

ПРЕЦИЗИОННЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ Bulk Metal Foil, — РЕАЛЬНОЕ ВОПЛОЩЕНИЕ ИДЕАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Борис Ключников, инженер, компания ECOMAL
Константин Калаев, инженер, компания ECOMAL

Идеалы сопровождали человечество на протяжении многих тысячелетий. При этом к идеалам относились не только сверхъестественные силы и понятия. Часто создавался идеальный образ вполне обыденных вещей, и затем шло непрерывное сравнение реального с идеальным. Разумеется, этот процесс не мог пройти мимо науки, техники, а также всего, что с этим связано. Параметры прецизионных резисторов, изготовленных по технологии Bulk Metal Foil, наиболее близки к параметрам «идеального резистора».

Вслед за научным открытием доктора Ф. Зандмана (Dr. Felix Zandman) в 1962 г. последовало создание и промышленное внедрение технологии, называемой Bulk Metal Foil® (BMF®). Сегодня эта технология позволяет создавать резисторы самой высокой точности, стабильности и надежности, максимально приближенные к «идеальному сопротивлению».

Запатентованный метод соединения металлической фольги и керамической подложки позволяет получать резистор с параметрами, недоступными для других резисторов — проволочных, толсто- и тонкопленочных.

Технология BMF имеет три ключевых отличия. Первое — высокая температурная стабильность и стабильность под нагрузкой. Второе — высокая точность получаемого сопротивления. И, наконец, третье — высокая надежность. По сравнению с резисторами BMF, тонкопленочным резисторам присущ ряд недостатков. Например, при механической или температурной

деформации частицы, формирующие пленку, расширяются. В процессе охлаждения они не возвращаются к первоначальному положению. Таким образом, каждое температурное воздействие или цикл деформации вызывают изменение величины сопротивления.

Благодаря возможностям технологии BMF удается достичь высоких параметров резисторов: температурного коэффициента сопротивления (ТКС), коэффициента мощности сопротивления, точности изготовления номинального сопротивления и его стабильности во времени под нагрузкой, высокого быстродействия, низкого уровня шумов, термо-ЭДС, малой зависимости сопротивления от напряжения. Остановимся более подробно на каждом из приведенных параметров.

Сверхнизкий ТКС является результатом взаимной компенсации двух физических явлений: изменения сопротивления металлического сплава

от температуры и изменения его сопротивления под механической нагрузкой. Современные резисторы Foil Z, выполненные по технологии BMF, имеют ТКС, равный 1 ppm/°C (для технологии Foil Z — 0,2 ppm/°C) в температурном диапазоне -55...125°C (см. рис. 1).

Коэффициент мощности сопротивления (КМС) определяет изменение сопротивления из-за самонагрева резистора при протекании через него тока.

КМС выражается в (ppm/Вт) или в (ppm/номинальная мощность). У резисторов, выполненных по технологии BMF, величина КМС составляет не более 20 ppm/Вт номинальной мощности.

Типичное значение **временной стабильности сопротивления под нагрузкой** у резисторов, выполненных по технологии BMF — 0,015% в течение 2000 ч при номинальной нагрузке и температуре окружающей среды 125°C (см. рис. 2). При снижении нагрузки или окружающей температуры сопротивление будет еще стабильнее.

Высокое быстродействие обеспечивается благодаря топологии резисторов BMF, сводящей к минимуму реактивную составляющую сопротивления. На рисунке 3 приведено сравнение отклика на входной сигнал у прецизионного проволочного резистора и у резистора BMF компании Vishay. Как

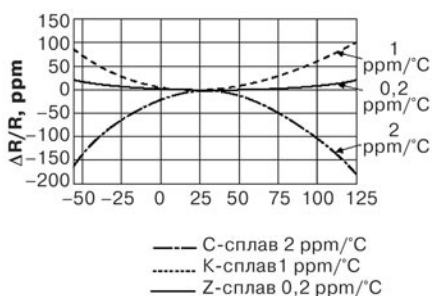


Рис. 1. Величина ТКС, присущая различным технологиям BMF

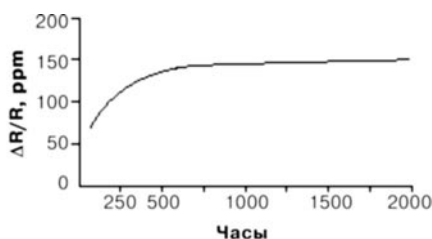


Рис. 2. Изменение сопротивления резистора в течение 2000 ч при температуре 125°C и номинальной нагрузке

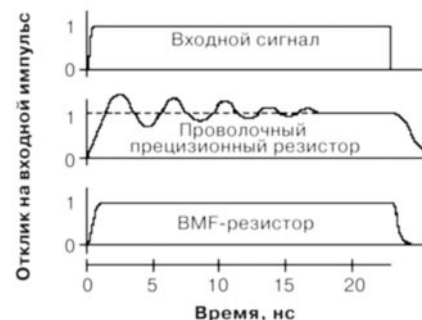


Рис. 3. Сравнение параметров переходных процессов в BMF и прецизионных проволочных резисторах

Таблица 1. Значения параметров сопротивлений выполненных по различным технологиям

Технология	Foil I (Z-Foil)	Foil II	Прецизионная тонкопленочная	Толстопленочная
ТКС, ppm/°C (в промышленном диапазоне температур)	0,05	< 2	10...25 (существуют резисторы с величиной 5 ppm/°C, но очень дорогие)	100...300 ppm/°C
Стабильность сопротивления под нагрузкой (2000 ч, t _{кр} 70°C), %	0,01 при полной нагрузке; 0,005 при 1/2 нагрузки		0,1	1...3
Коэффициент мощности сопротивления, ppm	0...5	20	> 200	> 1000
Точность соответствия номиналу (tolerance), %	0,001		0,05...1	1...5
Стабильность сопротивления при пайке, %	0,01		0,1	0,25...3
Стабильность сопротивления при длительном высокотемпературном воздействии, %	0,02		0,15	1...1,5
Временная стабильность сопротивления, ppm	25 (2 ppm при хранении в вакуумной упаковке в течение 10 лет)		100	20000
Устойчивость к воздействию влаги, %	0,015		0,1...0,2	0,25...3
Уровень шумов, дБ	< -40		-30	Высокий

Таблица 2. Новые прецизионные сопротивления, изготовленные по технологии BMF

Серия	Характеристика
Z201	Новая серия ультрастабильных резисторов. TCR снижен до 0,05 ppm/°C.
VSMP	Чип-резисторы с повышенной температурной и временной стабильностью для поверхностного монтажа. Изготавливаются в размерах 0805/1206/2010/2512 с использованием сплава Z-foil.
VFCD1505	Ультрастабильный (Z-foil) делитель напряжения для поверхностного монтажа (flip-chip).
VCS1625Z	Ультрастабильные резисторы (поверхностный монтаж), предназначенные для датчиков тока. Низкие значения сопротивления: 0,01...2 Ом.
SMN	Высокостабильные сборки для поверхностного монтажа (состоят из 4 резисторов). Резисторы могут использоваться индивидуально или в качестве делителя напряжения.

видно из рисунка, характеристики BMF-резистора предпочтительнее.

Кроме того, топология резисторов BMF обеспечивает **уровень шума** более низкий, чем у резисторов, выполненных по другим технологиям. Поскольку резисторы с высокой точностью и стабильностью используются, главным образом, в измерительной аппаратуре, фоновый шум, создаваемый ими во входных цепях, может оказывать влияние на точность измерений. Уровень шума резисторов BMF настолько мал, что не поддается измерению.

Технология BMF дает возможность изготавливать изделия с характеристиками, заданными заказчиком, в частности, **с любой величиной сопротивления** без привязки к стандартным рядам E6, E12, E24. Кроме того, по требованию заказчика могут быть изготовлены резисторы с **очень высокой точностью номинала** — до 0,001%.

Другой важной характеристикой резисторов BMF является низкая **термо-ЭДС**. Ее значение не превышает 0,05 мкВ/°C. Конструкция резистора предусматривает равномерное распределение тепла между элементами конструкции, устраняя причину возникновения термо-ЭДС.

Высокая стабильность номинала к приложенному напряжению (Voltage Coefficient (VC) отражает изменение сопротивления в зависимости от величины приложенного напряжения. Резисторы различной конструкции значительно различаются величиной VC. Благодаря подбору физических свойств сплавов, используемых для резисторов BMF, она превышает 0,01 ppm/V.

Наглядно преимущества резисторов, изготовленных по технологии BMF, представлены в таблице 1. Характеристики и область приме-

нения новых серий BMF-резисторов компании Vishay приведены в таблице 2. Огромное разнообразие моделей размеров BMF позволяет найти им применение в самых разных устройствах: для медицины, в точном приборостроении, связи, компьютерной технике, автоэлектронике и т.д. Технология BMF дает возможность изготавливать изделия с характеристиками, заданными заказчиком, в том числе нестандартными.

Более подробно ознакомиться с технологией BMF и резисторами, выпускаемыми с ее применением, можно на сайте www.vishay.com, а приобрести BMF-резисторы в России — через фирму ECOMAL (www.ecomal.ru).