Прецизионные высоковольтные резисторы и резисторные сборки

компании Caddock Electronics

Резисторы являются неотъемлемым элементом радиоэлектронных схем и применяются в электронной аппаратуре практически повсеместно. Компания Caddock Electronics (далее Caddock), основанная в 1962 г., специализируется исключительно на разработке и производстве резисторов различного назначения. В широкий спектр продукции этой фирмы входит множество отдельных семейств, технические характеристики которых зачастую не имеют аналогов на рынке. В данной обзорной статье речь пойдет о высоковольтных прецизионных резисторах и резисторных сборках.

Константин Верхулевский

info@icquest.ru

Введение

Изделия электронной техники на пленочной основе сегодня наиболее востребованы благодаря возможности создания резистивных элементов с широким диапазоном удельных сопротивлений (от долей Ом до 100 МОм) при хорошей температурно-временной стабильности сопротивления. Компания Caddock — известный во всем мире разработчик пленочных резисторов и резисторных сборок, отличающихся высоким качеством изготовления и повышенной надежностью в жестких условиях эксплуатации. Используемые при производстве передовые технологии Micronox и Tetrinox обеспечивают исключительные технические характеристики и позволяют схемотехникам применять эти резисторы во многих видах высокотехнологичного оборудования специального назначения, в том числе в космической и военной аппаратуре.

Основные преимущества продукции Caddock — сверхнизкая индуктивность, хорошая точность, превосходная температурная и временная стабильность параметров. Производимые резисторы рассчитаны на рабочие напряжения вплоть до 48 кВ (серии MG и MX), длительную эксплуатацию при температурах до +275 °C (серии MS, MM и MV) и имеют высокую рассеиваемую мощность (например, 100 Вт у серии MP).

Постоянные исследования компании в области разработки новых резистивных материалов и совершенствование технологий производства позволяют улучшать технические характеристики резисторов и расширять номенклатуру выпускаемых изделий. Заявленные характеристики гарантируются непрерывным контролем производственного процесса на всех стадиях, форсированными испытаниями на воздействие внешних факторов с целью обнаружения ранних дефектов в производимой партии, 100%-ми выходными испытаниями для отбраковки изделий, не соответствующих стандартам, и постоянным расширением программы тестирования. Оценка качества осуществляется согласно собственно разработанной программе проверки надежности, включающей, помимо всего прочего, определение реакции на кратковременные электрические и температурные перегрузки и мониторинг технического состояния монтажа, при необходимости инженеры компании могут выполнить дополнительное тестирование по требованиям заказчиков [1].

Согласно внутренней классификации Caddock, вся выпускаемая продукция условно разбита на следующие группы:

- токочувствительные резисторы;
- мощные пленочные резисторы;
- резисторы для поверхностного монтажа;
- прецизионные высоковольтные резисторы;
- прецизионные резисторы с низким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС);
- ультрастабильные резисторы с низким ТКС;
- высококачественные резисторные сборки;
- высокоомные резисторы;
- высокотемпературные резисторы (до +275 °C).

Стоит отметить, что отдельные серии резисторов принадлежат к нескольким группам одновременно. В таблице 1 представлены краткие описания серийно выпускаемых семейств. Также, кроме стандартных изделий, производитель может изготовить резисторы по специальным требованиям заказчика, не выходящим за рамки отработанного технологического процесса [2].

Среди типовых областей применения резисторов и резисторных сборок Caddock можно отметить:

- источники питания, контроллеры управления двигателями, силовые коммутирующие цепи, ВЧ устройства, оборудование широкополосной связи и передачи данных, для которых рекомендуются мощные пленочные резисторы серий MS, MP и MM, а также токочувствительные низкоомные серий CC, CD, SR и MV;
- для медицинской и лабораторной аппаратуры, в том числе для томографов, систем обеспечения жизнедеятельности и дефибрилляторов предназначены самые разнообразные типы резисторов и резисторных сборок — серии USG, MG, TG, USF, TF, TK, MP, MK, CC, USVD и HVD;
- для систем автоматизированного контроля, цифровых мультиметров, прецизионных цепей измерения тока и напряжения — малогабаритные резисторные сборки серий 1776, 1787, USVD и T912/T914, а также резисторы USF, TF, TK, TN, MG и MS;
- для технологического оборудования производства полупроводников рекомендованы семейства USG, TG, MG, USVD, HVD, USF, TF, T912 и T914;
- рентгеновские системы, электрические микроскопы, ЭЛТ-мониторы, линейные ускорители и лампы бегущей волны (ЛБВ) могут содержать в своем составе высоковольтные резисторы серий USG, TG, MG, MX и THV.

Рассмотрим далее их основные технические характеристики.

Высоковольтные прецизионные резисторы с аксиальными выводами

Серии MG, TG, USG и MX представляют собой высоковольтные резисторы с аксиальными выводами. Они рассчитаны на большие рабочие напряжения (от единиц до десятков кВ) и широко применяются в качестве делителей напряжения, поглотителей в силовых установках, эквивалентов антенн, для искрогашения в зарядных и разрядных высоковольтных цепях и т. д. Резисторы данного типа устойчивы к значительным кратковременным перегрузкам. Базовая конструкция такого дискретного компонента представлена на рис. 1.

На керамическое основание цилиндрической формы методом трафаретной печати наносится

Рис. 1. Типовая конструкция аксиального резистора Caddock

Таблица 1. Выпускаемые серии резисторов и резисторных сборок

Серия	Отличительные особенности	Номинальные сопротивления, (мин./макс.)	Точность, %	Номинальная мощность, Вт
MP725	Токочувствительные мощные пленочные резисторы для поверхностного монтажа (корпус D-Pak)	0,02 Ом/1 Ом	±1; ±5; ±20	25
MP820, MP821, MP825, MP850	Токочувствительные мощные пленочные резисторы с возможностью установки радиатора (корпуса TO-220, TO-247 и TO-126), безиндуктивная разработка	0,02 Ом/10 кОм	±0,5; ±1; ±2; ±5; ±10; ±20	20; 25; 50
MP915, MP925, MP930		0,02 Ом/100 кОм	±1; ±5; ±20	15; 25; 30
MP916		0,01 Ом/0,019 Ом	±5; ±20	16
MP9100		0,05 Ом/100 Ом	±1	100
MPM20		0,02 Ом/10 кОм	±0,5; ±1	20
MP2060	Токочувствительные мощные пленочные резисторы с креплением при помощи зажима (корпус TO-220), безиндуктивная разработка	0,005 Ом/1 Ом	±1; ±2; ±5	18–60
SR10, SR20	Токочувствительные миниатюрные резисторы с аксиальными выводами	0,005 Ом/1 Ом	±1	1
CC1512, CC2015, CC2520	Токочувствительные низкоомные чип резисторы (типоразмеры 1512, 2015, 2520)	0,01 Ом/10 Ом	±1; ±2; ±5	0,75; 1; 1,5
CD2015, CD2520		0,01 Ом/0,2 Ом	±1	1; 1,5
CHR2520	Высокоомные чип резисторы (типоразмер 2520)	10 МОм/100 МОм	±1	–
MV217, MV228, MV234, MV261, MV311	Низкоомные высокотемпературные (до +275 °C) резисторы с аксиальными выводами, безиндуктивная разработка	0,1 Ом/50 Ом	±1; ±5; ±10	1,5; 2; 3; 6; 10
MK120, MK132, MK620, MK632	Пленочные безиндуктивные резисторы с радиальными выводами	1 Ом/100 МОм	±0,1; ±1	0,5; 0,75
MSxxx	Пленочные высокотемпературные (до +275 °C) резисторы с аксиальными выводами	20 Ом/30 МОм	±1 (±0,1 по заказу)	0,25–22
MGxxx	Прецизионные высоковольтные и высокотемпературные (до +225 °C) резисторы с широким диапазоном сопротивлений	200 Ом/10 000 МОм	±0,1; ±0,25; ±0,5; ±1	0,25–15
TG931, TG940, TG950, TG980, TG985, TG1010, TG1015	Прецизионные высоковольтные резисторы с аксиальными выводами, низкий ТКС (10–25 ppm/°C)	1 МОм/1000 МОм	±1 (±0,1 по заказу)	1–6
USG1105, USG1110, USG1115		50 МОм/200 МОм	±0,1; ±0,2	–
USF240, USF270, USF271, USF340, USF370, USF371	Прецизионные высоковольтные ультрастабильные керамические резисторы (ТКС = 2 ppm/°C)	50 Ом/25 МОм	±0,01; ±0,1	0,33; 0,75
MX431, MX440, MX450, MX480, MX485, MX510, MX515	Прецизионные высоковольтные резисторы общего применения	1 МОм/2000 МОм	±0,1; ±0,25; ±0,5; ±1; ±2; ±5; ±10	2–15
TF020N, TF020R, TF050N, TF050R, TF626N, TF626R, TF656N, TF656R	Ультрапрецизионные керамические резисторы с низким ТКС (аксиальные или радиальные выводы)	1 кОм/125 МОм	±0,01; ±0,025; ±0,05; ±0,1; ±1	0,33; 0,75
TKxxx	Прецизионные резисторы с низким ТКС и радиальными выводами	1 кОм/10 МОм	±0,05; ±0,1; ±1	0,2; 0,3
TN130, TN130V, TN137		1 кОм/1 МОм	±0,025; ±0,05; ±0,1; ±1	0,3
USVD	Прецизионные монолитные керамические делители напряжения (450–5000 В)	1 МОм/20 МОм	±0,01; ±0,025	–
HVD		10 МОм/50 МОм	±0,05	–
THV10, THV15, THV20	Прецизионные высоковольтные делители с рабочим напряжением 10, 15 или 20 кВ	100 МОм/200 МОм	±0,25; ±0,5; ±1	–
USGS-3, USGS-5	Прецизионные высоковольтные резисторные сборки из трех или пяти последовательно соединенных резисторов серии USG (рабочее напряжение 30 или 50 кВ)	300 МОм/500 МОм	±0,1	–
USFS-3, USFS-5	Ультрапрецизионные резисторные сборки из трех или пяти резисторов серий USF370 или USF371 (рабочее напряжение 3 или 5 кВ), низкий ТКС (2 ppm/°C)	30 МОм/100 МОм	±0,1	–
T912, T914	Прецизионные резисторные сборки из двух или четырех резисторов	1 кОм/1 МОм	±0,01; ±0,02; ±0,05; ±0,1	0,2; 0,4
1776-xxxx	Прецизионные малогабаритные декадные делители напряжения	1 кОм/9 МОм	±0,1; ±0,25	–
1787-xxx	Токочувствительные низкоомные резисторные сборки (12 моделей)	0,9 Ом/1 кОм	±0,1; ±0,25	0,75; 1

Рис. 2. Внешний вид резисторов USG1105, USG1110 и USG1115

резистивный слой определенной толщины из специальных многокомпонентных проводящих паст [3]. Пасты изготавливаются путем механического смешения проводящего вещества с органическими или неорганическими связующими наполнителями. Обеспечение заданного значения номинального сопротивления достигается путем регулировки формы резистивного материала, имеющей обычно вид змейки. Меняя ширину и шаг этой змейки, можно в широких диапазонах корректировать величину сопротивления резистора.

Сформированный отпечаток обжигается в конвейерной печи при температуре примерно +760 °C. После данной термообработки образуется гетерогенный монолитный слой с необходимым комплексом резистивных параметров. Обеспечение электрического контакта резистивного слоя в электрических схемах достигается с помощью выводов, которые привариваются к металлическим колпачкам. Резистивный элемент с выводами на армированных колпачках подгоняется к заданной величине электрического сопротивления при помощи лазерной обработки. Далее сформированная конструкция изолируется от воздействий окружающей среды путем нанесения защитных покрытий. Получившиеся пленочные резисторы производятся с различными допустимыми отклонениями от номинала. Как правило, в самом худшем случае допуск не превышает 1%, компоненты обладают более точным рядом номиналов и могут с успехом использоваться в различных прецизионных цепях.

Серия MG состоит из пленочных резисторов, способных надежно функционировать в схемах с рабочими напряжениями от 600 В до 48 кВ [4]. 23 модели отличаются друг от друга диапазоном номинальных сопротивлений, значением максимальной рассеиваемой мощности 0,5–15 Вт и, соответственно, габаритами. Например, 0,5-Вт модель MG650 имеет внешние размеры (без учета выводов) 8×2,4 мм, в то время как 15-Вт резистор — уже 152,4×8,9 мм. Верхний предел диапазона достигает 10 ГОм, минимальные значения начинаются от 200 Ом. Максимальная температура эксплуатации составляет +125 °C, что удовлетворяет требованиям большинства распространенных приложений. В зависимости от необходимой точности существует возможность выбора погрешности сопротивления из стандартного ряда в диапазоне 0,1–1%, типовое значение температурного коэффициента не превышает 80 ppm/°C при температурах –15…+105 °C.

При выборе мощного резистора, предназначенного для работы в импульсных схемах, необходимо обращать внимание на его перегрузочную способность. Этот параметр характеризует способность резистора выдерживать перегрузку по мощности и напряжению в течение нескольких секунд (конкретное значение времени перегрузки указывается в документации производителя) по сравнению с номинальной мощностью. Для серии MG допускается пятикратная перегрузка по мощности в течение 5 с (при рабочем напряжении не более 150% от максимального), уход сопротивления при этом не превышает 0,8%.

Прецизионные высоковольтные резисторы серии TG производятся в соответствии с наиболее жесткими требованиями, касающимися температурного коэффициента и показателей стабильности при высоких эксплуатационных напряжениях. Проверенная технология Tetrinox обеспечивает ТКС порядка 25 ppm/°C в диапазоне рабочих температур –55…+125 °C, что гарантирует стабильность параметров при нагреве вследствие рассеяния энергии. Оценочная погрешность сопротивления, возникающая при длительной эксплуатации и вызванная воздействием факторов внешней среды, составляет 0,25% на 1000 ч при +125 °C. Максимальная температура функционирования +225 °C позволяет применять компоненты данной серии в геофизической измерительной аппаратуре и скважинном оборудовании различного назначения. Серия TG относится к высокоомным устройствам, величины номинальных сопротивлений лежат в пределах 1–1000 МОм с аналогичной семейству MG погрешностью (±0,1…±1,0%). Она включает в себя семь моделей с рабочими напряжениями 4–30 кВ, старший представитель семейства TG1015 имеет максимальное значение номинальной мощности 6 Вт и размеры 152,4×8,9 мм.

Еще более низкий температурный коэффициент (не более 10 ppm/°C) имеют ультрастабильные прецизионные резисторы высоковольтного семейства USG, предназначенного для эксплуатации в промышленном диапазоне рабочих температур (–40…+85 °C). Крайне низкий температурный коэффициент минимизирует дрейф от саморазогрева компонентов, возникающего после подачи на резисторы высокого напряжения. Типовое изменение сопротивления во время жизненного цикла составляет 0,025% за 1000 ч работы при температуре +85 °C, при этом максимальное значение не превышает 0,05%. Компоненты этой серии выпускаются в корпусах трех типоразмеров в зависимости от рабочего напряжения 5, 10 или 15 кВ (рис. 2). Также возможна разработка под заказ устройств с более высокими 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 0,1%. Кроме того, серия USG характеризуется высокой прочностью изоляции, гарантированное напряжение пробоя составляет не менее 1000 В [5]. Обязательная оценка теплостойкости и влагостойкости резисторов данного типа, выполненная согласно методам 106 и 107 стандарта MIL-STD-202, показала, что максимальное ΔR составляет не более 0,05%.

Высоковольтные компоненты серии MX представляют собой резисторы бюджетного типа, адаптированные под коммерческий диапазон температур 0...+70 °C. Они используются для решения стандартных задач в обычных условиях окружающей среды. Семь доступных моделей мощностью 2–15 Вт в корпусах с габаритами от 23,9×6,9 до 150,9×8,4 мм обладают широким диапазоном возможных погрешностей сопротивления ±1, ±2, ±5 или ±10% (значения ±0,5, ±0,25 или ±0,1% по специальному заказу). Выводы у резисторов стальные, луженые оловом.

Другие характеристики резисторов серии MX:

- диапазон сопротивлений 1–2000 МОм;
- эффективное соотношение цена/качество;
- изменение сопротивления при эксплуатации в течение 1000 ч не более 0,5% от начального значения;

Таблица 2. Основные технические характеристики резисторов серии USF

Модель	Номинальная мощность, Вт (при +85°C)	Максимальное рабочее напряжение, В	Номинальное сопротивление		Количество номиналов в диапазоне	ТКС, ppm/°C	Размеры (Д×Ш×В), мм
			Мин.	Макс.			
USF240	0,33	300	50 Ом	10 МОм	29	2	19,1×9,5×10,8
USF270	0,75	1400	990 кОм	5 МОм	4	2	38,1×12,7×14
USF271	0,75	2500	9,9 мОм	10 МОм	3	2	38,1×12,7×14
USF340	0,33	300	50 Ом	20 МОм	37	5	19,1×9,5×10
USF370	0,75	1400	990 кОм	10 МОм	9	5	38,1×12,7×13,2
USF371	0,75	2500	19,8 мОм	25 МОм	4	5	38,1×12,7×13,2

- рабочие напряжения 7,5–48 кВ;
- температурный коэффициент 80 ppm/°C при рабочих температурах 0…+70 °C;
- безиндуктивное исполнение, минимизирующее потери на высоких частотах и обеспечивающее малые искажения сигналов и быстрое время их установления.

Рис. 3. Внешний вид резисторов серий: а) USF3xx; б) USF2xx

Высоковольтные прецизионные резисторы с радиальными выводами

Ультрастабильные пленочные устройства серии USF с низким температурным коэффициентом и высокой точностью разработаны компанией Caddock для увеличения эффективности работы резисторов в высокопроизводительных цепях аналоговой электроники (прецизионных усилителях, делителях напряжения и т. д.) и других схемах с рабочими напряжениями до 2500 В, где точность и стабильность сопротивления имеют решающее значение. Данные компоненты обладают широким диапазоном значений сопротивлений (от 50 Ом до 25 МОм) и двумя стандартными допусками ±0,01% или ±0,1%. В таблице 2 представлены основные технические характеристики USF-резисторов.

Резисторы изготавливаются с применением оксидалюминиевой (Al_2O_3) высококачественной керамики с большой удельной теплопроводностью, используемой в качестве подложки. Данная особенность позволяет эффективно отводить тепло, вызванное рассеиваемой мощностью, от резистивного материала. Серия USF подразделяется на USF2xx и USF3xx, отличающиеся, прежде всего, значением температурного коэффициента — 2 и 5 ppm/°C соответственно (в диапазоне –40…+85 °C), их конструктивные отличия показаны на рис. 3. Как видно, компоненты серий USF2xx образуются путем параллельного объединения двух резисторов серий USF3xx. При этом незначительно увеличивается толщина и добавляется еще один ряд выводов, расположенный на расстоянии 5,08 мм от первого.

Высоковольтные прецизионные резисторные сборки

Кроме одиночных резисторов, компанией Caddock выпускаются также наборы резисторов. Такие сборки представляют собой единый корпус, в котором содержатся два или более резисторов. Корпус имеет многочисленные выводы, через которые осуществляется соединение элементов сборки с внешней схемой. Такие сборки позволяют экономить площадь печатной платы, уменьшают число компонентов в схеме и количество паяных соединений. Все это положительно сказывается на надежности и расходах при монтаже. Высоковольтными у компании Caddock являются семейства THV, HVD, USVD, USGS и USFS. Конструктивно они изготавливаются в керамических корпусах типа SIP с однорядным расположением выводов. Маркировка, выполненная в буквенно-цифровом коде, наносится на лицевую сторону корпуса и позволяет определить расположение первого вывода.

Прецизионные резисторные сборки серии THV по функциональному назначению относятся к высоковольтным делителям напряжения [6]. Они позиционируются для применения во многих современных устройствах, таких как радиолокационные станции, рентгеновская аппаратура, источники питания на лампах бегущей волны и т. д. Корпус прямоугольной формы имеет толщину всего 3 мм и три вывода, пригодных для пайки. Минимальное сопротивление изоляции — 10 ГОм. Номинальные значения рабочих напряжений составляют 10, 15 или 20 кВ постоянного тока, температурный коэффициент на выбор — 10 или 25 ppm/°C в диапазоне рабочих температур –55…+125 °C. Основные характеристики резисторных сборок THV показаны в таблице 3, а пример расшифровки обозначения приведен на рис. 4.

Ультрапрецизионные делители напряжения серий HVD и USVD предназначены для эксплуатации в цепях с рабочими напряжениями 450–5000 В. Оба семейства выдерживают полуторную перегрузку по напряжению в течение 5 с с изменением сопротивления всего на 0,02%. Такое же значение имеет временная стабильность (при эксплуатации в течение 1000 ч). Диапазон рабочих температур –40…+85 °C. Резисторы серии HVD с погрешностью не более 0,05% и температурным коэффициентом 5 ppm/°C оптимально подходят 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 в одном корпусе двух ультрапрецизионных резисторов USF,

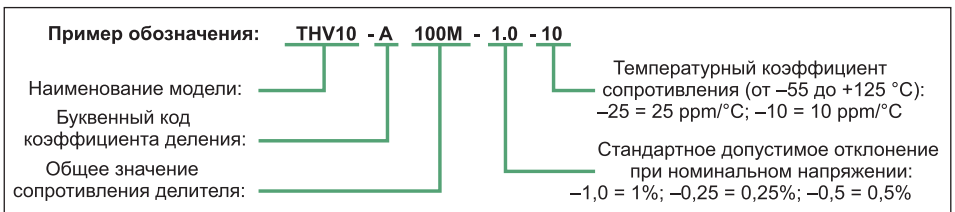

Рис. 4. Расшифровка маркировки компонентов серии THV

Таблица 3. Основные технические характеристики резисторных сборок серии THV

Модель	Максимальное рабочее напряжение, кВ	Буквенный код коэффициента деления	Коэффициент деления	Номинальное сопротивление			Размеры (Д×Ш), мм
				R_1, МОм	R_2	$R_{общ}$, МОм	
THV10	10	A	1000:1	99,9	100 кОм	100	38,1×27,9
		B	100:1	99	1 МОм		
THV15	15	A	1000:1	149,85	150 кОм	150	52,1×41,9
		B	100:1	148,5	1,5 МОм		
THV20	20	A	1000:1	199,8	200 кОм	200	66×55,9
		B	100:1	198	2 МОм		

Таблица 4. Основные технические характеристики делителей напряжения серий HVD и USVD

Наименование	Максимальное напряжение, В	Коэффициент деления	Сопротивление			Погрешность, %	ТКС, ppm/°C
			R_1, МОм	R_2, кОм	$R_{общ}$ = R1+R2, МОм		
USVD2-B1M-010-02	450	100:1	990 кОм	10	1	0,01	2
USVD2-B1M-025-02						0,025	
USVD2-B2M-010-02	650		1,98	20	2	0,01	
USVD2-B2M-025-02						0,025	
USVD2-A10M-010-02	1400	1000:1	9,99	10	10	0,01	
USVD2-A10M-025-02						0,025	
USVD2-B10M-010-02		100:1	9,9	100		0,01	
USVD2-B10M-025-02						0,025	
USVD2-A20M-010-02	2000	1000:1	19,98	20	20	0,01	
USVD2-A20M-025-02						0,025	
USVD2-B20M-010-02		100:1	19,8	200		0,01	
USVD2-B20M-025-02						0,025	
HVD5-A10M-050-05	1500	1000:1	9,99	10	10	0,05	5
HVD5-B10M-050-05		100:1	9,9	100			
HVD5-A20M-050-05	2500	1000:1	19,98	20	20		
HVD5-B20M-050-05		100:1	19,8	200			
HVD5-A50M-050-05	5000	1000:1	49,95	50	50		
HVD5-B50M-050-05		100:1	49,5	500			

погрешность сопротивления при этом близка к 0,01%.

В таблице 4 приведены ключевые характеристики резисторов HVD и USVD, а на рис. 5 показаны конструктивные особенности и схемы внутренних соединений устройств данных серий.

Серия USGS входит в линейку прецизионных резисторных сборок Caddock, предназначенных для применения в высоковольтных устройствах, требовательных к уровню долговременной температурной стабильности. Стандартные наборы резисторов, состоящие из трех или пяти последовательно соединенных дискретных резисторов USG1110, могут иметь полное сопротивление сборки 300 или 500 МОм (±0,1%) соответственно [7]. Рабочее напряжение сборки из трех резисторов составляет 30 кВ постоянного тока, из пяти — 50 кВ. Каждый из резисторов USG1110 индивидуально испытывается на соответствие технических характеристик заданным значениям при помощи автоматического тестового оборудования и затем отбирается с целью получения максимального уровня абсолютного температурного коэффициента не более 5 ppm/°C. Несколько резисторных сборок серии USGS могут быть соединены последовательно для получения еще более высокого общего сопротивления и уровня рабочего напряжения. Аналогичное строение имеют ультрастабильные наборы резисторов повышенной точности, относящиеся к серии USFS. Они образованы путем последовательного соединения 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.

Заключение

Широкий спектр резисторов различного назначения, предлагаемый компанией Caddock, позволяет найти оптимальное решение по соотношению цена/качество. Стандартные и заказные высоковольтные резисторы, составляющие особую группу продукции, обладают высокой точностью, долговременной стабильностью характеристик и могут успешно применяться в устройствах с рабочими напряжениями вплоть до 48 кВ.

Литература

1. www.caddock.com/index.html
2. www.caddock.com
3. Недорезов В. Резисторы и резисторные компоненты // Электронные компоненты. 2005. № 4.
4. www.caddock.com/Online_catalog/Mrktg_Lit/TypeMG.pdf
5. www.caddock.com/Online_catalog/Mrktg_Lit/TypeUSG.pdf
6. www.caddock.com/Online_catalog/Mrktg_Lit/TypeTHV.pdf
7. www.caddock.com/Online_catalog/Mrktg_Lit/TypeUSGS.pdf

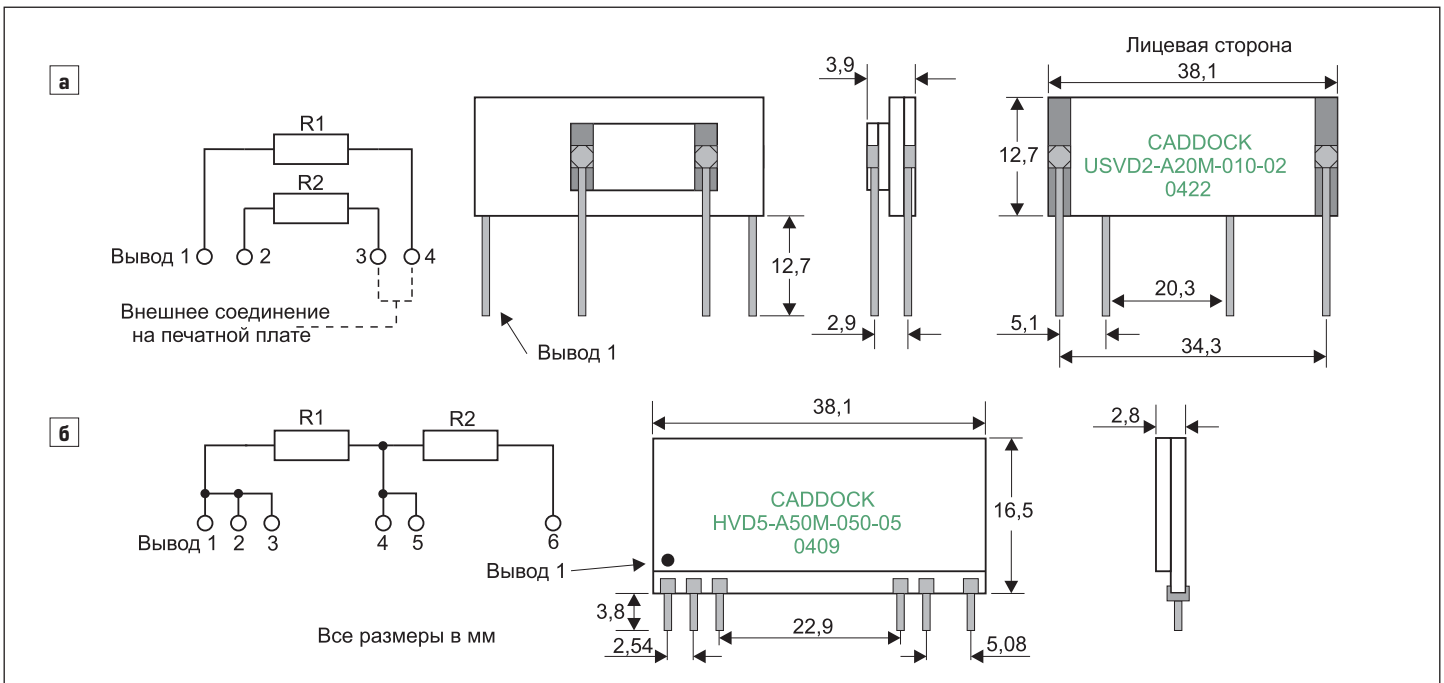

Рис. 5. Упрощенное изображение делителей напряжения серий: а) USVD; б) HVD