Богородицк, Тульская обл.

Фольговые резисторы, Чип-резисторы, Перемычки, Наборы резисторов, ВЧ и СВЧ-резисторы и поглотители, Металлопленочные резисторы, Специальные резисторы



Фольговые резисторы



Чип-резисторы



Металлопленочные резисторы



Наборы резисторов

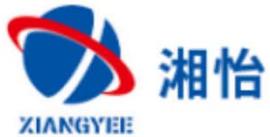


ВЧ и СВЧ-резисторы и поглотители



Специальные резисторы

Обзор производств



[Видео с производства
компании Xiangyee
\(rutube.ru\)](#)



[Видео с производства
компании Fuantronics
\(rutube.ru\)](#)

LINK-PP



[Видео с производства
компании YXC \(rutube.ru\)](#)



О компании

- Головной офис: **Тайвань**
- Основана в 1997 году
- Производство в Тайване и Китае
- **Владеет 3 фабриками**
- Офисы продаж США, EU, ASIA
- Оборот в 2022: \$110M
- 50% активов компании принадлежат компании Fenghua
- Представлены у глобальных дистрибуторов: Future, Digi-Key, Rutronik, Ecomal, TME



Продукты

- Постоянные толстопленочные чип-резисторы
- Постоянные тонкопленочные прецизионные чип-резисторы
- Постоянные выводные резисторы
- Индуктивные компоненты
- Многослойные керамические конденсаторы

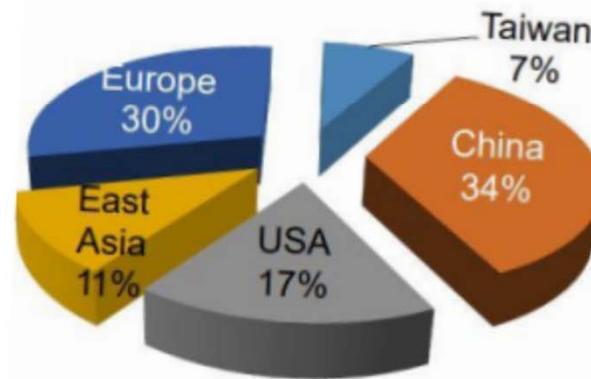


Западные конкуренты

- | | |
|-------------|-------------|
| • Yageo | • Chilisin |
| • Panasonic | • Coilcraft |
| • Bourns | • Wurth |
| • Vishay | • TDK |



Производитель мирового уровня



Бизнес

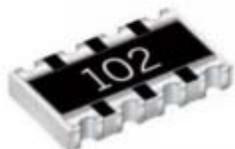
- Сроки производства: 8-10 недель
- База замен: есть
- Действующая складская программа
- Компэл является оф дистрибьютором в РФ



Партнеры



Чип-резисторы



MELF-резисторы



Выводные резисторы



Мощные резисторы



- **Thick Film General:** резисторы общего применения, $\pm 1...5\%$, $\pm 100...400\text{ppm}$, ряд E24, E48, E96 серия CR*
 - **Thin Film Precision:** прецизионные резисторы, $\pm 0,01...1\%$, $\pm 5...50\text{ppm}$, E192 серия AR*
 - **Current Sensing:** низкоомные резисторы (до 10A), $R < 1\ \text{Ом}$, серия CS*
 - **Thick Film Flat Array:** резистивные сборки, серия CN*
- А также много других специализированных серий: высоковольтные: серия HVR*, импульсные: серия PWR*, защитные: серия SWR*

- MELF-корпуса 0204\0207, $\pm 0,1...5\%$, $\pm 10...100\text{ppm}$, серия CSR*

- **Metal Film Leaded Precision Resistor (MFR серия),** метал-пленочные
- **High Precision Resistor (MFD серия),** прецизионные, $\pm 0,02...1\%$, $\pm 5...25\text{ppm}$
- **Metal Oxide Film Resistor (MOF серия),** метал-оксидные, импульсные
- **Wire Wound Resistor (KNP серия),** проволочные, мощность до 5 Вт
- **Carbon Film Resistor (CFR серия),** углеродные

- Мощные резисторы в корпусах TO-220\TO-247, 30...100 Вт, семейство TR*

YAGEO



BOURNS

Panasonic





Ведущий производитель
широкого спектра пассивных
компонентов на рынке Китая

Все оборудование
Китайского производства



Более **20 000** замен на US, EU, KR, JP и TW бренды по товарным группам:

- Резисторы постоянные и сборки
- Конденсаторы керамические
- Индуктивные компоненты
 - Варисторы



Более **700** клиентов уже
сделали свой выбор в пользу
продукции **Fenghua**

Действующая складская программа с **Fenghua**
по **Варисторам** и **Чип-Индуктивностям**



Производственный цех



Защитные компоненты – продлевают срок службы изделия

Проблема		Защита
Токовые перегрузки		Самовосстанавливающиеся предохранители (PTC)
Короткие замыкания		Плавкие предохранители (FUSE)
Электростатический разряд		ESD-защита (TVS-сборки)
Коммутационные наносекундные помехи		Варисторы (MOV), TVS-диоды
Мощные микросекундные помехи		Газоразрядники (GDT)



Рекомендованные производители «Защитных компонентов»

	YJ (YANGJIE)	Производитель выпускает широкую линейку TVS-диодов и сборок. Отличное решение для замены TVS-диодов от Littelfuse, Bourns, ST и др. по привлекательной цене.		Fenghua	Производитель широкого спектра варисторов широко известных в России
	JSCJ	Производитель выпускает широкую линейкой TVS-диодов и сборок. Хорошо конкурирует по проектным запросам. Заменяет Vishay, Littelfuse, Bourns, ST		Sunlord	Производитель широкого спектра варисторов
	Bencent	Профессиональный производитель компонентов защиты от перенапряжения и инновационных решений на их основе		Fuzetec	Производитель самовосстанавливающихся предохранителей. Хорошо заменяет Littelfuse, Bourns, Way-ON, TDK, Belfuse
	WAYON	Ведущий мировой поставщик защитных компонентов. №3 в мире по самовосстанавливающимся предохранителям. Заменяет Vishay, Littelfuse, Bourns, ST		SETfuse	Производитель устройств защиты от перегрева, защиты по напряжению и току.
	HOLLY (HollyLand)	Аналог Littelfuse и Bourns в плавких, самовосстанавливающихся и силовых предохранителях		KLS	Fabless поставщик широкой линейки защитных компонентов
				YZPST	Fabless поставщик предохранителей для силового применения

	YJ	BENCENT	WAYON	JSCJ	FUZETEC	SETfuse	HOLLY	FENGHUA	SUNLORD	KLS	YZPST	Что заменяем
TVS-диоды и сборки	★	★	★	★						★		Littelfuse, Bourns, ST, ONS
Защитные тиристоры	★	★	★	★								Littelfuse, Bourns, ST
Самовосстанавливающиеся предохранители			★		★		★			★		Bourns, TDK, Littelfuse, Belfuse
*Плавкие предохранители			★			★	★			★		Littelfuse, Belfuse, Eaton
*Газоразрядники		★	★			★				★		Bourns, Littelfuse, TDK
Варисторы		★				★		★	★	★		TDK, Littelfuse, Bourns, Belfuse
*Модульная защита		★				★						Bourns
*Высоковольтные плавкие предохранители							★				★	Siba, Littelfuse

GDT Газоразрядники		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Весь спектр корпусов и исполнений: Чип, SMD, Аксиальные ▪ Напряжения срабатывания: от 90V до 4000V ▪ Пиковые токи рассеивания при импульсе @8/20µs: от 500A до 120кA ▪ Двух- и трех-полюсные версии 	TDK-EPCOS BOURNS LITTELFUSE EATON
MOV Варисторы		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Дисковые, радиальные варисторы: 07D, 10D, 14D, 20D ▪ Напряжения срабатывания: от 18V до 1800V ▪ Пиковые токи рассеивания при импульсе @8/20µs: от 250A до 10кA ▪ Комбинированные версии: 2в1 GDT+MOV в одном корпусе 	TDK-EPCOS BOURNS LITTELFUSE THINKING
TVS\TSS Защитные диоды и тиристоры		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Весь спектр корпусов: SMD, Аксиальные ▪ Напряжения срабатывания: от 5V до 400V ▪ Пиковые токи рассеивания при импульсе @8/20µs: до 10кA (серия SMK*, SME*) ▪ Стандартный ряд серий и мощностей: SMA\SMB\SMC\SMD 	STM DIODES BOURNS LITTELFUSE
ESD-защита		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Огромный выбор решений для защиты от электростатики: ESD-диоды, Zener-диоды, TVS-сборки ▪ Наиболее популярные и ликвидные корпуса: DFN*, SOD*, SOT*, SOP* ▪ Пиковые мощности при импульсе @8/20µs: от 42 до 500 W 	STM TEXAS ONSEMI LITTELFUSE

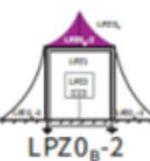
BENCENT – примеры решений для защиты интерфейсов



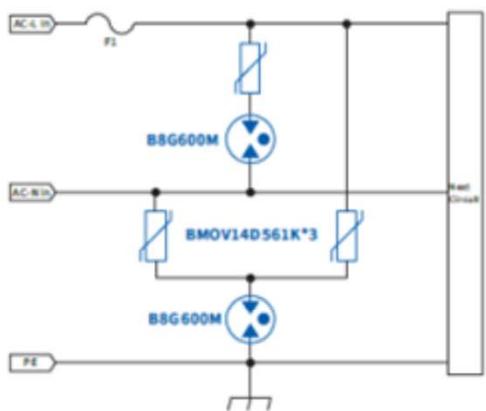
Bencent – производитель полного цикла по всем технологиям защит от перенапряжений, что позволяет ему предлагать **комбинированные решения** (GDT+MOV+TVS\TSS) для защиты силовых и сигнальных линий

Питание

AC90-264V



Adapter

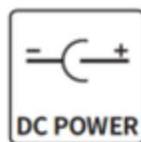


Test Level: 1.2/50µs-8/20µs CM/DM10KV-5KA

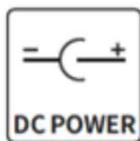
B8G600M
Ø8.0x6.0mm
Page 41

BMOV14D561K
Ø23.0x12.8
Page 61

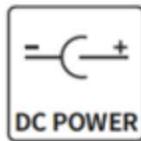
DC3.3V



DC12V

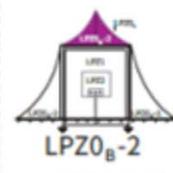
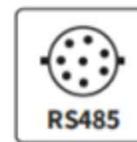


DC24V

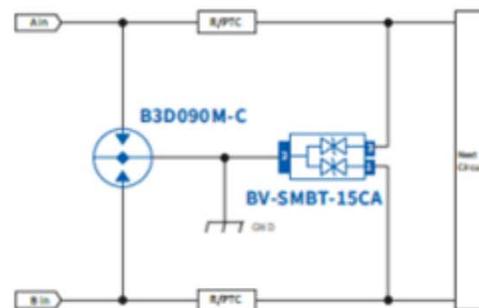


Интерфейсы

RS485



AISG



Test Level: 8/20µs CM/DM 3KA

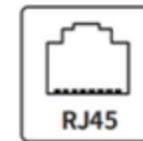


B3D090M-C
7.8x5.0x6.0mm
Page 41



BV-SMBT-15CA
5.4x3.3x2.0mm
Page 115

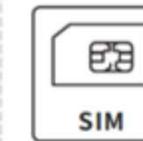
RJ45-10G



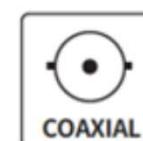
USB3.0



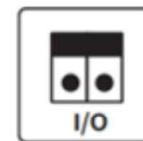
SIM



Coaxial



IO



KEY



Спасибо за внимание

ЧУ ПО «Социально-технологический колледж» г Тула

Преподаватель: Борисов Алексей Альбертович