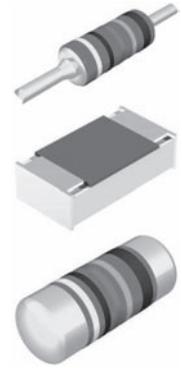


Пленочные резисторы Vishay в режиме импульсной нагрузки



Юрий Коваль, руководитель технического отдела фирмы СЭА
E-mail: yurikov@sea.com.ua

В последнее время у разработчиков начинают приобретать популярность пленочные резисторы компании Vishay, которые сочетают в себе малые размеры при достаточно высокой точности номинального сопротивления, низкими токовыми шумами и высокой стабильности параметров. В данной статье будут даны рекомендации по выбору пленочных резисторов для режима импульсной нагрузки различной формы, а также рассмотрены основные параметры пленочных маломощных резисторов Vishay.

- средняя мощность непрерывного сигнала не должна превышать номинальную рассеиваемую мощность резистора P70;
- максимальная амплитуда напряжения падения на резисторе одиночного или непрерывного импульса должна быть ограничена.

ПЛЕНОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Функциональные качества резисторов в первую очередь определяются физическими свойствами материала и размерами токопроводящей части. В зависимости от материала резисторы разделяют на металлические, углеродистые, жидкостные, керамические и полупроводниковые. По форме — на пленочные (получаемые осаждением токопроводящего материала на изолирующую подложку), проволочные, ленточные и пластинчатые. Рассмотрим более подробно структуру пленочной технологии резисторов. В этой структуре тонкая пленка углерода, металлического сплава или оксида металла нанесена, например, по спирали (см. рис. 1) на цилиндрический высококачественный керамический корпус или подложку (Al₂O₃), для достижения желаемого температурного коэффициента, и герметизирована эпоксидным или стеклянным покрытием. Чем меньше шаг спирали, тем выше сопротивление.

Благодаря использованию высокотехнологичного лазерного оборудования и высокому качеству материалов для изготовления пленочной структуры, компания Vishay имеет возможности изготовления прецизионных резисторов с точностью сопротивления ±0.01%, при высокой долговременной стабильности основных параметров и малом темпе-

ратурном коэффициенте, в корпусах с компактными размерами.

ПЛЕНОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ В РЕЖИМЕ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗОК

Рассеиваемая мощность и тепловой режим резистора обычно определяются на постоянном или среднеквадратическом токе. Однако режим импульсной нагрузки с одиночным импульсом или с потоком импульсов становится все более и более актуальным в профессиональной электронике. Для пленочных резисторов существуют такие ограничения по импульсной нагрузке:

- одиночный импульс должен быть ограничен по пиковой мощности для данной продолжительности пультса;

РЕЖИМ ОДИНОЧНОГО ИМПУЛЬСА

Максимально-допустимая мощность (P_{max}) одиночного прямоугольного импульса на резисторе Vishay приводится в соответствующем datasheet, в виде графика, как функция от времени (t). Энергия одиночного импульса (W) различной формы рассчитывается по такой формуле:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P_{(t)} \cdot dt$$

Как результат, энергия W_j и мощность \hat{P} сигнала произвольной формы будет теперь равна энергии $W_{rec-cal}$ и мощности $\hat{P}_{rec-cal}$ соответствующего сигнала прямоугольной формы за определенный интервал времени $t_{rec-cal}$.

$$\hat{P} = \hat{P}_{rec-cal}$$

$$W = W_{rec-cal} = \hat{P}_{rec-cal} \cdot t_{rec-cal}$$

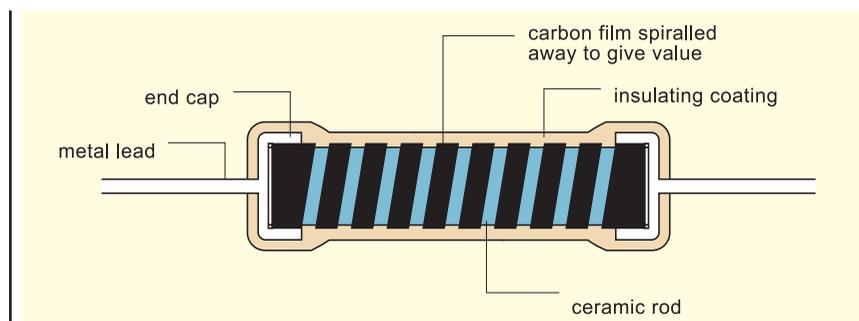


Рисунок 1 Структура пленочного резистора

Если в результате расчета, пиковое значение мощности прямоугольного сигнала на заданном интервале времени не превышает максимально-допустимую мощность резистора, значит, его можно использовать в данном применении.

$$W = W_{rec-cal} = \hat{P}_{rec-cal} \cdot t_{rec-cal} \leq W_{Diagram}$$

Пример расчета для профессиональных пленочных резисторов при подаче на них одиночного сигнала треугольной формы приведен на рис. 2.

Энергию треугольного импульса можно рассчитать по формуле:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P_{(t)} \cdot dt; \quad W = \frac{1}{R} \int_{t_1}^{t_2} u_{(t)}^2 \cdot dt;$$

$$W = \frac{U_0^2}{R} \cdot \frac{t_i}{3}; \quad W = \hat{p} \cdot \frac{t_i}{3}.$$

Пиковая мощность определяется формулой:

$$\hat{p} = \hat{P}_{rec-cal} = \frac{U_0^2}{R}; \quad \hat{p} = 10 W.$$

Энергия эквивалентного прямоугольного импульса будет равна:

$$W = W_{rec-cal} = \hat{P}_{rec-cal} \cdot t_{rec-cal}$$

за период времени:

$$t_{rec-cal} = \frac{t_i}{3}; \quad t_{rec-cal} = \frac{12ms}{3}; \quad t_{rec-cal} = 4ms.$$

Согласно рис. 3 для тонкопленочных резисторов серий MMB0207, MMA0204 и MMU0102 в корпусе MELF пиковая мощность одиночного прямоугольного импульса $\hat{P} = 10$ Вт меньше, чем максимально-допустимая пиковая мощность $P_{max} = 30$ Вт для резисторов серии MMA0204. Эти резисторы согласно рис. 3 могут выдержать пи-

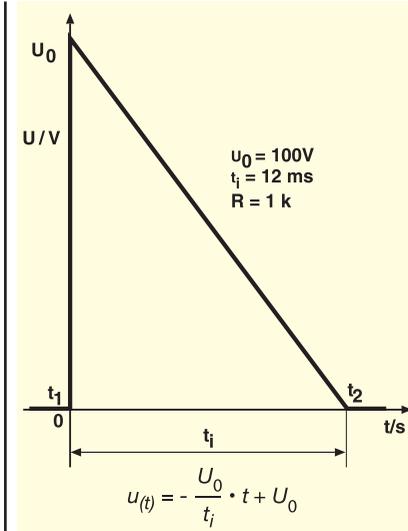


Рисунок 2 Сигнал треугольной формы для временного промежутка $0 \leq t \leq t_i$

ковую мощностью $\hat{P} = 10$ Вт в течение интервала времени до 7 мсек. Следовательно, в интервале до 4 мсек они будут работать и подавно. Поэтому резисторы MMA0204 с сопротивлением 1 кОм пригодны для использования в этом примере.

Одиночные импульсы с длительностью ($t_i < 200 \sim 300 \mu s$) требуют использования резисторов, которые способны противостоять энергии быстроизменяющегося импульса при сохранении работоспособности и заданного значения сопротивления. Нагрев резистивного слоя происходит очень медленно, по сравнению с продолжительностью ВЧ импульса, поэтому максимально-допустимая пиковая мощность достигает своего значения в течение короткого времени.

Способность подобных типов пленочных резисторов противостоять энергии одиночных импульсов зависит от

используемой резистивной технологии. При экстремально коротких импульсных нагрузках Vishay рекомендует использовать углеродистые, металлокерамические и проволочные резисторы.

С увеличивающимися временами продолжительности импульсов, максимальная пиковая мощность все более приближается к номинальной рассеиваемой мощности на резисторе. Это основывается на эффекте, благодаря которому высокая температура все больше проникает на керамическое основание резистора и меньше на печатную плату и окружающую среду.

Профессиональные тонкопленочные резисторы Vishay предлагают в комбинации с превосходной долговременной стабильностью, низким температурным коэффициентом, высокой надежностью, низким токовым шумом, и расширенную импульсную нагрузочную способность.

Подача одиночного импульса с максимально-допустимой мощностью для тонкопленочного резистора ведет к изменению сопротивления. Это изменение дается в характеристиках пленочных резисторов для продолжительного испытания на выносливость (при температуре +125°C) после 8000 часов работы.

РЕЖИМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

Средняя мощность периодических импульсов рассчитывается по формуле:

$$P = \bar{p} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{(t)} \cdot dt \leq P_{70}.$$

Для сопротивлений выше значения критического сопротивления R_{crit} номинальная рассеиваемая мощность определяется сопротивлением и максимальным напряжением:

$$R_n \geq R_{crit} = \frac{U_{max}^2}{P_{70}}; \quad P_{70} = \frac{U_{max}^2}{R_n}.$$

Рассмотрим пример расчета средней рассеиваемой мощности на резисторе для прямоугольных периодических импульсов (см. рис. 4).

Мощность подобного сигнала можно охарактеризовать формулой:

$$P_{rec} = \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{R} \cdot (\hat{u}_1^2 \cdot t_{i1} \cdot \hat{u}_2^2 \cdot t_{i2}).$$

где:

$$t_{i1} = t_2 - t_1; \quad t_{i2} = t_3 - t_2.$$

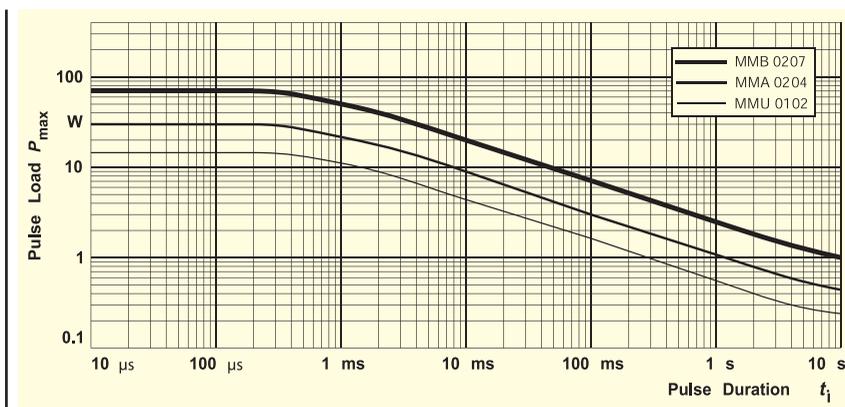


Рисунок 3 График максимально-допустимой пиковой мощности от продолжительности импульса для тонкопленочных резисторов серий MMB0207, MMA0204 и MMU0102

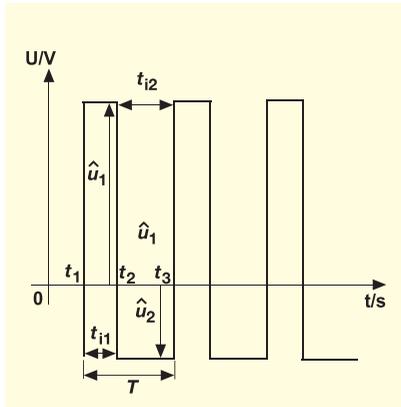


Рисунок 4 Периодический сигнал прямоугольных импульсов

Диаграммы для периодических импульсных сигналов показывают максимальную пиковую нагрузку по мощности для импульсов прямоугольной формы с положительным напряжением. Уравнение прямоугольных импульсов с положительной амплитудой показывает, что рассеиваемая мощность зависит не только от пиковой мощности, но и от времени продолжительности импульса t_i и периода повторения T (см. рис. 5).

$$P_{rec} = \frac{t_i}{T} \cdot \hat{p}$$

На рис. 6 приведен график зависимости мощности периодического сигнала, которая должна быть меньше рассеиваемой мощности P_{70} в зависимости от продолжительности импульса

Разработчики должны рассчитать номинальную частоту f_{rated} согласно уравнения внизу и сравнить результат с частотой f_{appl} , которая используется в применении.

$$P_{rec} = \frac{t_i}{T} \cdot \hat{p} \leq P_{70}; \quad f_{rated} = \frac{1}{t_i} \cdot \frac{P_{70}}{\hat{p}};$$

$$f_{appl} \leq f_{rated}.$$

Другие формы импульса, подобно треугольной или экспоненциальной, могут быть аналогично трансформированы в эквивалентный по мощности — прямоугольный импульс.

МАКСИМАЛЬНАЯ АМПЛИТУДА ИМПУЛЬСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА РЕЗИСТОРЕ

Резисторы с сопротивлением выше R_{crit} должны быть защищены против высоковольтных одиночных или периодических импульсов напряжения. В

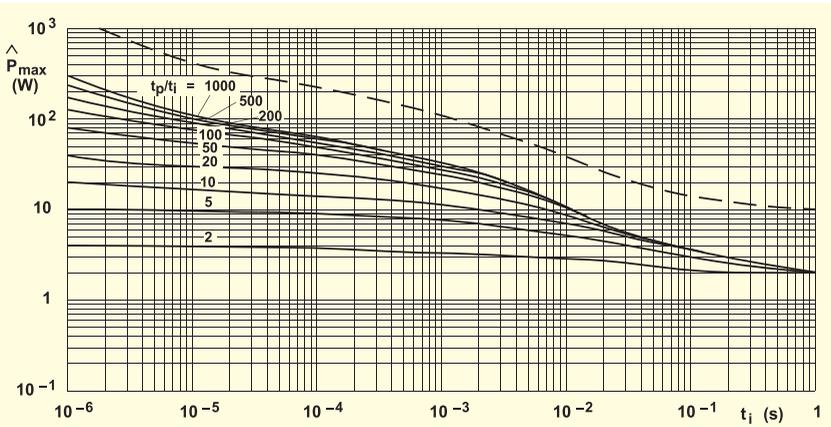


Рисунок 5 График максимально-допустимой пиковой мощности периодического сигнала в зависимости от продолжительности импульса для различных периодов повторения сигнала

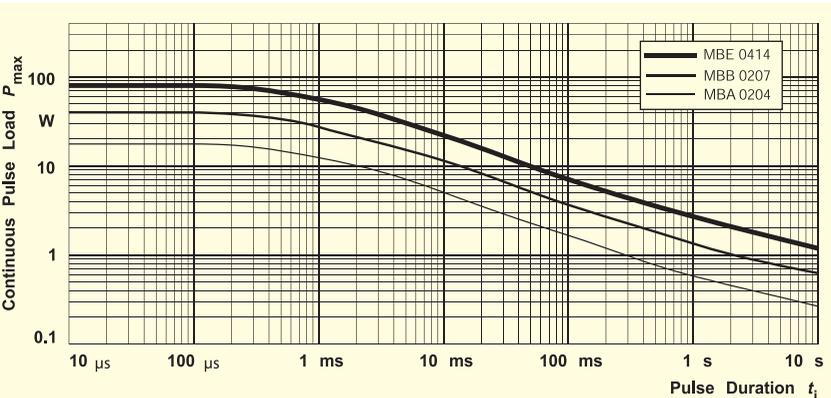


Рисунок 6 График зависимости мощности периодического сигнала в зависимости от продолжительности импульса и допустимом изменении сопротивления при наработке 8000 часов

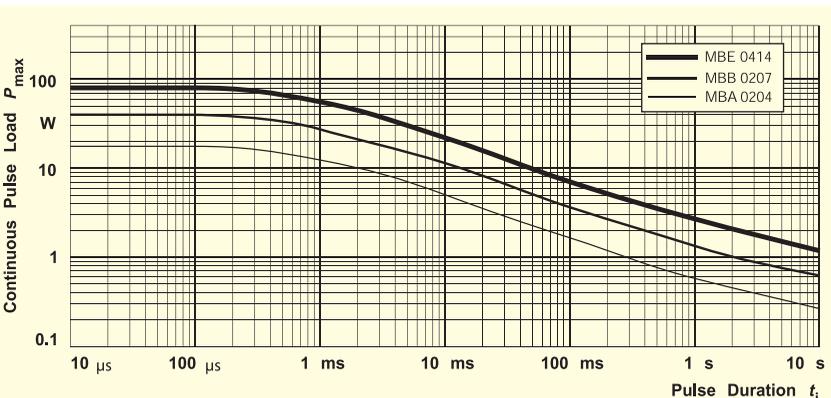


Рисунок 7 График изменения максимально-допустимого импульсного напряжения для пленочных резисторов серий MBE011 4, MBB0207, MBA0204 в зависимости от продолжительности импульса

качестве примера на рис. 7 показаны графики изменения максимально-допустимого импульсного напряжения U_{max} для пленочных резисторов серий MBE011 4, MBB0207, MBA0204 в зависимости от продолжительности импульса.

НОМИНАЛЬНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ НАГРУЗКА В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ МЭК 60115-1, 4.27

Как сказано в предыдущих разделах максимально-допустимая импульсная мощность резистора зависит от

Таблица 1. Характеристики пленочных резисторов Vishay (диапазон мощностей 0,05Вт до 1 Вт)

Тип	Диаметр/длина, мм	P, Вт	Диапазон сопротивлений	Ряд номиналов	Допуск ±%	Тип	Диаметр/длина, мм	P, Вт	Диапазон сопротивлений	Ряд номиналов	Допуск ±%
LSR37	4/9	0.5	220 Ом...10 кОм	E12	10, 20	SFR25	2.5/6.5	0.4	0.22 Ом...10 МОм	E24	5
MBA0204	1.6/3.6	0.4	0.22 Ом...1 Ом	E24	5	SFR25H	2.5/6.5	0.5	0.22 Ом...10 МОм	E24	5
			1 Ом...10 МОм	E24, E96	1	UXA0204	1.6/3.6	0.05	22 Ом...221 кОм	E24, E192	все
		10 Ом...475 кОм	0.5	43 Ом...221 кОм	0.1						
		22 Ом...332 кОм	0.25	100 Ом...180 кОм	0.05						
43 Ом...332 кОм	0.1	200 Ом...150 кОм	0.01								
MBB0207	2.5/6.3	0.6	0.22 Ом...1 Ом	E24	5	UXB0207	2.5/6.3	0.125	22 Ом...301 кОм	все	0.25
			1 Ом...10 МОм	E24, E96	1				40.2 Ом...301 кОм		0.1
		10 Ом...1 МОм	0.5	100 Ом...301 кОм	0.05						
		10 Ом...1 МОм	E24, E192	0.25	200 Ом...301 кОм				0.01		
MBE0414	4.0/11.9	1	0.22 Ом...1 Ом	E24	5	UXC0309	2.9/8.3	0.25	10 Ом...1 МОм	все	0.5
			1 Ом...22 МОм	E24, E96	1						0.25
		100 Ом...2.4 МОм	0.5 0.25	240 Ом...100 кОм	0.1						
		22 Ом...1.5 МОм	E24, E192		0.25						
43 Ом...1 МОм	0.1	0.01									
MPR24	2.5/6.5	0.25	4.99 Ом...1 МОм	E24, E96, E192	0.5, 0.25, 0.1	VR25	2.5/6.5	0.25	100 кОм...1 МОм	E24	5
		0.125	240 Ом...100 кОм	0.05, 0.02, 0.01	1 М Ом...22 МОм				E12	1	
MRS16S	1.9/3.2	0.4	4.99 Ом...1 МОм	E24, E96	1	CBB0207	2.5/6.3	0.6	10 Ом...1.5 МОм		E24
MRS25	2.5/6.5	0.6	1 Ом...10 МОм	E24, E96	1				MBA0204HF	1.6/3.6	
NFR25	2.5/6.5	0.33	0.22 Ом...15 кОм	E24	5	VR37	4/9	0.5	100 кОм...33 МОм	E24, E96	1
NFR25H	2.5-6.5	0.5	0.220 Ом...15 кОм	E24	5				VR68	6.8/18	1
SFR16S	1.9/3.2	0.5	1 Ом...3 МОм	E24	5						

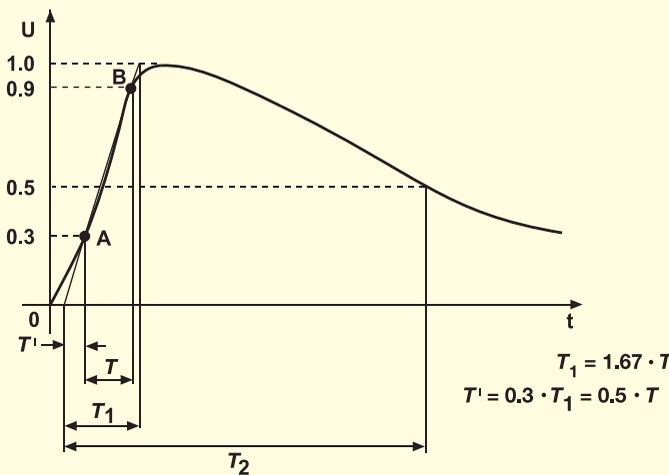


Рисунок 8 Форма одиночного высоковольтного импульса 1.2/50 мксек или 10/700 мксек

формы и продолжительности импульса. Стандарт по стойкости к разрядам молнии (LEMP) — один из главных требований электромагнитной совместимости при импульсных испытаниях электронного и электротехнического оборудования. Согласно европейским нормам EN 60 115-1, пункт 4.27, электронное оборудование должно успешно пройти испытание при подаче на него от генераторов одиночных высоковольтных импульсов, следующих форм:

- 1.2/50 мксек;
 - 10/700 мксек.
- Согласно рис. 8, значение перед символом «/» — это время нарастания высоковольтного импульса (T1), значение после символа «/» — это продолжительность импульса (T2).
- Испытательные условия должны быть такими:
- 5 импульсов 1.2/50 мксек должны подаваться с периодом не меньше чем 12 секунд;

- 10 импульсов 10/700 мксек должны подаваться с периодом не меньше чем 1 мин.

Для оптимального подбора серии резисторов, которые могут подвергаться импульсным перегрузкам при эксплуатации, разработчик может использовать стандарт **МЭК 60115-1, пункт 4.27.**

В характеристиках для тонкопленочных резисторов Vishay на диаграммах указывается предельно-допустимое напряжение, при котором номинальное сопротивление резистора может измениться не более чем на 0.5%. Превышение этого предела по напряжению приведет к возрастанию изменения номинального сопротивления или к разрушению испытуемого резистора. В табл. 1 приведены основные характеристики пленочных маломощных резисторов компании Vishay.

Фирма СЭА, как официальный дистрибутор Vishay на территории Украины, осуществляет поставку полного спектра продукции этой компании и техническую поддержку по ней:
тел. (044) 296-24-00,
факс (044) 296-24-10,
e-mail: info@sea.com.ua,
http://www.sea.com.ua