

## Резисторы

Являются самыми простыми пассивными элементами. Основное их назначение – ограничить ток в электрической цепи. Простейшим примером является включение светодиода, показанное на рисунке 1. С помощью резисторов также подбирается режим работы усилительных каскадов при различных схемах включения транзисторов.

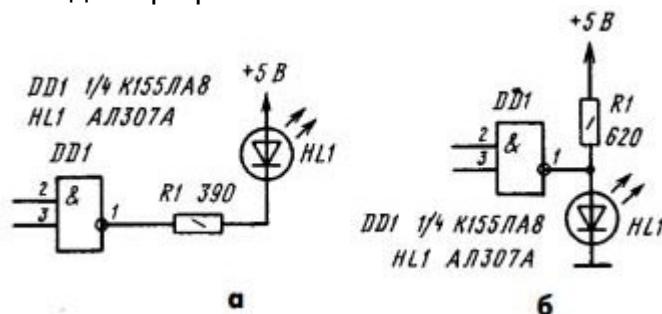


Рисунок 1. Схемы включения светодиода

## Свойства резисторов

Раньше резисторы назывались сопротивлениями, это как раз их физическое свойство. Чтобы не путать деталь с ее свойством сопротивления переименовали в **резисторы**.

Сопротивление, как свойство присуще всем проводникам, и характеризуется удельным сопротивлением и линейными размерами проводника. Ну, примерно так же, как в механике удельный вес и объем.

Формула для подсчета сопротивления проводника:  $R = \rho * L / S$ , где  $\rho$  удельное сопротивление материала,  $L$  длина в метрах,  $S$  площадь сечения в  $\text{мм}^2$ . Нетрудно увидеть, что чем длиннее и тоньше провод, тем больше сопротивление.

Можно подумать, что сопротивление не лучшее свойство проводников, ну просто препятствует прохождению тока. Но в ряде случаев как раз это препятствие является полезным. Дело в том, что при прохождении тока через проводник на нем выделяется тепловая мощность  $P = I^2 * R$ . Здесь  $P$ ,  $I$ ,  $R$  соответственно мощность, ток и сопротивление. Эта мощность используется в различных нагревательных приборах и лампах накаливания.

## Резисторы на схемах

Все детали на электрических схемах показываются с помощью УГО (условных графических обозначений). УГО резисторов показаны на рисунке 2.

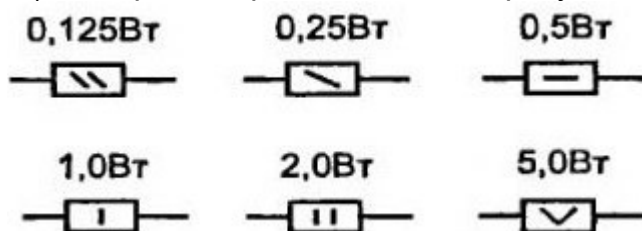


Рисунок 2. УГО резисторов

Черточки внутри УГО обозначают мощность рассеяния резистора. Сразу следует сказать, что если мощность будет меньше требуемой, то резистор будет греться, и, в конце концов, сгорит. Для подсчета мощности обычно пользуются формулой, а точнее даже тремя:  $P = U * I$ ,  $P = I^2 * R$ ,  $P = U^2 / R$ .

Первая формула говорит о том, что мощность, выделяемая на участке электрической цепи, прямо пропорциональна произведению падения напряжения на этом

участке на ток через этот участок. Если напряжение выражено в Вольтах, ток в Амперах, то мощность получится в ваттах. Таковы требования системы СИ.

Рядом с УГО указывается номинальное значение сопротивления резистора и его порядковый номер на схеме: R1 1, R2 1K, R3 1,2K, R4 1K2, R5 5M1. R1 имеет номинальное сопротивление 1Ом, R2 1КОм, R3 и R4 1,2КОм (буква К или М может ставиться вместо запятой), R5 – 5,1МОм.

## Современная маркировка резисторов

В настоящее время маркировка резисторов производится с помощью цветных полос. Самое интересное, что цветовая маркировка упоминалась в первом послевоенном журнале «Радио», вышедшем в январе 1946 года. Там же было сказано, что вот, это новая американская маркировка. Таблица, объясняющая принцип «полосатой» маркировки показана на рисунке 3.

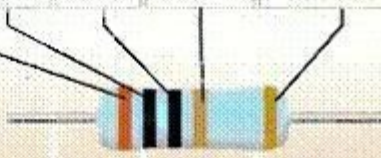



Резисторы. Цветовая маркировка						
Цвет <small>(полосы (точки))</small>	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	Множитель	Допуск	ТКС, °C
Золотой				0,01Ω	±5%	
Серебряный				0,1Ω	±10%	
Черный		0	0	1Ω	±20%	
Коричневый	1	1	1	10Ω	±1%	100
Красный	2	2	2	100Ω	±2%	50
Оранжевый	3	3	3	1kΩ		15
Желтый	4	4	4	10kΩ		25
Зеленый	5	5	5	100kΩ	±0,5%	
Голубой	6	6	6	1MΩ	±0,25%	10
Фиолетовый	7	7	7	10MΩ	±0,1%	5
Серый	8	8	8	100MΩ	±0,05%	
Белый	9	9	9			1
Пример обозначения						
2 кОм ±1%						
10 кОм ±2%						
100 %/°C						
2 кОм ±5%						
100 Ом ±10%						

Рисунок 3. Маркировка резисторов

На рисунке 4 показаны резисторы для поверхностного монтажа SMD, которые также называют «чип - резистор». Для любительских целей наиболее подходят резисторы типоразмера 1206. Они достаточно крупные и имеют приличную мощность, целых 0,25Вт.

На этом же рисунке указано, что максимальным напряжением для чип-резисторов является 200В. Такой же максимум имеют и резисторы для обычного монтажа. Поэтому, когда предвидится напряжение, например, 500В лучше поставить два резистора, соединенных последовательно.

Таблица 1. Габаритные размеры чип-резисторов

Типоразмер EIA	Размеры (мм)				
	L	W	H	D	T
0402	1.00	0.50	0.20	0.25	0.35
0603	1.60	0.85	0.30	0.30	0.45
0805	2.10	1.30	0.40	0.40	0.50
1206	3.10	1.60	0.50	0.50	0.55
1210	3.10	2.60	0.50	0.40	0.55
2010	5.00	2.50	0.60	0.40	0.55
2512	6.35	3.20	0.60	0.40	0.55

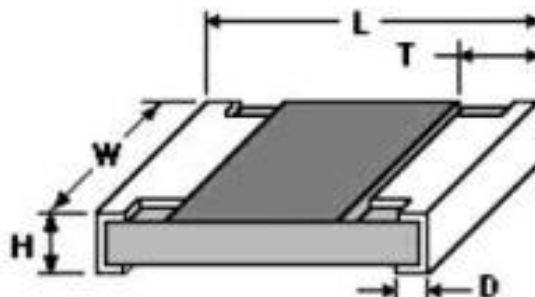


Рис. 1. Внешний вид чип-резистора

Таблица 2. Основные технические характеристики чип-резисторов

Тип	0402	0603	0805	1206	1210	2010	2512
Номинальная мощность, Вт	1/16	1/10	1/8	1/4	1/3	3/4	1
Температурный диапазон	-55°C...+125°C						
Макс. рабочее напряжение	25В	50В	150В	200В	200В	200В	200В
Макс. перегрузочное напряж.	50В	100В	300В	400В	400В	400В	400В
Диапазон номин.сопротивл.	100 Ом-100к	10 Ом-1М	10 Ом-1М	10 Ом-1М	10 Ом-1М	10 Ом-1М	10 Ом-1М
1%, E-96	2 Ом-5.6М	1 Ом-10М	1 Ом-10М	1 Ом-10М	1 Ом-10М	1 Ом-10М	1 Ом-10М
5%, E-24							
перемычка J 0,05 Ом							

Таблица 3. Обозначения чип-резисторов некоторых фирм-производителей

Размер	AVX	BECKMAN	NEOHM	PANASONIC	PHILIPS	ROHM	SAMSUNG	WELWYN
0603	CR10	BCR1/16	CRG0603	ERJ3	-	MCR03	RC1608	WCR0603
0805	CR21	BCR1/10	CRG0805	ERJ6	RC11/12	MCR10	RC2012	WCR0805
1206	CR32	BCR1/8	CRG1206	ERJ8	RC01/02	MCR18	RC3216	WCR1206

Рисунок 4. Резисторы для поверхностного монтажа SMD

Чип резисторы самых маленьких размеров выпускаются без маркировки, поскольку ее просто некуда поставить. Начиная с размера 0805 на «спине» резистора ставится маркировка из трех цифр. Первые две представляют собой номинал, а третья множитель, в виде показателя степени числа 10. Поэтому если написано, например, 100, то это будет  $10 \cdot 10\text{м} = 100\text{м}$ , поскольку любое число в нулевой степени равно единице первые две цифры надо умножать именно на единицу.

Если же на резисторе написано 103, то получится  $10 \cdot 1000 = 10\text{ КОм}$ , а надпись 474 гласит, что перед нами резистор  $47 \cdot 10\,000\text{ Ом} = 470\text{ КОм}$ . Чип резисторы с допуском 1% маркируются сочетанием букв и цифр, и определить номинал можно лишь пользуясь таблицей, которую можно отыскать в интернете.

В зависимости от допуска на сопротивление номиналы резисторов разделяются на три ряда, E6, E12, E24. Значения номиналов соответствуют цифрам таблицы, показанной на рисунке 5.

Из таблицы видно, что чем меньше допуск на сопротивление, тем больше номиналов в соответствующем ряду. Если ряд E6 имеет допуск 20%, то в нем всего лишь 6 номиналов, в то время как ряд E24 имеет 24 позиции. Но это все резисторы общего применения. Существуют резисторы с допуском в один процент и меньше, поэтому среди них возможно найти любой номинал.



Ряд	Числовые коэффициенты						Отклонение, %
E6	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	± 20
E12	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	± 10
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
E24	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	± 5
	1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5	
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
	1,3	2,0	3,0	4,3	6,2	9,1	

Рисунок 5.

Кроме мощности и номинального сопротивления резисторы имеют еще несколько параметров, но о них пока говорить не будем.

### Соединение резисторов

Несмотря на то, что номиналов резисторов достаточно много, иногда приходится их соединять, чтобы получить требуемую величину. Причин этому несколько: точный подбор при настройке схемы или просто отсутствие нужного номинала. В основном используется две схемы соединения резисторов: последовательное и параллельное. Схемы соединения показаны на рисунке 6. Там же приводятся и формулы для расчета общего сопротивления.

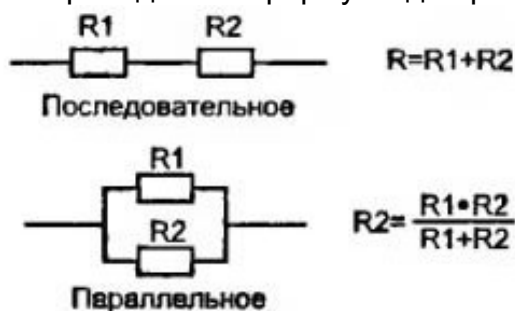


Рисунок 6. Схемы соединения резисторов и формулы для расчетов общего сопротивления

В случае последовательного соединения общее сопротивление равно просто сумме двух сопротивлений. Это как показано на рисунке. На самом деле резисторов может быть и больше. Такое включение бывает в делителях напряжения. Естественно, что общее сопротивление будет больше самого большого. Если это будут 1КОм и 10Ом, то общее сопротивление получится 1,01КОм.

При параллельном соединении все как раз наоборот: общее сопротивление двух (и более резисторов) будет меньше меньшего. Если оба резистора имеют одинаковый номинал, то общее их сопротивление будет равно половине этого номинала. Можно так соединить и десяток резисторов, тогда общее сопротивление будет как раз десятая часть от номинала. Например, соединили в параллель десять резисторов по 100 Ом, тогда общее сопротивление  $100 / 10 = 10$  Ом.

Следует отметить, что ток при параллельном соединении согласно закону Кирхгофа разделится на десять резисторов. Поэтому мощность каждого из них потребуется в десять раз ниже, чем для одного резистора.

Приложение 1. Таблица номиналов

Ом, кОм, МОм			Ом, кОм, МОм			Ом, кОм, МОм		
Допуск			Допуск			Допуск		
20%	10%	5%	20%	10%	5%	20%	10%	5%
Ряд Е6	Ряд Е12	Ряд Е24	Ряд Е6	Ряд Е12	Ряд Е24	Ряд Е6	Ряд Е12	Ряд Е24
1,0	1,0	1,0	10	10	10	100	100	100
		1,1			11			110
		1,2			12			120
1,5	1,5	1,3	15	15	13	150	150	130
		1,5			15			150
		1,6			16			160
		1,8			18			180
		2,0			20			200
2,2	2,2	2,2	22	22	22	220	220	220
		2,4			24			240
		2,7			27			270
		3,0			30			300
3,3	3,3	3,3	33	33	33	330	330	330
		3,6			36			360
		3,9			39			390
		4,3			43			430
4,7	4,7	4,7	47	47	47	470	470	470
		5,1			51			510
		5,6			56			560
		6,2			62			620
6,8	6,8	6,8	68	68	68	680	680	680
		7,5			75			750
		8,2			82			820
		9,1			91			910

Приложение 2. Пример набора резисторов ряда E12

Набор резисторов 1206 ряд E12			
0 Ом	56 Ом	3.9 КОм	270 КОм
1 Ом	68 Ом	4.7 КОм	330 КОм
1.2 Ом	82 Ом	5.6 КОм	390 КОм
1.5 Ом	100 Ом	6.8 КОм	470 КОм
1.8 Ом	120 Ом	8.2 КОм	560 КОм
2.2 Ом	150 Ом	10 КОм	680 КОм
2.7 Ом	180 Ом	12 КОм	820 КОм
3.3 Ом	220 Ом	15 КОм	1 МОм
3.9 Ом	270 Ом	18 КОм	1.2 МОм
4.7 Ом	330 Ом	22 КОм	1.5 МОм
5.6 Ом	390 Ом	27 КОм	1.8 МОм
6.8 Ом	470 Ом	33 КОм	2.2 МОм
8.2 Ом	560 Ом	39 КОм	2.7 МОм
10 Ом	680 Ом	47 КОм	3.3 МОм
12 Ом	820 Ом	56 КОм	3.9 МОм
15 Ом	1 КОм	68 КОм	4.7 МОм
18 Ом	1.2 КОм	82 КОм	5.6 МОм
22 Ом	1.5 КОм	100 КОм	6.8 МОм
27 Ом	1.8 КОм	120 КОм	8.2 МОм
33 Ом	2.2 КОм	150 КОм	10 МОм
39 Ом	2.7 КОм	180 КОм	
47 Ом	3.3 КОм	220 КОм	
0.25Вт, 5%, U <sub>ном</sub> 200В, U <sub>макс</sub> 400В			
86 номиналов по 25 шт (всего 2150 шт)			