

Резисторы Caddock — качество, проверенное временем

Несмотря на кажущуюся простоту, резисторы являются важными элементами многих электронных схем, от качества изготовления которых часто зависит надежность и срок службы проектируемого оборудования. Компания Caddock Electronics, имеющая более чем полувековую историю, предлагает широкую линейку резисторов и резисторных сборок в различном корпусном исполнении. В данной обзорной статье рассматриваются особенности отдельных серий, объединенных в группы в зависимости от назначения, ключевых характеристик и условий эксплуатации.

Константин Верхулевский

info@icquet.ru

Введение

Caddock Electronics, основанная в 1962 году, специализируется на разработке и производстве резисторов и резисторныхборок различного назна-

чения. Продукция компании обладает широким диапазоном удельных сопротивлений, хорошей точностью, превосходной температурной и временной стабильностью параметров и повышенной надежностью в жестких условиях эксплуатации [1].

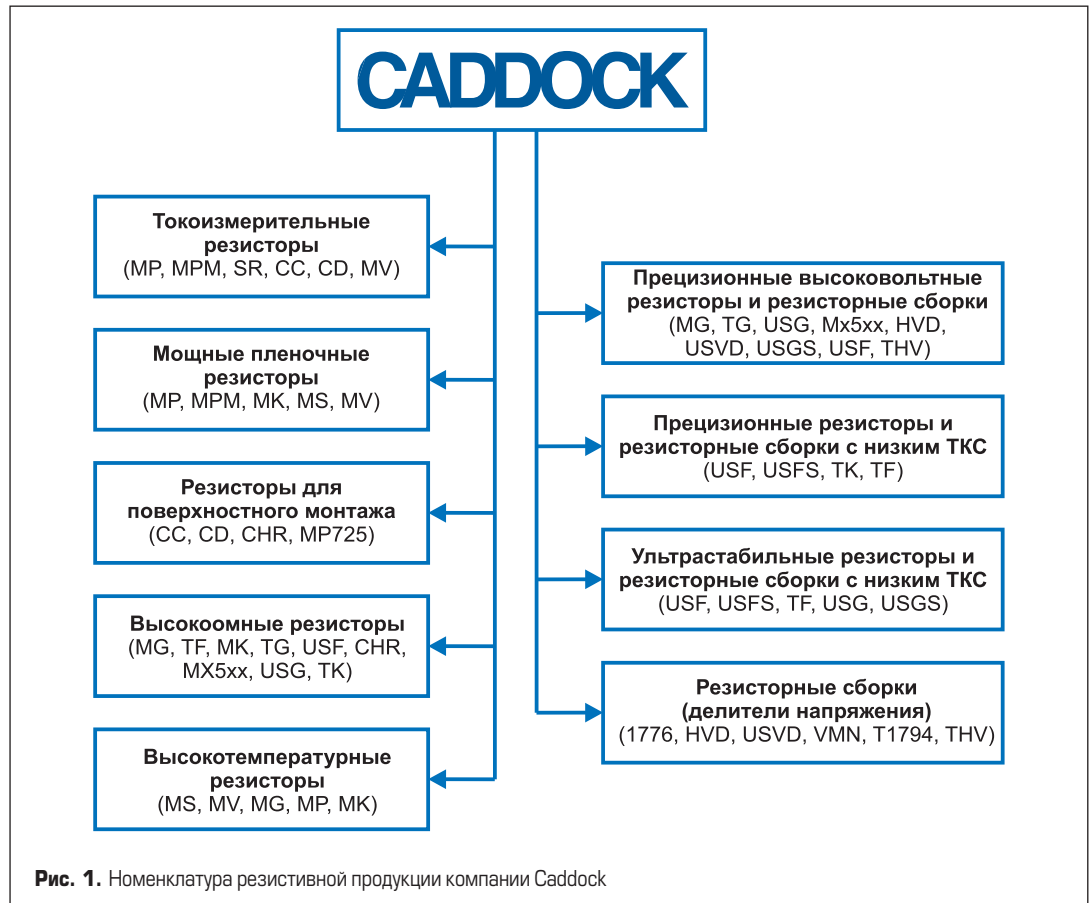


Рис. 1. Номенклатура резистивной продукции компании Caddock

Некоторые изделия, представленные в настоящее время на рынке электронных компонентов, не имеют аналогов. Например, в ассортименте присутствуют резисторы, рассчитанные на рабочие напряжения вплоть до 48 кВ, длительную эксплуатацию при высоких температурах (до +275 °С) и высокую рассеиваемую мощность (до 100 Вт). Кроме серийных устройств, производитель предлагает разработку и соответствующее тестирование специализированных изделий, выполненных на основе требований заказчика. Заявленные характеристики гарантируются непрерывным контролем на всех стадиях производственного процесса и 100%-ными выходными испытаниями (электрическими и климатическими) с целью обнаружения дефектов и отбраковки изделий, не удовлетворяющих программе проверки качества.

Используемые при производстве передовые технологии Micronox и Tetrinox обеспечивают исключительные технические характеристики и позволяют применять предлагаемые резисторы во многих видах высокотехнологичного оборудования специального назначения, в том числе в космической и военной аппаратуре. К популярным областям применения изделий Caddock относятся источники питания, оборудование широкополосной связи и передачи данных, медицинская и лабораторная аппаратура, силовые коммутирующие устройства, прецизионные измерительные цепи, системы автоматизированного контроля и т. д.

На рис. 1 показана общая классификация всех выпускаемых устройств Caddock. Необходимо отметить, что отдельные серии резистивной продукции могут принадлежать к нескольким группам одновременно [2].

Токоизмерительные резисторы

Как известно, токоизмерительные резисторы используются для прямого преобразования тока в напряжение с целью его дальнейшего измерения и контроля. Как правило, они представляют собой малогабаритные двухвыводные компоненты с низким собственным сопротивлением и малой паразитной индуктивностью. У компании Caddock данная группа представлена несколькими сериями, отличающимися друг от друга, прежде всего, номинальной рассеиваемой мощностью и, соответственно, вариантами корпусного исполнения. Их основные характеристики занесены в таблицу 1.

Серии MP725, MP820, MP821, MP825, MP850, а также MP915, MP916, MP930 и MP9100 состоят из мощных пленочных резисторов, изготавливаемых на основе запатентованной технологии Micronox для получения минимального значения собственной индуктивности (не более 20 нГн). Выпускаются в изолированных керамических корпусах стандартных типовых размеров (ТО-126, ТО-220, ТО-247 и D-Pak), снабженных дополнительной теплоотводящей площадкой для установки радиатора. Рекомендованы для применения совместно с микросхемами драйверов шаговых двигателей, в электроприводах, инверторах напряже-

Таблица 1. Основные параметры токоизмерительных резисторов Caddock

Серия	Номинальная мощность, Вт	Диапазон сопротивлений (мин./макс.)	Точность, %	Диапазон рабочих температур, °С	Корпусное исполнение		
MP725	25	0,02 Ом/1 Ом	±1; ±5; ±20	-55...+150	D-Pak		
MP820	20	10 Ом/10 кОм	±0,5; ±1; ±5; ±20	-55...+175	ТО-220		
MP821	20	0,02 Ом/9,99 кОм			ТО-220		
MP825	25	0,02 Ом/10 кОм			ТО-126		
MP850	50	0,2 Ом/10 кОм			ТО-220		
MP915	15	0,02 Ом/1 кОм			±1; ±5; ±20	-55...+150	ТО-126
MP916	16	0,01 Ом/0,019 Ом			±5; ±20	ТО-220	
MP930	30	0,02 Ом/4,99 кОм			±1; ±5; ±20	ТО-220	
MP9100	100	0,05 Ом/100 Ом	±1	-55...+175	ТО-247		
MP2060	18-60	0,005 Ом/1 кОм	±1; ±2; ±5	-55...+150	ТО-220		
MPM20	20	0,02 Ом/10 кОм	±0,5; ±1	-55...+175	ТО-220		
SR10	1	0,008 Ом/1 Ом	±1	-55...+150	SR10		
SR20	2	0,005 Ом/1 Ом			SR20		
CC	0,75-1,5	0,01 Ом/10 Ом			чип 1512, 2015, 2520		
CD	1-1,5	0,01 Ом/0,2 Ом			чип 2015, 2520		
MV	1,5-10	0,1 Ом/50 Ом			±1; ±5; ±10	-55...+275	с аксиальными выводами

ния и т. д. Величина температурного коэффициента сопротивления (ТКС) зависит от номиналов резисторов и варьируется от десятков до сотен ppm/°С. Выходные испытания проводятся в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD-202. Аналогичное строение имеют резисторы серии MPM20, отличающиеся от других наличием позолоченных выводов и предназначенные для высокочастотных применений. Серия MP2060, рассчитанная на максимальную мощность 60 Вт и предельный рабочий ток 60 А, широко используется в высоковольтных коммутирующих цепях. Мощные резисторы способны надежно функционировать при импульсных перенапряжениях, корпусное исполнение по огнестойкости соответствует оценке UL 94 V0.

Маломощные резисторы серий SR10 и SR20, доступные в миниатюрных корпусах с однорядным расположением выводов, построены по схеме Кельвина (рис. 2). Четырехвыводная конструкция, в которой ток проходит через две клеммы, а напряжение контролируется на двух оставшихся контактах, уменьшает

влияние температурной погрешности и значительно повышает стабильность измерения. Ряд номиналов начинается от 5 мОм, а рассеиваемая мощность не превышает 2 Вт.

Прецизионные токоизмерительные чип-резисторы серий CC и CD выпускаются в планарных корпусах типоразмеров 1512, 2015 и 2520. Являются хорошим выбором для применения в импульсных источниках питания. Устройства серии MV в цилиндрических корпусах с аксиальными выводами предназначены для монтажа в отверстия на печатной плате. Их ключевое отличие — возможность эксплуатации при высоких температурах вплоть до +275 °С. Габаритные параметры определяются максимальной рассеиваемой мощностью (пять номиналов).

Мощные пленочные резисторы

Помимо рассмотренных ранее изделий серий MP, MPM и MV, в данную группу входят устройства серий МК и MS. Семейство МК включает безындукционные резисторы



Рис. 2. Корпусное исполнение резисторов серий SR10 и SR20

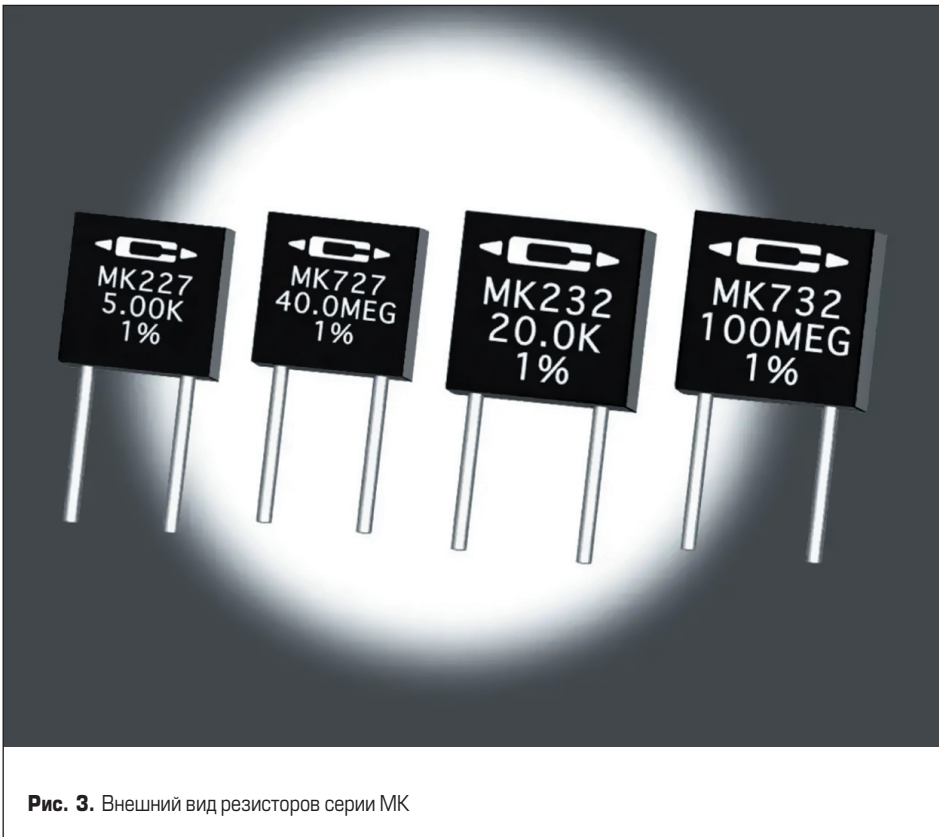


Рис. 3. Внешний вид резисторов серии МК

с расширенным диапазоном номинальных сопротивлений (1 Ом — 100 МОм). Типовая погрешность сопротивления составляет $\pm 1\%$, по запросу возможна поставка изделий с точностью $\pm 0,1\%$. Также следует отметить достаточно низкий температурный коэффициент, не более $80 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ даже у самой верхней границы доступного диапазона. Изменение номинального сопротивления не превышает $0,1\%$ на каждые 1000 ч эксплуатации при рабочих температурах $-40...+150^\circ\text{C}$. Компактные корпуса с радиальными выводами, предназначенные для сквозного монтажа, упрощают компоновку электронных компонентов на плате (рис. 3).

Серия MS представляет собой высоковольтную версию устройств серии MV. Пленочные резисторы в корпусах с аксиальными выводами рассчитаны на максимальную мощность 22 Вт и рабочие напряжения до 6 кВ. В рамках серии для заказа доступны 18 моделей, отличающиеся массогабаритными показателями и рядом номинальных сопротивлений (в диапазоне 20 Ом — 30 МОм с начальной

погрешностью 0,1 или 1%). Стабильность сопротивления по результатам тестов составляет 0,05% на 1000 ч эксплуатации при температурах вплоть до $+275^\circ\text{C}$.

При производстве компонентов данного типа на цилиндрическое основание, выполненное из керамики, методом трафаретной печати наносится резистивный слой из специальных проводящих паст (рис. 4). Установка номинала резистора выполняется регулировкой формы резистивного материала. Сформированный отпечаток обжигается в конвейерной печи при температуре $+760^\circ\text{C}$, после чего образуется гетерогенный монолитный слой с необходимым комплексом резистивных параметров. Металлические колпачки, монтируемые на торцах заготовок, и привариваемые к ним выводы определенной длины обеспечивают электрический контакт резистивного слоя и внешней электрической схемы. Далее производится корректировка сборной конструкции при помощи лазерной подгонки для получения заданной величины сопротивления. На последнем этапе компонент изолируется



Рис. 4. Типовая конструкция резисторов с аксиальными выводами компании Caddock

от воздействия окружающей среды путем нанесения защитных покрытий.

Прецизионные высоковольтные резисторы и резисторные сборки

Основные характеристики элементов данной группы представлены в таблице 2.

Компоненты серий MG, TG, USG и MX5xx представляют собой высоковольтные дискретные резисторы с аксиальными выводами. Их конструкция была рассмотрена выше. Рассчитанные на рабочие напряжения до десятков кВ и устойчивые к значительным импульсным перегрузкам, они широко применяются в делителях напряжения, в зарядных и разрядных цепях и многих других высоковольтных схемах.

Серия MG состоит из пленочных резисторов, предназначенных для работы в схемах с рабочими напряжениями 600 В — 48 кВ. Отличается хорошей стабильностью характеристик: например, пятикратная перегрузка по мощности в течение 5 с (при рабочем напряжении не более 150% от максимального) вызовет уход сопротивления не более 0,8%. В пределах серии доступны 23 модели, различающиеся диапазоном номинальных сопротивлений, допустимым уровнем рассеиваемой мощности (0,5–15 Вт) и габаритными размерами (от $8,0 \times 2,4 \text{ мм}$ до $152,4 \times 8,9 \text{ мм}$).

Серия TG содержит резисторы с номиналами 1–1000 МОм и точностью от $\pm 0,1$ до $\pm 1,0\%$. Для получения низких значений ТКС в широком диапазоне рабочих температур компоненты серии производятся с применением проверенной технологии Tetrinox. Величина данного параметра для всех моделей не превышает $25 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, что гарантирует стабильность функционирования при нагреве, вызванном протеканием тока. Оценочная погрешность сопротивления, возникающая при длительной эксплуатации и вызванная воздействием факторов внешней среды, составляет 0,25% на 1000 ч при $+125^\circ\text{C}$. Максимальная температура эксплуатации резисторов серий MG и TG составляет $+225^\circ\text{C}$, что позволяет также отнести их к высокотемпературным компонентам и применять в скважинном оборудовании различного назначения.

Ультростабильные прецизионные резисторы серии USG, предназначенные для эксплуатации в промышленном диапазоне рабочих температур ($-40...+85^\circ\text{C}$), отличаются

Таблица 2. Основные параметры прецизионных высоковольтных компонентов Caddock

Серия	Номинальная мощность, Вт	Диапазон рабочих напряжений, В	Диапазон сопротивлений (мин./макс.)	Точность, %	ТКС, ppm/°C	Диапазон рабочих температур, °C
MG	0,5–15	600–48000	200 Ом/10000 МОм	$\pm 0,1; \pm 0,25; \pm 0,5; \pm 1$	80	$-55...+225$
TG	1–6	4000–48000	1 МОм/1000 МОм	$\pm 0,1; \pm 1$	25	$-40...+85$
USG	–	5000–15000	50 МОм/200 МОм	$\pm 0,1; \pm 0,2$	10–20	$-40...+85$
MX5xx	2–10	7500–32000	1 МОм/1000 МОм	± 1	80	$0...+70$
HVD	–	1500–5000	10 МОм/50 МОм	$\pm 0,05$	5	$-40...+85$
USVD	–	450–2000	1 МОм/20 МОм	$\pm 0,01$	2	$-40...+85$
USGS	–	30000–50000	300 МОм/500 МОм	$\pm 0,1$	5	$-40...+85$
USF	0,33; 0,75	300–2500	50 Ом/25 МОм	$\pm 0,01; \pm 0,1$	2–5	$-40...+85$
THV	–	10000–15000	100 МОм/150 МОм	$\pm 0,25; \pm 0,5; \pm 1$	10–25	$-55...+125$



Рис. 5. Внешний вид резисторов серии USF3xx

еще более низким температурным коэффициентом (10 или 20 ppm/°C). Компоненты серии рассчитаны на рабочие напряжения 5, 10 или 15 кВ и выпускаются в корпусах трех типоразмеров. При необходимости возможна разработка под заказ устройств с более высокими допустимыми напряжениями, например 50 или 100 кВ. Номиналы резисторов ограничены пятью значениями сопротивлений: 50, 75, 100, 150 и 200 МОм, при этом их начальная погрешность не превышает 0,2%.

Компоненты серии MX5xx с максимальными рабочими напряжениями 7,5–32 кВ представляют собой резисторы бюджетного типа, адаптированные под коммерческий диапазон температур (0...+70 °C). Семь доступных моделей мощностью 2–10 Вт и диапазоном сопротивлений 1–1000 МОм обладают эффективным соотношением цена/качество. Безындукционное исполнение в соответствии с технологией Microplex минимизирует потери на высоких частотах. Температурный коэффициент сопротивления повышен до 80 ppm/°C при рабочих температурах 0...+70 °C.

Серия USF объединяет ультрастабильные пленочные дискретные резисторы с радиальными выводами. Их ключевая особенность — низкий температурный коэффициент и высокая точность. Серия разработана для использования в прецизионных аналоговых цепях (измерительных мостах, усилителях, делителях напряжения) и других схемах с рабочими напряжениями до 2500 В. В настоящее время доступны компоненты с номиналами из диапазона 50 Ом — 25 МОм и допуском ±0,01 или ±0,1%. Резисторы изготавливаются с применением оксидалюминиевой (Al₂O₃) высококачественной керамики с большой удельной теплопроводностью, используемой в качестве подложки (рис. 5). Такая особенность позволяет эффективно отводить тепло, вызванное рассеиваемой мощностью, от резистивного материала. Серия USF условно подразделяется на USF2xx и USF3xx, отличающиеся величиной температурного коэффициента — 2 и 5 ppm/°C соответственно. Компоненты USF2xx образуются путем объединения двух отдельных резисторов из серии USF3xx. Двухслойная конструкция незначительно увеличивает толщину изделия, при этом добавляется еще один ряд выводов, расположенный на расстоянии 5,08 мм от первого. Полученная

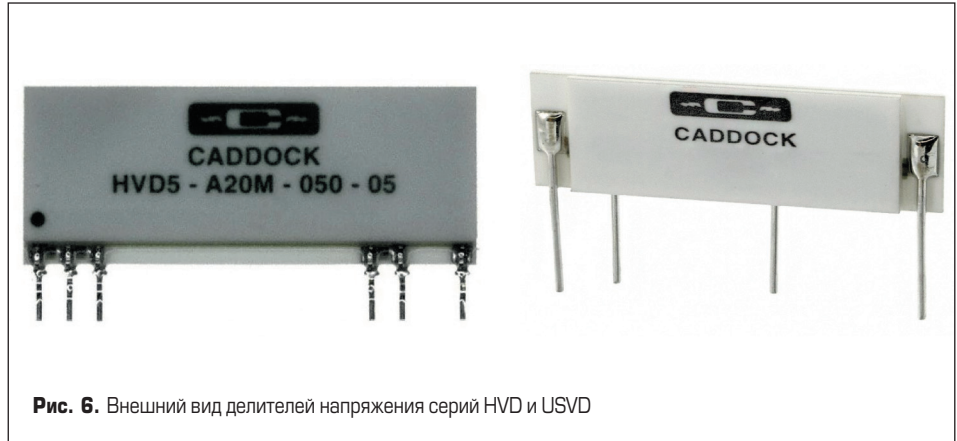


Рис. 6. Внешний вид делителей напряжения серий HVD и USVD

сборка может использоваться, например, в качестве делителя напряжения (при добавлении внешнего соединения на печатной плате).

Резисторные сборки Caddock представляют собой два или более резисторов, объединенных в одном корпусе в той или иной конфигурации. Они позволяют экономить площадь печатной платы, уменьшают число компонентов в схеме и количество точек пайки.

Устройства серий HVD, USVD, USGS, USFS и THV изготавливаются в плоских керамических корпусах типа SIP с однорядным расположением выводов. Ультрпрецизионные делители напряжения серий HVD и USVD предназначены для эксплуатации в цепях с рабочими напряжениями 1500–5000 и 450–2000 В соответственно. Резисторы серии HVD с погрешностью не более 0,05% и температурным коэффициентом 5 ppm/°C оптимальны для применения в высококачественных медицинских приборах и лабораторном оборудовании. Делители напряжения USVD обладают коэффициентами деления 100:1 и 1000:1 и получаются в результате объединения двух резисторов серии USF, погрешность сопротивления при этом не превышает 0,01% (рис. 6). Диапазон рабочих температур –40...+85 °C.

Серия USGS содержит наборы из трех или пяти специально подобранных дискретных резисторов USG1110. Предназначенные для

последовательного соединения в высоковольтных применениях, они гарантируют общий температурный коэффициент не более 5 ppm/°C. Рассчитаны на напряжения до 50 кВ постоянного тока, полное сопротивление сборок составляет 300 или 500 МОм (±0,1%) соответственно. Для получения более высоких значений сопротивления несколько резисторныхборок USGS могут быть включены последовательно. Аналогичное назначение имеют ультрастабильные наборы резисторов повышенной точности, относящиеся к серии USFS. Они состоят из трех или пяти резисторов USF370 или USF371, имеют полное сопротивление 30, 50 или 100 МОм, при этом погрешность всей сборки не превышает ±0,1%. В зависимости от числа резисторов рабочее напряжение составляет 3 или 5 кВ постоянного тока, величина ТКС — 2 ppm/°C.

Высоковольтные делители напряжения серии THV позиционируются для применения в радиолокационных станциях, рентгеновской аппаратуре, источниках питания на лампах бегущей волны и т. д. Серия включает две модели с номинальными значениями рабочих напряжений 10 или 15 кВ постоянного тока. Температурный коэффициент на выбор 10 или 25 ppm/°C при рабочих температурах –55...+125 °C, абсолютная погрешность

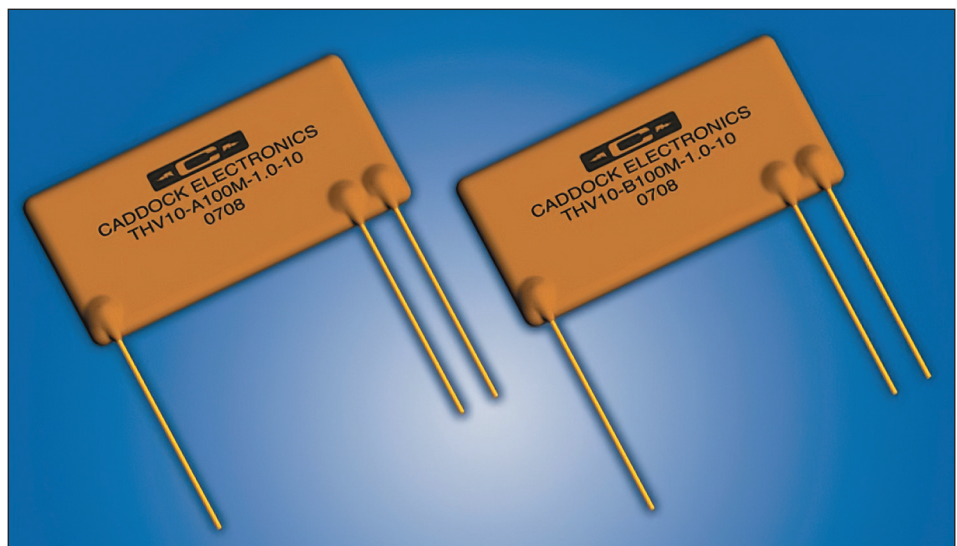


Рис. 7. Внешний вид делителей напряжения серии THV

Специализированные резисторные сборки

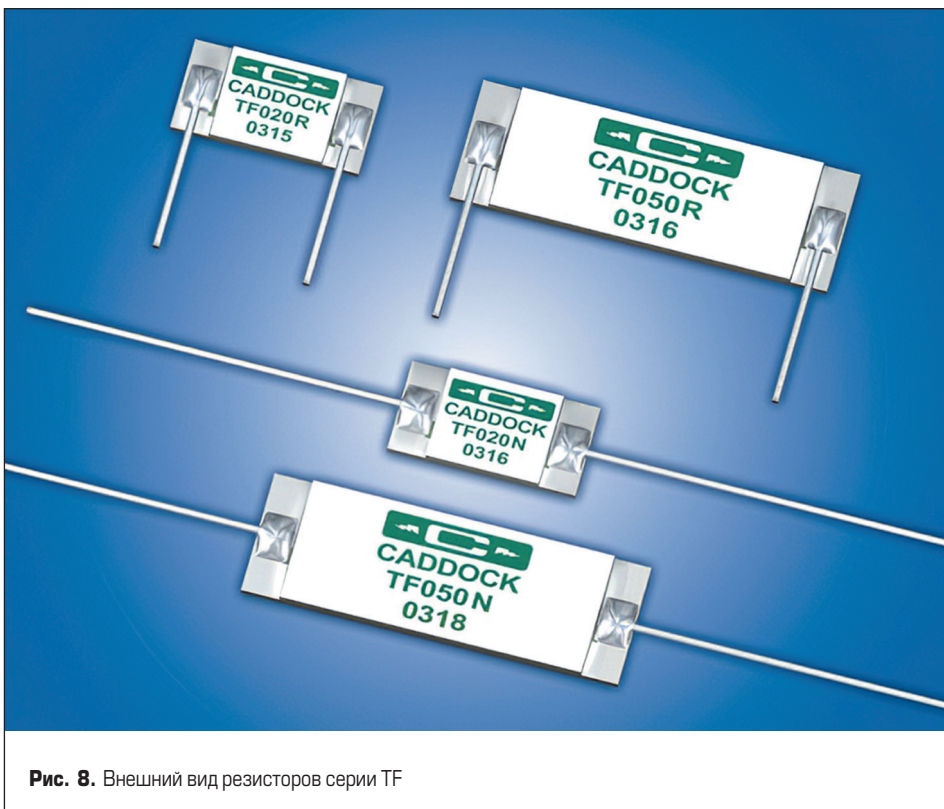


Рис. 8. Внешний вид резисторов серии TF

сопротивления не превышает 1%. Герметичный корпус прямоугольной формы имеет толщину всего 3 мм и три вывода, пригодных для пайки (рис. 7).

Прецизионные резисторы и резисторные сборки с низким ТКС

Помимо ранее рассмотренных семейств USF, USFS, USG и USGS, к данной группе относятся устройства серий TF и ТК. Серия TF представлена ультрапрецизионными пленочными резисторами с ТКС не более 5 ppm/°C и начальной погрешностью до $\pm 0,01\%$. Предназначены для эксплуатации в цепях с рабочими напряжениями до 1,4 кВ. Для заказа доступны модели со стандартным

или расширенным диапазоном сопротивлений: 1 кОм — 10 МОм и 2–125 МОм соответственно. Каждый номинал выпускается в прямоугольных керамических корпусах с аксиальным или радиальным расположением выводов (рис. 8). Выводы — медные, покрытые оловом. Изменение сопротивления во время жизненного цикла составляет не более 0,03% за 1000 ч работы при температуре +70 °C.

ТКС прецизионных резисторов серии ТК зависит от номинала компонента и принимает значения 5–10 ppm/°C для диапазона 1 кОм — 1,5 МОм и 10–20 ppm/°C для 1,51–10 МОм (при температурах эксплуатации –40...+125 °C). Корпусное исполнение соответствует резисторам серии МК.

В данной группе следует отметить новые резисторные сборки серии VMN, устойчивые к воздействию электрических импульсов с величиной напряжения до 10 кВ и длительностью 1,2/50 мкс. Они сконструированы для использования в качестве делителей напряжения в промышленных и коммерческих устройствах измерения потребления и определения качества электроэнергии, а также в другом силовом и энергетическом оборудовании, требующем высокоточного контроля напряжения. Изготавливаются с применением технологии Tetrinox, гарантирующей высокую точность номинала. Использование многослойной керамической конструкции обеспечивает долгосрочную стабильность сопротивления, особенно в жестких условиях окружающей среды (рис. 9). Общее сопротивление двух последовательно включенных резисторов в зависимости от модели составляет 2 или 5 МОм, а коэффициент деления 400:1 или 500:1. Максимально допустимое рабочее напряжение не должно превышать 900 В (среднеквадратичное значение). Погрешность установки номинала выбирается из двух значений: 0,02 или 0,1%.

Прецизионные малогабаритные декадные резисторные делители из серии 1776 предназначены для цифровых мультиметров, многодиапазонной аппаратуры и многих других устройств. Тридцать девять стандартных моделей с количеством декад 3–5, коэффициентами деления от 10:1 до 10000:1 и максимальным рабочим напряжением 1200 В позволяют выбрать подходящее решение. Корпусное исполнение, аналогичное устройствам серии VMN, обеспечивает простоту монтажа. Все делители стабильно функционируют в диапазоне температур –40...+85 °C, абсолютное значение ТКС находится в пределах 25–50 ppm/°C.

Заключение

Компания Caddock выпускает широкий ассортимент резисторов и резисторных сборок. Высоковольтные, высокотемпературные или прецизионные компоненты с низким температурным коэффициентом и высокой точностью, рассчитанные на различную мощность и условия эксплуатации, подходят для большинства современных применений. Отличная техническая поддержка и подробная документация, доступная для каждого семейства, позволяют сделать оптимальный по соотношению цена/качество выбор.

Литература

1. Официальный сайт компании Caddock Electronics. www.caddock.com/index.html
2. Caddock high performance film resistors. Product overview. www.caddock.com/Online_catalog/Mrktg_Lit/overview.pdf

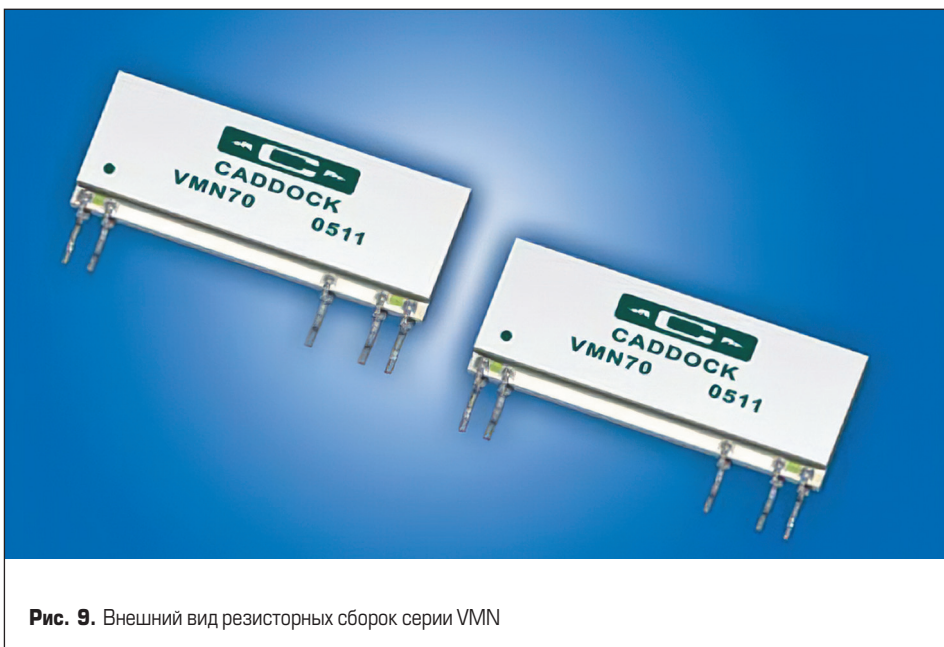


Рис. 9. Внешний вид резисторных сборок серии VMN