НОВОСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ

№6 (98), 2011 г.

Информационно-технический журнал

Учредитель – ООО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-43993

Редактор:
Геннадий Каневский
vesti@compel.ru
Выпускающий редактор:
Анна Заславская

Редакционная коллегия:
Андрей Агеноров
Александр Гурин
Евгений Звонарев
Сергей Кривандин
Александр Маргелов
Николай Паничкин
Борис Рудяк

Дизайн, графика, верстка:
Елена Георгадзе
Евгений Торочков

Распространение:
Анна Заславская

Электронная подписка:
www.compeljournal.ru

Отпечатано:
«Гран При»
г. Рыбинск

Тираж – 1500 экз.
© «Новости электроники»
Подписано в печать:
10 августа 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

БРЕНД НОМЕРА: *VISHAY INTERTECHNOLOGY*

Наши главные задачи в области дискретных изделий – уменьшение размеров и повышение эффективности
Ицхак Шошани 3

Десять причин выбрать фольговые резисторы Vishay для вашего проекта
Александр Калачев 6

Мощные резисторы Vishay – ширпотреб, без которого не обойтись
Евгений Звонарев 12

Силовая часть: алюминиевые электролиты Vishay для транспорта и нефтедобычи
Андрей Самоделов 14

Танталовые и wet-танталовые конденсаторы компании Vishay: от игрушки до космоса
Константин Калаев, Владимир Савишкин 19

Стражи больших энергий: мощные конденсаторы Vishay из линейки ESTA
Александр Калачев 23

Катушки индуктивности IHLP: фильтрация помех и энергия для ВЧ DC/DC
Владимир Савишкин 26

В НОМЕРЕ 7: КОМПОНЕНТЫ И РЕШЕНИЯ ДЛЯ СЧЕТЧИКОВ РАСХОДУЕМЫХ РЕСУРСОВ

- Беспроводная сеть учета от Texas Instruments: решения для диапазона до 1 ГГц
- Наработки Teridian + ноу-хау Maxim: системы-на-кристалле для счетчиков электроэнергии
- Посчитал – передай по силовой сети: решения от ON Semi и Texas Instruments

Если вы хотите предложить интересную тему для статьи в следующий номер журнала – пишите на адрес *vesti@compel.ru* с пометкой «Тема в номер» или в рубрику «Я – автор» раздела «Разработчикам» сайта *www.compel.ru.*

ОТ РЕДАКТОРА



Уважаемые читатели!

Если когда-либо вам зададут вопрос «Есть ли в полупроводниковом бизнесе компания, у которой в течение длительного периода были темпы роста более 20% в год?», знайте, что ответом должно быть: «Это компания **Vishay Intertechnology».** Этот рост продолжается более 20 лет, и, пожалуй, трудно назвать какую-либо еще компанию отрасли, развивающуюся столь же активно.

Vishay – классический пример компании, базой для создания которой стала удачная и востребованная техническая идея, а дальнейшие успехи были в первую очередь связаны с грамотной коммерческой политикой. Идея – технология изготовления сверхпрецизионного фольгового резистора на базе эффекта фотостресса, разработанная переселившимся в США основателем компании, уроженцем белорусского Гродно и воспитанником университета г. Нанси (Франция) Феликсом Зандманом. Изготовленные таким образом в 1962 году сверхпрецизионные фольговые резисторы (по производству которых Vishay до сих пор является безоговорочным мировым лидером) так понравились военным и индустриальным американским заказчикам, что прибыль компании стала расти как на дрожжах. Этот рост позволил Vishay с начала 80-х постоянно приобретать другие полупроводниковые компании, укрепляя тем самым бизнес и расширяя линейку поставок. И тут талантливый инженер Зандман показал себя не менее талантливым и интуитивно чувствующим рынок коммерсантом. Он приобретал именно то, что было необходимо по логике развития отрасли, и каждый раз – на наиболее выгодных условиях. Пример – приобретение американской **Dale Electronics** в 1985 году. На тот момент оборот Dale составлял 120 млн. долларов США, и компания являлась крупнейшим в стране производителем проволочных и металлопленочных резисторов, а оборот Vishay был 11 млн., и это была классическая нишевая компания. Однако Зандман сумел приобрести Dale всего за 94 млн., создав сложный, но эффективный механизм кредитования.

Список приобретенных Vishay компаний и бизнесов весьма велик. Среди них – такие имена, как упомянутая выше Dale, **Sprague, Siliconix,** оптоэлектроника **Infineon,** дискреты **General Semiconductor** и **BC Components,** силовые дискреты **International Rectifier.**

В результате пассивные компоненты составляют 40% продукции компании, а активные – 60%. Причем, если в области активных полупроводников основную долю занимают дискреты – диоды, тиристоры, MOSFETы, IGBT, их сборки и силовые модули, а интегральная продукция представлена в основном микросхемами управления питанием и оптоэлектроникой, то «пассивка» покрывает почти весь спектр изделий в этой области, включая практически все виды конденсаторов и резисторов, индуктивности (включая знаменитую сильноточную серию IHLP), кварцы и многое другое.

Высокая наукоемкость пассивной продукции Vishay, ее во многом выдающиеся технические характеристики, прецизионность и востребованность для многих проектов в различных отраслях индустрии – вот причины того, что этот номер журнала «Новости электроники» целиком посвящен продукции компании Vishay.



С уважением,
Геннадий Каневский

Ицхак Шошани (Ecomal (Vishay)

НАШИ ГЛАВНЫЕ ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ ДИСКРЕТНЫХ ИЗДЕЛИЙ – УМЕНЬШЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ



Об основных направлениях деятельности компании ***Vishay Intertechnology*** *в области* ***дискретных изделий,*** *об ожидаемых новинках для различных секторов рынка и о том, как себя чувствует компания после ухода ее основателя, рассказывает в интервью редактору «Новостей электроники» Геннадию Каневскому* ***генеральный менеджер компании Ecomal Israel (дочерняя компания Vishay) Ицхак Шошани.***

Геннадий Каневский: Известно, что событием, давшим импульс развитию компании Vishay, стало внедрение в 1962 году в производство основателем компании, Феликсом Зандманом, фольгового резистора. Какие новые технологии с тех пор Vishay может записать себе в актив?

Ицхак Шошани: Доктор Феликс Зандман, основатель компании, председатель ее совета директоров, главный технический специалист и главный специалист по развитию бизнеса, скончался 4 июня 2011 года в возрасте 83 лет. Он родился в 1928 году в Гродно на территории тогдашней Польши.

Доктор Зандман был CEO компании Vishay с основания до 2004 года, а Президентом компании – с 1962 по 1998 г. С момента основания компании он был членом совета директоров, и стал его председателем в 1989 году.

За это время Vishay стал крупной мировой компанией с производственными мощностями в Северной и Южной Америке, Азии, Европе и в Израиле и с офисами продаж по всему миру.

Запатентованные изобретения доктора Зандмана позволили в 2010 году компании Vishay Precision Group, Inc., производящей измерительные и фольговые резисторы, выделиться в качестве самостоятельного бизнеса.

Ключевые технологические инновации компании Vishay были осуществлены в области пассивных компонентов. Перечислю основные из них: это мощные металлополосковые SMD-резисторы серии WSL, полностью экранированные индуктивности с сердечником из композитного материала серии IHLP, цилиндрические металлопленочные SMD-резисторы MELF; изготавливаемые по MAP-технологии танталовые конденсаторы, сочетающие компактность корпусирования с использованием танталового порошка и превосходные технические характеристики.

Г.К.: Этот номер нашего журнала посвящен дискретным компонентам Vishay – резисторам, конденсаторам, индуктивностям. Какие группы продукции внутри этого сектора сама компания считает наиболее перспективными и в каких отраслях производства их применение будет расти?

И.Ш.: Ключевыми применениями пассивных компонентов Vishay являются автомобильная электроника, промышленная электроника, инфраструктура телекоммуникаций, вычислительная и потребительская электроника high-end-класса, медицинская техника, авионика, военные и космические приложения, экологическая энергетика и управление питанием. Мы производим для этих сегментов рынка все фокусные продукты из нашей линейки резисторов, индуктивностей и конденсаторов.

Наибольший рост потребления пленочных, силовых и алюминиевых конденсаторов, а также токоизмерительных и силовых резисторов мы ожидаем в области экологической энергетики и управления питанием. Рост потребностей происходит и в автомобильной отрасли – в электронных компонентах в целом и, в особенности, в токоизмерительных и прецизионных резисторах, мощных индуктивностях и в конденсаторах для накопления энергии и для управляющих цепей постоянного тока автомобилей с гибридными двигателями.

Г.К.: Каких новинок или внедрения каких новых технологий следует ожидать потребителям дискретной продукции Vishay в ближайшее время?

И.Ш.: Главная задача Vishay в области разработки – расширение предлагаемого ассортимента продукции и постоянное повышение ее производительности. Это означает, что, разрабатывая новую продукцию, мы стремимся сделать ее меньше по размерам и эффективнее, что отвечает требованиям наших покупателей – разработчиков новых изделий. Мы проделываем такую работу во всей линейке нашей продукции – от серийных до специальных и заказных изделий. Вот примеры: мы расширяем предложение танталовых конденсаторов, предлагая изделия, изготовленные по новой MAP-технологии, помимо этого мы представляем новые высокотемпературные танталовые и алюминиевые конденсаторы для автомобильных приложений. Также мы расширяем рамки нашей wet-танталовой технологии в сторону большей производительности для того, чтобы представить новую серию мощных конденсаторов. Постоянно увеличивается предложение конденсаторов постоянного тока и сглаживающих конденсаторов (пленочных и алюминиевых) в соответствии с запросами производителей экологичных источников энергии и автомобилей с гибридными бензоэлектрическими двигателями. Мощные металлополосковые резисторы (серия WSL) теперь предлагаются для применения в батареях и токоизмерительных шунтах. Примером успешно расширяемой и изменяемой в соответствии с требованиями рынка и покупателей номенклатуры являются мощные толстопленочные и проволочные резисторы, а также композитные индуктивности серии IHLP, причем изменения происходят как в сторону уменьшения габаритных размеров, так и увеличения рабочего тока. Те же процессы происходят и в области специализированных изделий: например, наши преобразователи из линейки Sfernice теперь применяются в высоконадежных авиационных приложениях в качестве датчиков движения и положения.

Г.К.: Какова, с вашей точки зрения, специфика восточноевропейского рынка и, конкретно, России в плане структуры потребления продукции Vishay?

И.Ш.: С нашей точки зрения, ключевыми сегментами на всем восточноевропейском рынке являются потребительская электроника и промышленная электроника, связанная с инфраструктурными отраслями, такими, как телекоммуникации, электроэнергетика и транспорт.

Применение пассивных компонентов Vishay

Применение / Товарная группа	Автомобильная техника	Компьютерная техника	Бытовая техника	Промышленность	Медицина	Телекоммуникации
Керамические конденсаторы:	VJHiRelX5R, VJHiRelX7R, VJOMD-COG, VJOMD-X7R, VJ COG (NP0), VJ X7R, VJHV ArcGuard COG, VJHV ArcGuard X7R	VJ...W1BC, K10	HV 3kV LCD, HV 4kV LCD, HV 6kV LCD, K10, VJ...W1BC	VJ X7R, VJ HVArcGuard® MLC, VJ OMD-X7R	VJ C0G (NP0), VJ OMD-X7R	VJ C0G, VJ X7R
Толстопленочные резисторы	D25/CRCW, CRCW, RCA.	CRA, CRCW	CRCW, MCS, MCT, MCU	–	CRCW	CRCW, MCU, MMB,
Токочувствительные и/или шунтирующие резисторы	CRCW, WSL, WSLP, WSLT, WSR, WSH	WSL, WSLP	WSL	WSL, WSH, WSMS	–	WSL
Индуктивности	IHLP	IHLP	IHLP, IFCB	IHLP	IHLP	IHLP, IMC, IMCH, IFCB, ILC, IDCP. IHA, ILSB
Танталовые конденсаторы	293D, TH3, TR3	–	293D, 298D, 572D	292D, 592D, 595D	572D, 591D, 592D	150D, 292D, 293D, 298D, 515D, 516D, 592D, 593D, 595D, 594D, TR3
Резистивные матрицы	CRA, ACAC 0612, CSC, PR100, 135, 182	–	–	ACAC	–	CRA
Алюминиевые конденсаторы	120ATC, 136RVI, 140CLH, 140CRH, 140RTM, 150CLZ, 150RMI, 150CRV, 150CRZ, 153CLV, 153CRV	152RMH, 037RSM, 136RVI, 094	094, 037RSM, 136RVI	2222 102, 2222 157, 136 RVI, 150 RMI	–	–
Пленочные конденсаторы	MKT1820, MKT1820-S	–	–	MKP 1848 DC-Link, 2222 368, MKT, PHMKP, PHMKPg	–	MKT, MKP
Конденсаторы X- и/или Y-класса	–	MKP339 X2, VY1, VY2	MKP339 X2, VY1, VY2	F1772 447 3200, F1772 522 3200, F 1772-2 310 V-X2, F1772-4000, BFC2 336 60103, F1710, MKP 338 6 Y2, 125L, 20 VL, 30LV, 30LVS, 440L, EMI/RFI Y1-VY1, EMI/RFI Y2-DN, EMI/RFI Y2-VY2, F1778, MKP 339 X2, VKO, VKP, WKO, WKP, WYO	–	–

Применение / Товарная группа	Автомобильная техника	Компьютерная техника	Бытовая техника	Промышленность	Медицина	Телекоммуникации
Термисторы	1T1002-1, NTCS0402E3, NTCS0603E3, NTCS0603E4, NTCS0805E3, NTHS, PTFT, VCTP9000X01	2381 615 1xxx, 2381 615 2xxx, 2381 615 3xxx, 2381 615 4xxx, 2381 615 5xxx, NTHS, PTFT, TFPT	Термисторы: 2381 615 1…, 2381 615 2…, 2381 615 3…, 2381 615 5…, NTHS	2381 645 90169, PTCLL..P	NTCS	2381 615 4, NTCS, NTHS, PTFT, TFPT, 2381 661, 2381 673
Выводные проволочные резисторы	WSZ	–	–	–	–	–
Гигрометры	2381 691 90001/ HUMIDITY-SENS-E	–	–	–	–	–
Фольговые резисторы	VCS	–	–	–	–	–
Тонкопленочные резисторы	TNPW	–	–	–	TNPW	TNPW
Высоковольтные резисторы	–	VR25	VR25	–	–	–
Предохранители	–	–	MFU	–	–	MFU
Аттеннюаторы	–	–	CZA	–	–	CZA
Ферритовые кольца	–	–	ILBB	–	–	ILB, ILBB, ILHB
Конденсаторы для радиотракта	–	–	HPC	–	–	HPC
Заказные трансформаторы	–	–	–	+	–	–
Гасящие резисторы	–	–	–	RSO 30X250, RW 20X117	–	–
Прецизионные резисторы	–	–	–	MMA 0204	MCS, MCT, TNPW	–
Варисторы	–	–	–	VDRH, VDRS	–	–
Мощные резисторы	–	–	–	CMB, MMx, SMM0207, Z300	–	–
Блокирующие конденсаторы	–	–	–	MKP, MMKP	–	–
Буферные конденсаторы	–	–	–	EKV	–	–

Александр Калачев (г. Барнаул)

ДЕСЯТЬ ПРИЧИН ВЫБРАТЬ ФОЛЬГОВЫЕ РЕЗИСТОРЫ VISHAY ДЛЯ ВАШЕГО ПРОЕКТА



*В 1962 году **Vishay** вышла на рынок с уникальным **высокопрецизионным фольговым резистором. Предельно низкие температурные и мощностные коэффициенты сопротивления и стабильность параметров** позволили применять эти резисторы практически в любой области и в любом конструктивном исполнении.*

Технология **Bulk Metal Foil** была разработана в 1962 году Феликсом Зандманом (*Dr. Felix Zandman*) – основателем компании Vishay. Результатом работы компании стали фольговые резисторы с низким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) и высокой стабильностью параметров вне зависимости от изменений температуры [1]. Технология Bulk Metal Foil вывела компанию на рынок прецизионных сопротивлений и приборов на их основе и сделала ее одним из явных лидеров в этой области.

Технология **Z-Foil,** успешно реализованная в 2000 году, стала новым прорывом компании Vishay. Впервые было достигнуто абсолютное значение ТКС ±0,2 ppm/°C.

Стратегия развития компании [2] сфокусирована на вертикальной интеграции продуктов – применение технологии изготовления фольговых резисторов для датчиков (сопротивления, деформации, тока и др); применение датчиков в электронно-измерительных устройствах; интеграция датчиков и электронно-измерительных устройств, а также программного обеспечения в модули и измерительные системы.

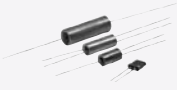
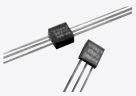
Основные свойства резисторов Vishay и их ассортимент

На сегодняшний день фольговые резисторы превосходят резистивные компоненты других типов по точности, стабильности и надежности. Все это стало возможным благодаря уникальной конструкции, включающей использование специального резистивного сплава (C-Foil, K-Foil, а с 2000 года – Z-Foil), обеспечивающего уникальные свойства – предельно низкие температурные и мощностные коэффициенты сопротивления (ТКС и МКС меньше 10 ppm/°C) [3-5].

Типовые технические характеристики фольговых резисторов:

- Низкий температурный коэффициент сопротивления: ±0,05 ppm/°C (0…60°C), ±0,2 ppm/°C (-55…125°C);
- Широкий диапазон номинальной мощности;
- Высокое предельное рабочее напряжение 180 В;
- Высокая точность ±0,01…0,001%;
- МКС в результате самонагрева 5 ppm при номинальной мощности;
- Защита от электростатики до 25 кВ;
- Стабильность при работе под нагрузкой ±0,005% (70°C, порядка 2000 часов работы при номинальной мощности);
- Широкий диапазон номинальных сопротивлений;
- Неиндуктивный, неемкостной дизайн;
- Низкие значения токового шума -40 дБ;
- Коэффициент напряжения менее 0,1 ppm/В;

Таблица 1. **Ассортимент фольговых резистров Vishay Precision Group**

Резисторы поверхностного монтажа	Внешний вид	Выводные резисторы и сборки	Внешний вид
VSMP Series		VH Series	
VFCP Series		Z201	
SMRxD Series		VHP Series	
VCS2516Z		VPR Series	
CSM Series		VHA Series	
PRND		VCS Series	
DSM/SMN		VFP Series	
VSM		S Series	
VFCD		300144	

• Диапазон рабочих температур -55…125°C;
• Возможность изготовить ЛЮБОЙ (1K892346) номинал в пределах номиналов сопротивления данной серии.

Компанией предлагаются прецизионные резисторы практически для любой области применения, в любом конструктивном исполнении [3, 5]. Ассортимент фольговых резисторов (таблица 1) включает в себя:

• Резисторы для поверхностного монтажа (SMD);
• Дискретные резисторы для монтажа в отверстия;
• Делители напряжения (для монтажа в отверстия и SMD);
• Резисторные сборки (для монтажа в отверстия и SMD);
• Резисторы – датчики тока (current-sensing resistors);
• Герметичные резисторы;
• Потенциометры;
• Гибридные микросхемы;
• Герметичные резисторные сборки под заказ потребителя;
• Высокотемпературные резисторы (рабочая температура более 220°C);
• Резисторы для аудио.

В качестве услуги Vishay предлагает уникальный сервис **Prototype Fastlane Service** (PFS), позволяющий потребителю получить резисторы технологии Bulk Metal Foil любого номинала (например, 123,455487 Ом) в течение 76 часов.

Технологические решения Vishay для достижения высоких эксплуатационных характеристик фольговых резисторов

При разработке инженерного решения для какой-либо задачи очень важно учесть как можно больше факторов, способных повлиять на конечный результат. Кроме того, иногда при решении проблемы удается использовать простые и понятные даже школьнику явления и эффекты. Объять все это и воплотить в жизнь – целое искусство. Рассматривая аспекты технологии фольговых резисторов Vishay, можно с уверенностью сказать, что эти резисторы являются в своем роде произведениями искусства – своеобразный сплав элегантных и остроумных решений и возможностей, предоставляемых высокими технологиями. Ниже кратко описаны подходы и технологические решения [5, 6], примененные в прецизионных фольговых резисторах Vishay и обеспечивающие продукции компании успех на рынке.

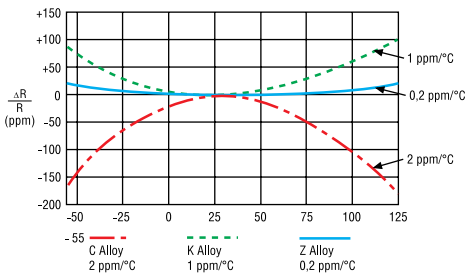


Рис. 1. **Типичные зависимости ТКС от температуры для различных резистивных сплавов**

1. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС)

Два простых и предсказуемых физических явления, протекающих в слое фольги и ее подложке, лежат в основе низкого температурного сопротивления этих резисторов:

• Сопротивление резистивного сплава прямо пропорционально зависит от изменения температуры;
• Коэффициент температурного расширения сплава фольги больше, чем у керамической подложки, вследствие этого резистивный слой при росте температуры испытывает сжатие. При сжатии сопротивление резистивного слоя падает.

Таким образом, ТКС фольговых резисторов определяется результатом параллельно протекающих процессов – изменения сопротивления от температуры и от вызванного ею сжатия слоя. В итоге мы получаем предсказуемо низкий, повторяемый и контролируемый температурный коэффициент сопротивления – без сортировки и отбраковки продукции, вне зависимости от номинала сопротивления, номера партии и даты изготовления.

Типичная зависимость ТКС фольговых резисторов от температуры дается как относительное изменение сопротивления резистора в зависимости от температуры, выраженное в частях на миллион на градус Цельсия (parts per million per degree centigrade – ppm/°C; в русской литературе обычно указывается ТКС – 10^{-6} 1/°C). Зависимости даются для инструментального диапазона 0…25°C и 25…60°C и для военного – -55…25°C и 25…125°C, для всех номиналов резисторов, включая низкоомные.

В результате внедрения в техпроцесс сплава Z-Foil удалось достичь характеристик ТКС в ±0,2 ppm/°C. На рисунке 1 показаны типичные зависимости ТКС от температуры для различных сплавов, применяемых в фольговых резисторах VPG. Первоначальный сплав C-Foil показывал негативную параболическую температурную характеристику с положительным наклоном в области низких температур и с отрицательным в области высоких [5, 6].

Следующий сплав K-Foil демонстрирует обратную параболическую зависимость с отрицательным наклоном в области низких температур и с положительным в области высоких. Сплав Z-Foil имеет характеристику, аналогичную K-Foil, но с примерно пятикратным улучшением ТКС. Эта технология позволяет создавать резисторы с практически нулевым температурным дрейфом.

Абсолютно низкие значения ТКС позволяют снизить т.н. эффект «трекинга» (стабильность отношения ТКС двух различных сопротивлений). Эффект возникает в случае использования резисторов разных технологий в одной схеме при различных условиях их работы (разные температурные условия, токи); его трудно избежать даже при значениях ТКС 2…5 ppm/°C.

2. Мощностной коэффициент сопротивления (МКС)

На практике температура резистора зависит не только от внешних условий, но и от эффекта Джоуля – нагрева резистора при протекания через него тока (самонагрев). ТКС сам по себе не

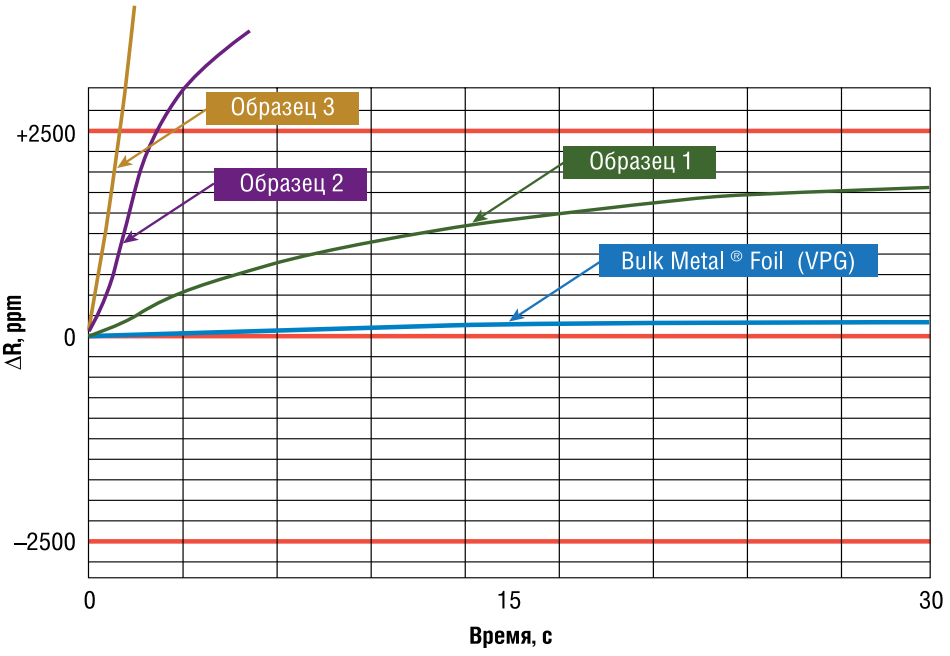


Рис. 2. **Скорость температурной стабилизации резисторов различных технологий**

описывает поведение прецизионного резистора. Для более полного описания вводится еще одна характеристика – мощностной коэффициент сопротивления (МКС), который выражается в относительном изменении сопротивлении резистора на ватт для заданной мощности. Для фольговых резисторов технологии Z-Foil МКС лежит в пределах 5 ppm (4 ppm для мощных резисторов). К примеру, мощный фольговый резистор с ТКС 0,2 ppm/°C и МКС 4 ppm/Вт при изменении температуры на 50°C (50…75°C) и рассеиваемой мощности в 0,5 Вт даст относительную погрешность $\Delta R/R = 50 \cdot 0{,}2 + 0{,}5 \cdot 4 = 12$ ppm [5, 6].

3. Температурная стабилизация

Когда мощность прикладывается к резистору, его температура растет. Для достижения высокой точности необходима быстрая реакция на изменения во внешней среде или режиме работы. Быстрая температурная стабилизация требуется в приложениях, где необходимо незамедлительное достижение стабильного состояния сопротивления. Для большинства технологий изготовления резисторов это время может достигать нескольких минут. Фольговые резисторы способны к практически моментальной температурной стабилизации, вплоть до нескольких ppm за доли секунды. Точное значение зависит от текущих внешних условий, протекающего тока, температурных градиентов. Рисунок 2 иллюстрирует скорость температурной стабилизации резисторов различных технологий [5, 6].

4. Низкая абсолютная погрешность величины сопротивления

Система, устройство или отдельный узел схемы рассчитаны на определенный срок службы, и в рамках этого срока они должны соответствовать заявленным параметрам. В течение периода эксплуатации устройство может подвергаться различным условиям воздействия, и точность его работы может отличаться от заявленной.

Одна из причин высоких требований к точности элементов схемы – обеспечение требуемой точности работы в течение всего срока службы. Другая причина – бюджет допустимой ошибки экономически более применим к резисторам, чем к другим компонентам. Фольговые резисторы калибруются с точностью до 0,001% благодаря выборке разного количества точек настройки, предусмотренных на фотошаблоне резистивного элемента (рис. 3). С помощью этих точек можно предвидеть изменение сопротивления до требуемого уровня точности. Если убрать одну из областей соединения, то увеличится путь тока, и, следовательно, увеличится сопротивление (рис. 4). В области точной настройки для прецизионной подгонки удаление точек соединения, благодаря топологии, оказывает все меньший и меньший эффект на изменение сопротивления 0,001…0,0005% (5 ppm) [6].

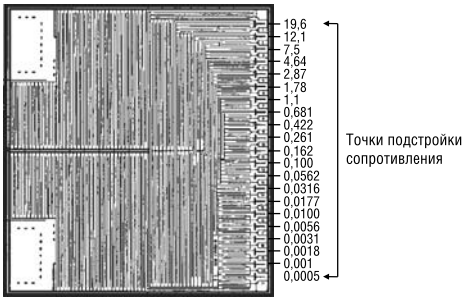


Рис. 3. **Фотошаблон резистивного слоя – область подстройки сопротивления (белые области – слой фольги)**

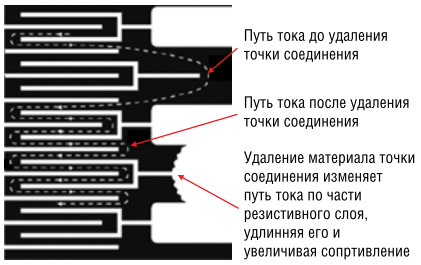


Рис. 4. **Схематичный путь тока по резистивному слою (черные области – слой фольги)**

5. Стабильность в течение срока жизни

Не менее важной чертой резисторов, кроме точности, является временная стабильность их параметров при работе под нагрузкой.

Стабильность параметров фольговых резисторов Vishay заключается прежде всего в применяемых материалах и конструкции (слой резистивной фольги и подложка на основе оксида алюминия).

К примеру, на рисунке 5 показано поведение резисторов Z201 под нагрузкой при температуре 125°C (допустимое отклонение ΔR – максимум 150 ppm после 2000 часов под нагрузкой и максимум 500 ppm после 10000 часов). Как правило, ΔR уменьшается при уменьшении приложенной нагрузки (снижается самонагрев резисторов).

Более впечатляющими являются примеры тестирования фольговых резисторов в течение длительного периода времени. Так на рисунке 6 представлены результаты тестирования герметичных резисторов **VHP101** одним из потребителей за 8 лет эксплуатации, а на рисунке 7 – результаты тестирования 50 резисторов **S102C** (10 кОм при 70°C под нагрузкой 0,1 Вт) в течение 29 лет (более 250 тысяч часов наработки!). В первом случае среднее отклонение не превысило 1 ppm, во втором – 60 ppm [5, 6].

6. Высокая скорость нарастания и время отклика

На высоких частотах резистор начинает проявлять реактивные свойства: в зависимости от конструктивного исполнения – либо преимущественно емкостные, либо индуктивные. Эквивалентную схему резистора на высоких частотах можно представить следующим образом – рисунок 8.

Влияние оказывают и внешние выводы резистора, и геометрическое исполнение резистивного слоя. Так для резисторов со спиральным резистивным слоем повышается влияние индуктивно-

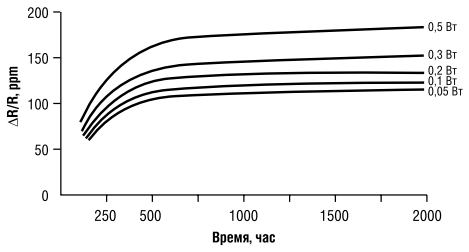


Рис. 5. **Относительное изменение сопротивления резистора с течением времени при различном уровне рассеиваемой мощности (T=125°C)**

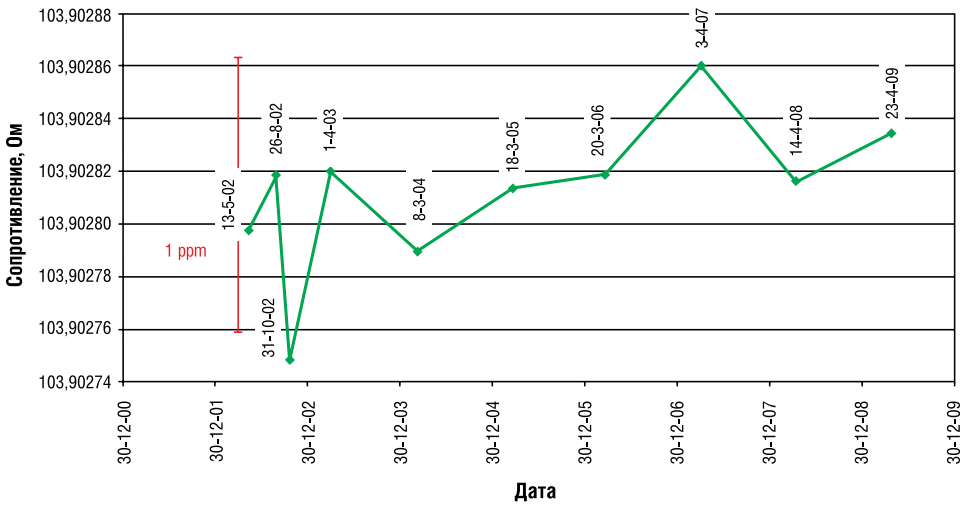


Рис. 6. **Изменение сопротивления герметичных резисторов VHP101 в процессе эксплуатации**

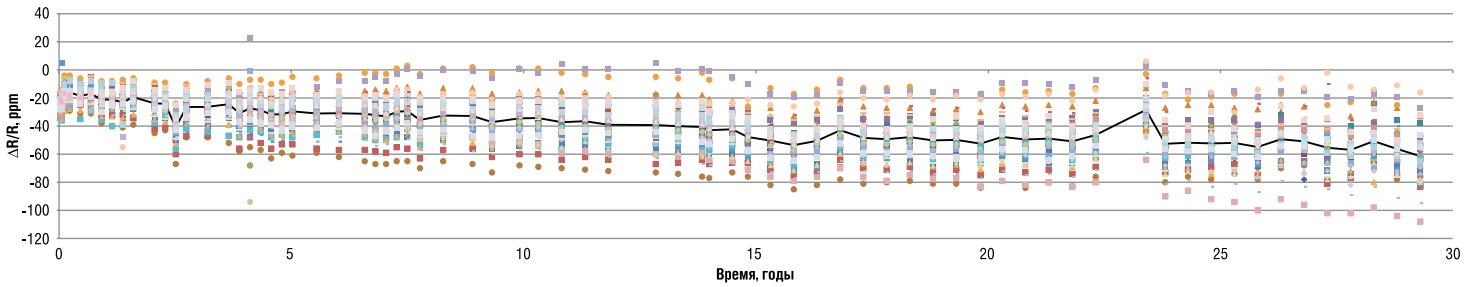


Рис. 7. **Относительное изменение сопротивления фольговых резисторов в течение эксплуатации (50 образцов S102C, 10 кОм, мощность 0,1 Вт, температура 70°C)**

сти, т.к. конструктивно данное исполнение напоминает катушку индуктивности, и направления протекания тока в соседних витках совпадают, плюс паразитные емкости проводника суммируются благодаря их параллельному их подключению.

Как уже упоминалось, фольговые резисторы имеют планарную структуру, а рисунок резистивного слоя на подложке напоминает систему меандров (рис. 3 и 4). В результате такого решения индуктивность проводника снижается за счет того, что в соседних петлях меандра токи текут в разные стороны. Паразитная емкость такого планарного слоя также уменьшается, поскольку распределенные по всей длине резистивного слоя паразитные емкости оказываются включенными последовательно (рисунок 9) [6].

Рисунок 11 содержит типовые частотные характеристики фольговых резисторов в виде отношения полного сопротивления к активной составляющей. Отклонения от единичной прямой вверх указывают на индуктивный характер нагрузки, вниз – на емкостной.

Наилучшим образом ведут себя резисторы номиналом 100 Ом, имеющие активный характер нагрузки практически до 100 МГц.

7. Шум – «услышь разницу!»

Современные требования к качеству воспроизведения/записи звука становятся все более жесткими, как следствие, ужесточаются требования и к компонентам аудиосхем. В частности, для систем с уровнем входного сигнала в диапазоне микровольт собственный шум элементов схемы (в частности, резисторов) становится критичным.

Сам по себе резистор также может являться источником шума, уровень которого будет зависеть от технологии изготовления, его конструктивных особенностей, номинала сопротивления и пр.

Выделяют тепловой шум, зависящий только от сопротивления резистора, и токовый (дробовой) шум, зависящий от уровня протекающего тока и материала резистора.

Наибольший шум генерируют резисторы, выполненные по технологии резистивного слоя с проводящими металлическими частицами в среде непроводящего наполнителя – точечный характер контактов между проводящими частицами является источником повышенного шума.

Резисторы, выполненные по технологиям металлических расплавов наименее подвержены этому эффекту, т.к. контактные явления протекают уже на границах зерен сплава, имеющих гораздо более плотные контакты между собой чем проводящие частицы, например, в углеводородных резисторах. В этом смысле фольговые резисторы Vishay не исключение. Более того, благодаря применению фотолитографии и технологии изготовления фольговых резисторов (структура резистивного сплава с гладкими, протяженными границами между зернами, планарное решение, низкая паразитная емкость, разнонаправленные токи в отдельных линиях) Vishay удалось существенно снизить уровень токового шума [4-6].

Для сравнения в таблице 2 приведены шумовые характеристики резисторов различных технологий изготовления (значения выражены в децибелах – отношение 1 мкВ токового шума в одному вольту сигнала – дБ = 20lg(мкВ U шума/В Uсигнала)).

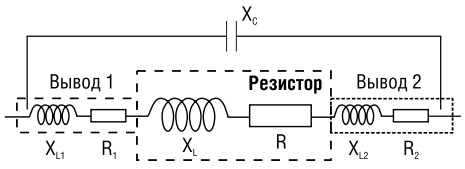


Рис. 8. **Эквивалентная схема резистора на высоких частотах**

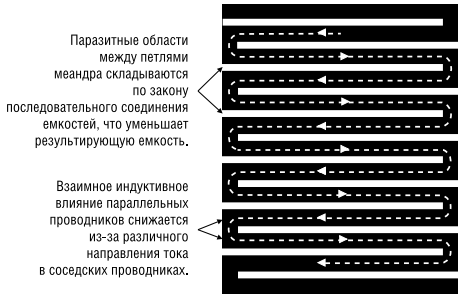


Рис. 9. **Устранение влияния взаимной индукции проводников и паразитной емкости**

Таким образом, если применение фольговых резисторов планируется в цепях предварительных усилителей аудиоаппаратуры, то вполне реально услышать, а точнее не услышать влияние шумов резистора (возможно, этот факт немного отпугнет любителей «теплого лампового звука»).

8. ТермоЭДС

ТермоЭДС возникает на месте контакта металлов с различными уровнями молекулярной активности, также сказывается неравномерность нагрева как отдельных элементов схемы, так и резистора. Влияние термоЭДС особенно заметно при работе с малыми постоянными сигналами.

В фольговых резисторах увеличенная площадь контакта между выводами и резистивным слоем способствует распределению тепла между ними. Равномерный слой фольги и ее топология не содержат точек локализации тепла. Данные меры способствуют равномерному распределению тепла, и, как следствие, минимизации причин возникновения термоЭДС [6-8].

На рисунке 12 представлены результаты тестирования резисторов (SMD-резисторы размера 2512, сопротивлением 0,05 Ом) различных технологий, влияющих на генерацию термоЭДС при одинаковом температурном градиенте [8].

9. Электростатический разряд

Не секрет, что разряд статического электричества, возникающий при прикосновении к приборам или предметам интерьера, может иметь плачевные последствия для электронной схемы. Даже не смотря на то, что энергия, высвобождаемая при разряде мала, размеры элементов схемы также не велики, и во многих случаях этого достаточно для вывода электронного компонента из строя.

Для резисторов вероятность повреждения электростатическим разрядом обратно пропорциональна их размерам – чем меньше резистор, тем меньше у него возможность рассеять энергию разряда, что может вызвать локальный перегрев и расплавление резистивного слоя.

Для фольговых резисторов эффект локального перегрева из-за электростатического разряда не играет существенной

роли прежде всего из-за относительной толщины фольгового слоя — соответственно, для его расплавления требуется больше энергии (т. к. толщина фольгового слоя примерно в 100 раз больше толщины пленки в пленочных резисторах). В отличие от пленочных резисторов с композитной структурой резистивного элемента резистивный слой представляет собой сплошной сплав, что способствует более быстрому распространению тепла по нему.

Тестирование показало устойчивость фольговых резисторов к электростатическому разряду вплоть до 25000 В (типовые значения для резисторов других типов 3000…4000 В) [6].

10 Незначительный коэффициент напряжения

Еще один источник погрешности в резисторах — зависимость сопротивления от приложенного напряжения. Особенно сильно этот эффект проявляется в металло-углеродных резисторах, значительно менее он заметен у резисторов других технологий; его величина может существенно варьироваться. Фольговые резисторы нечувствительны к величине приложенного напряжения, так как резистивный элемент представляет собой сплошной металлический слой без инородных включений или наполнителей.

Области применения

Характеристики фольговых резисторов позволяют применять их в областях с высокой степенью ответственности, повышенными требованиями к качеству, точности или сроку службы, а также в тяжелых климатических условиях — медицинское оборудование, высокопроизводительное аудио оборудование, прецизионные измерительные системы, аэрокосмические или военные приложения [3, 5, 6].

Мостовые схемы

Данный тип приложений требует наличия четырех резисторов — три строятся по наиболее стабильной технологии, а четвертый работает в качестве чувствительного элемента, преобразуя значение физической величины в изменение напряжения на выходе мостовой схемы. При этом резисторы монтируются как можно ближе друг к другу, и их температуру во время измерений также стремятся сделать одинаковой. Фольговые резисторы идеально подходят для данной области применения благодаря исключительно низкому температурному и мощностному коэффициенту сопротивления, низкому шуму термоЭДС, малому времени рассасывания заряда.

Датчики тока

Резистор с очень низким сопротивлением с четырьмя точками подключения

Таблица 2. **Уровни токового шума резисторов различных технологий**

Технология	Шум, дБ	Примечание
Металло-углеродные	-12…6	Сильное влияние контактов между металлами и углеродным наполнителем; зависимость от температуры, механических напряжений, влажности, времени эксплуатации
Тонкопленочные	-18…-10	Источник шума — контактные явления между частицами оксида рутения в керамическом наполнителе
Металлопленочные	-32…-16	Спиральный путь тока по резистору, влияние неровностей на границах резистивной пленки вследствие механической или лазерной обработки
Проволочные	-38	Благодаря сплошному металлическому резистивному слою устранены контактные эффекты в структуре материала, но из-за индуктивного характера полного сопротивления возможно увеличение шумовых пиков на второй-третьей гармоники сигнала
Фольговые	-40	Ровные границы благодаря фотолитографии, сниженное влияние паразитных емкостей и индуктивностей за счет меандрового пути тока по плоскому резистивному слою

позволяет минимизировать потери мощности на измерительном сопротивлении, и применять для измерения тока тепловое излучение. Измерение очень больших токов данным методом требует от резистора достаточно больших размеров для обеспечения рассеяния тепла. Резисторы технологии Vishay Foil являются прекрасным решением, т.к. тонкий плоский слой фольги располагается на керамической подложке, которая в состоянии рассеять и отвести в нижележащую плату достаточное количество тепла. Низкий ТКС предотвращает дрейф параметров резистора при изменении температуры в результате нагрева при протекании большого тока.

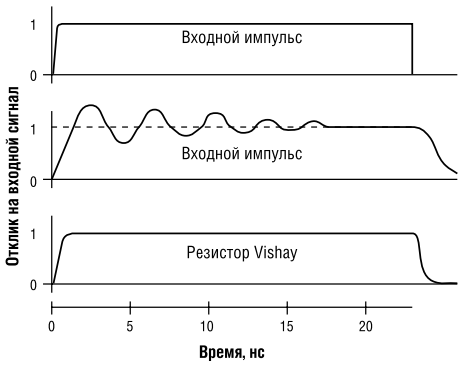


Рис. 10. **Отклики фольгового и проволочного резисторов на прямоугольный импульс**

Дифференциальные усилители

Коэффициент усиления обычного усилителя должен быть по возможности постоянным вне зависимости от условий внешней среды. Входной резистор и резистор обратной связи в данных схемах имеют отличные характеристики рассеяния тепла и протекающего тока, разогревающего резисторы. В дифференциальном усилителе речь идет уже о четырех, а иногда и о большем количестве резисторов — это означает, что все они должны проявлять практически идентичные характеристики в широком

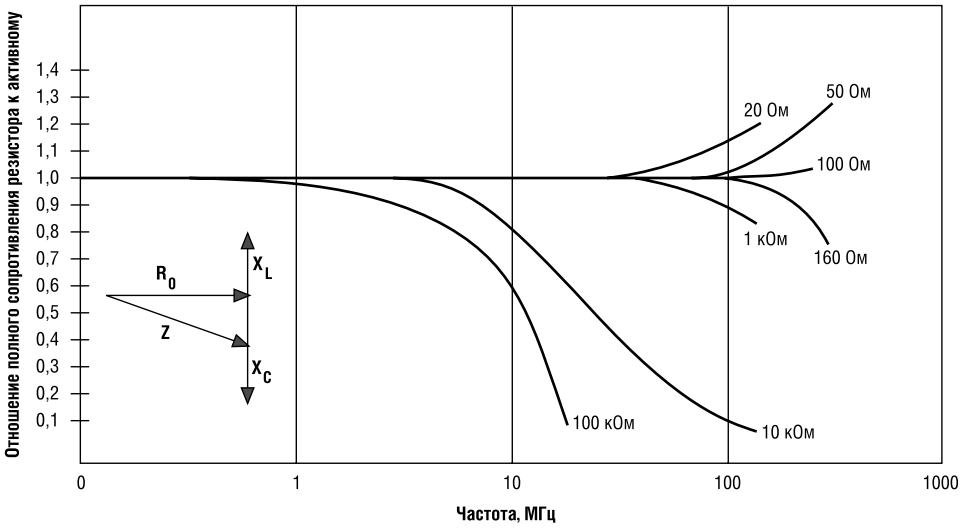


Рис. 11. **Типовые частотные характеристики фольговых резисторов**

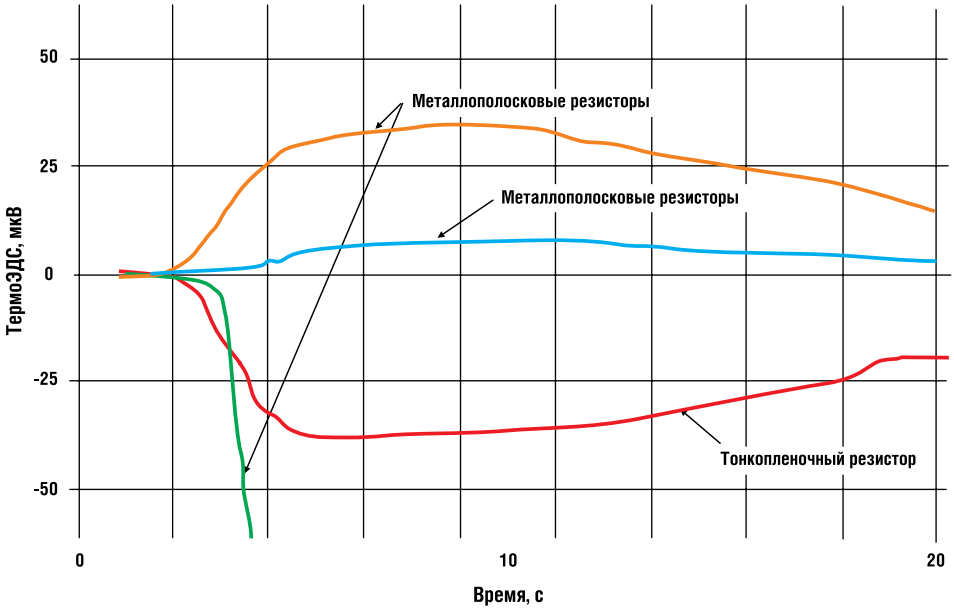


Рис. 12. **Генерация термоЭДС (SMD-резисторы размера 2512, сопротивлением 0,05 Ом, различных технологий)**

диапазоне значений. Резисторы технологии Vishay Bulk Foil отвечают этим требованиям лучше других.

Гироскопы в системах навигации

В электростатических гироскопах применяется электронное управление для перестройки гироскопа во время изменения его ориентации. Гироскопы других типов также критичны к точности резисторов, применяемых в их схемах. Чаще всего в схемах применяются резисторные сборки, используемые для определения и реализации функций «включено-выключено», «контроль азимута» и других. Данные функции являются критичными с точки зрения управления воздушными, водными судами, космическими аппаратами. Это только одна из причин, по которой применение прецизионных фольговых резисторов является практически обязательным.

Датчики давления

Давление воздуха в воздушных и подводных судах, как правило, является вопросом жизни и смерти, в этой связи от систем его измерения требуется высокая точность и еще большая отказоустойчивость. Чаще всего выход датчика зависит от приложенной к нему силы, и для точной обработки сигнала необходима мостовая схема, значения сопротивлений которой находятся в среднем диапазоне значений, что минимизирует потребляемую мощность, и, соответственно, нагрев резисторов. Фольговые резисторы в подобных схемах, кроме температурной, добавляют временную стабильность параметров.

Импульсные источники питания

Эта область применений требует наборов сопротивлений с минимальной реактивностью. Любая паразитная индуктивность или емкость резисторов может негативно сказаться на работе схемы из-за влияния на крутизну фронта переключения. Благодаря своей конструкции и технологии изготовления фольговые резисторы Vishay Foil обладают минимальной реактивностью по сравнению с другими.



Телекоммуникации

В телекоммуникационной инфраструктуре наиболее важными параметрами являются широкий диапазон рабочих частот и высокая временная стабильность. Конструкция фольговых резисторов Vishay является планарной со смежными проводниками, ток по которым течет в противоположных направлениях. Данное решение уменьшает индуктивность резистора, и паразитные емкости при этом оказываются в параллельном включении, что уменьшает результирующую емкость – все это снижает реактивную составляющую полного сопротивления резистора и улучшает его частотные характеристики.

Медицина

В данной области фольговые резисторы обеспечивают стабильность параметров даже в условиях переменной температуры и влажности. К основным применениям можно отнести: кардиографы; томографы; миниатюрные датчики для систем трехмерного изображения для очной диагностики и хирургии; имплантаты.

Литература

1. Г.Келл. Vishay Intertechnology: портрет компании // Новости Электроники №9/06, с 23-25.

2. Vishay Precision Group. Company Overview.//*http://www.vishaypg.com/docs/75012/vpg_co.pdf*

3. Ultra-High-Precision Bulk Metal® Foil Resistors. Advanced Medical Applications, Treatment Solutions, and Biotechnology//*http://www.vishay.com/docs/49466/pl_cap_b.pdf*

4. Introduction to High Precision Resistors. Vishay Foil Resistors//*http://cimail15.blh.com/docs/49787/intro.pdf*

5. Bulk Metal® Foil Resistors. Complete resource guide.//*http://images.vishaypg.com/vpgdocs/49789VMN-PL0373.pdf*

6. 10 Technical Reasons Why to Choose Foil Resistors for Your Circuit Vishay Foil Resistors//*http://vishaypg.com/docs/49788/10reasns.pdf*

7. Thermal EMF for Low Ohmic Value Resistors//*http://www.vishay.com/docs/30175/thermal.pdf*

8. Yuval Hernik. Component selection and layout strategies for avoiding thermal EMF.//http://www.eetimes.com/design/power-management-design/4214897/Component-selection-and-layout-strategies-for-avoiding-thermal-EMF.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – *e-mail: discret.vesti@compel.ru*

Евгений Звонарев (КОМПЭЛ)

МОЩНЫЕ РЕЗИСТОРЫ VISHAY – ШИРПОТРЕБ, БЕЗ КОТОРОГО НЕ ОБОЙТИСЬ



В статье рассматриваются ***силовые резисторы VISHAY,*** *предназначенные для* ***преобразователей электрической энергии*** *мощностью от 0,25 до 800 Вт. Диапазон их номиналов составляет от 0,01 Ом до 100 ГОм.*

Быстрое развитие силовой электроники происходит благодаря появлению новых мощных полупроводниковых компонентов (транзисторы IGBT и MOSFET, а также управляемые тиристоры для коммутирования высоких токов и напряжений). Применение этих компонентов в источниках питания, мощных преобразователях и электроприводах позволяет проектировать преобразователи с высокой эффективностью и хорошими массогабаритными характеристиками. Однако не только силовые ключи определяют параметры эффективности устройств преобразования мощности. Разработка преобразователей невозможна без пассивных компонентов – резисторов, конденсаторов и защитных элементов.

История компании VISHAY связана с судьбой ее основателя Феликса Зандмана (*Felix Zandman*). Первыми изделиями этой компании в 1962 году были прецизионные фольговые резисторы и тензорезисторы. Уже в 1964 году компания начала продавать лицензии зарубежным производителям. Сейчас VISHAY выпускает около 40% пассивных компонентов и около 60% активных.

Улучшение массогабаритных характеристик преобразователей связано с ростом плотности мощности, которую должны обеспечивать современные электронные компоненты. Увеличение плотности мощности повышает требования к резисторам, которые должны выдерживать все большее выделение энергии при минимальных размерах корпуса.

Области применения мощных резисторов очень разнообразны. Это прецизионные шунты для измерения тока с очень высокой точностью, нагрузочные и тормозные резисторы, элементы снабберных цепей, тестовое оборудование, промышленные и медицинские источники питания. Мощные резисторы необходимы в оборудовании для лифтов, на железнодорожном транспорте и гибридных средствах передвижения.

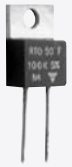
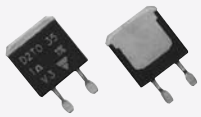
Замена резисторов в этих приложениях на активные компоненты в ближайшее время невозможна, поэтому мощные резисторы еще долгое время будут востребованы в силовой электронике.

Основные параметры силовых резисторов VISHAY сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1. **Мощные толстопленочные резисторы VISHAY (5…800 Вт)**

Наименование	RCH	RPH	RPS	LPS	RTOP
Общий вид					
Диапазон номиналов	0,24 Ом…1 МОм	0,092 Ом…1 МОм	0,24 Ом…1 МОм	0,3 Ом…900 кОм	0,046 Ом…1 МОм
Диапазон номинальной мощности (PR), Вт	5…50	100	250… 500	300; 600; 800	50…200
Номинальное напряжение, В (RMS)	160…1285	1900	5000	5000	500…1500
Диапазон температур, °С	-55…125	-55…125	-55…125	-55…175	-55…125
Температурный коэффициент сопротивления (ТКС), ppm/°С	±150 (> 1 Ом)	±150 (> 1 Ом)	±150 (> 1 Ом)	±300 (≤ 10 Ом) ±150 (> 10 Ом)	±150 (> 1 Ом)
Тепловое сопротивление, °С/Вт	0,8…4,8	0,55	RPS250 = 0,2 RPS500 = 0,11	0,112	0,5…1
Индуктивность, мкГн	≤ 0,1	≤ 0,1	< 50000	≤ 0,1	≤ 0,1
Перегрузочная способность (PR / с), с = секунда	2 PR/5 с	4 PR/5 с	PRS250 = 4 PR/10 с PRS500 = 2 PR/10 с	LPS300 = 4 PR/10 с LPS600 = 2 PR/10 с LPS800 = 1,5 PR/10 с	2,5 PR/5 с
Напряжение пробоя, В	2000…3500	5000	L: 7000 H: 12000	12000	2500
Тип корпуса	–	–	–	–	SOT-227B
Точность номинала (стандартная/доступная), %	±5 (1…10)	±5 (1…10)	±5 (1…10)	±5 (1…10)	±5 (1…10)

Таблица 2. **Толстопленочные резисторы VISHAY (0,25…100 Вт)**

Наименование	RTO	LTO	HTS	D2TO
Общий вид				
Диапазон номиналов	0,01 Ом…1 МОм	0,01 Ом…1 Мом	1 кОм…100 ГОм	0,01 Ом…500 кОм
Диапазон номинальной мощности (PR), Вт	20…50	30…100	0,25…5	20…35
Номинальное напряжение, В (RMS)	250…300	250…375	5000…50000	250
Диапазон температур, °С	-55…55	LTO 30-50: -55…150 LTO 100: -55…175	-55…155	D2TO20: -55…155 D2TO35: -55…175
Температурный коэффициент сопротивления (ТКС), ppm/°С	±150 (для номиналов более 0,5 Ом)	±150 (для номиналов более 0,5 Ом)	±100	±150 (для номиналов более 0,5 Ом)
Тепловое сопротивление, °С/Вт	RTO20: 6,5 RTO50: 2,6	1,5…4,2	–	D2TO20: 6,5 D2TO35: 4,2
Индуктивность, мкГн	< 0,1	< 0,1	–	< 0,1
Перегрузочная способность (PR/с), с = секунда	2 PR/5 с (R < 2 Ом) 1,6 PR/5 с (R ≥ 2 Ом)	1,5 PR / 5 с	–	D2TO20: 2 PR/5 с (R < 2 Ом) 1,6 PR/5 с (R ≥ 2 Ом) D2TO35: 1,7 PR/5 с (R < 2 Ом) 1,4 PR/5 (R ≥ 2 Ом)
Напряжение пробоя, В	2000	1500	–	2000
Тип корпуса	TO-220	TO-220 и TO-247	–	TO-263 = D2PAK
Точность номинала (стандартная/доступная)	±5 (1…10)	±5 (1…10)	±1 (0,5…10)	±5 (1…10)

Резисторы выпускаются по оптимизированной толстопленочной технологии. Производитель может изготовить резисторы по специальным требованиям заказчика, не выходящим за рамки отработанного технологического процесса.

Верхний предел диапазона мощных и высоковольтных резисторов VISHAY достигает 100 ГОм, минимальные значения начинаются от 0,01 Ом. Максимальная рассеиваемая мощность для серии **LPS** достигает 800 Вт (конечно, при наличии соответствующего радиатора). Серии **RPS** и **LPS** отличаются очень высокой прочностью изоляции. Гарантированное напряжение пробоя составляет не менее 12000 В. Резисторы серий **LTO100, D2TO35** и LPS имеют максимальное значение верхнего диапазона рабочих температур 175°С, что позволяет использовать эти резисторы при очень жестких условиях эксплуатации. Максимальные рабочие температуры для других серий находятся в пределах 125…155°С, что удовлетворяет требованиям большинства распространенных приложений.

Очень часто мощные резисторы в силовой электронике применяют в качестве токоизмерительных шунтов. Если схема преобразования энергии работает на относительно высоких частотах, то паразитная индуктивность измерительных резисторов должна иметь очень низкие значения. Большинство серий имеет индуктивность менее 0,1 мкГн (100 нГн). Серия RPS имеет паразитную индуктивность менее 50 нГн, то есть в два раза меньше по сравнению с остальными сериями.

При выборе мощного резистора, предназначенного для работы в импульсных схемах, необходимо обращать внимание на его перегрузочную способность. Этот параметр характеризуется способностью резистора выдерживать перегрузку по мощности в течение нескольких секунд (конкретное значение времени перегрузки указывается в документации производителя) по сравнению с номинальной мощностью. В таблицах 1 и 2 номинальная мощность обозначена двумя буквами PR (*Power Rated*). Для самых мощных серий **RPS250** и **LPS300** допускается четырехкратная перегрузка по мощности в течение 10 секунд.

Некоторые серии силовых резисторов выпускаются в стандартных корпусах SOT-227B (серия **RTOP**), TO-220 (серия **RTO**), TO-220 и TO-247 (серия **LTO**), TO-263 = D2PAK (серия **D2TO**). Стандартные корпуса облегчают проектирование печатной платы и радиатора при снижении цены (стандартные корпуса стоят недорого).

Дополнительную информацию о рассмотренных в статье силовых резисторах можно найти на сайте производителя ***www.vishay.com.***

Получение технической информации, заказ образцов, поставка –
e-mail: discret.vesti@compel.ru



Андрей Самоделов (г. Москва)

СИЛОВАЯ ЧАСТЬ: АЛЮМИНИЕВЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ VISHAY ДЛЯ ТРАНСПОРТА И НЕФТЕДОБЫЧИ



Системы управления электроприводами, инверторы солнечных батарей *и электростанций на возобновляемых источниках энергии,* ***системы электропривода*** *(например, для железнодорожного транспорта или гибридных автомобилей),* ***источники бесперебойного питания*** *и* ***силовые импульсные устройства*** *– все это сферы применения* ***алюминиевых электролитических конденсаторов*** *компании* ***Vishay.*** *Критерии выбора этих изделий для каждой из перечисленных сфер рассмотрены в статье.*

Надежность работы силовых устройств в немалой степени зависит от качества используемых компонентов. В первую очередь это относится к фильтровым и накопительным конденсаторам, которые должны обладать высокой удельной емкостью, малыми утечками, большим допустимым импульсным током, способностью длительной работы при резких скачках напряжения, широким температурным диапазоном и большим сроком службы. Всем этим требованиям в полной мере отвечает продукция компании Vishay – ведущего поставщика пассивных электронных компонентов.

Алюминиевые электролитические конденсаторы чаще всего выпускаются в трех конструктивных исполнениях: аксиальном, радиальном под печатный монтаж и радиальном с резьбовыми контактами. В силовых приложениях чаще всего используются радиальные конденсаторы. Это связано с тем, они обеспечивают наилучшую эффективность отвода тепла от корпуса конденсатора.

Чтобы максимально увеличить срок службы конденсаторов, их следует располагать в наименее нагревающейся части печатной платы или устройства. Принудительное воздушное охлаждение и/или установка на радиатор также могут способствовать увеличению срока службы почти в четыре раза, особенно в комбинации с усиленной конструкцией отрицательного электрода (катода).

Последовательное и параллельное соединение конденсаторов является стандартной техникой, которая позволяет использовать их при напряжениях до 1200 В. В таких случаях необходимо уделять особое внимание правильному распределению напряжения между последовательно соединенными конденсаторами.

Для монтажа на печатные платы компания Vishay предлагает двух-, трех- или четырехвыводные радиальные конденсаторы с высокой удельной емкостью, рассчитанные на большой импульсный ток и большой срок эксплуатации.

Для промышленных приложений повышенной мощности выпускаются серии конденсаторов с резьбовыми выводами (исполнение ST) и с болтом на корпусе для крепления (серии ST BOLT, STB), некоторые из которых имеют корпус увеличенного размера. Паразитная индуктивность конденсатора (ESL) может способствовать возникновению переходных процессов. Для конденсаторов большого размера с резьбовыми выводами значение ESL не превышает 13 нГ.

В таблицах 1 и 2 приведены серии алюминиевых конденсаторов компании Vishay, наиболее часто используемые в силовых приложениях.

Рассмотрим принципы выбора конденсаторов для конкретных типов приложений.

Конденсаторы для систем управления электродвигателями (драйверов)

Драйверы электродвигателей используются для управления частотой вращения вала электродвигателей различных типов во всех приложениях, от малых насосов и моторов для бытовых стиральных машин и систем центрального отопления и кондиционеров воздуха до огромных электродвигателей, которые применяются в промышленных устройствах (рис. 1).

Выбор наилучших конденсаторов для систем управления электродвигателями

Конденсаторы с алюминиевыми обкладками часто используются в цепях постоянного тока систем управления как однофазными, так и трехфазными электродвигателями. Алюминиевые электролитические конденсаторы используются в качестве буферных накопителей энергии, чтобы обеспечить устойчивую работу инвертора, управляющего электродвигателем, в режиме переключения. Кроме того, конденсаторы выполняют функцию фильтра, препятствующего проникновению высокочастотных помех, возникающих при переключении инвертора, в силовую сеть.

Ключевым критерием при выборе электролитических конденсаторов явля-

Таблица 1. **Конденсаторы для печатного монтажа с радиальным расположением выводов**

Серия	Отличительные особенности
157 PUM-SI	Стандартная, 85°C
159 PUL-SI	Стандартная, 105°C
193 PUR-SI	Низкое значение ESR, большой ток пульсаций, 105°C
198 PHR-SI	Большой ток пульсаций, экстремально большой срок службы, 85°C
096 PLL-4TSI	Четырехвыводные, 85°C

Таблица 2. **Конденсаторы с резьбовыми выводами для силовых промышленных приложений**

Серия	Отличительные особенности
102 PHR-ST/STB	Большой срок службы, большой ток пульсаций, 85°C
104 PHL-ST/STB	Большой ток пульсаций, 105°C
500 PGP	Высокое соотношение C/V, 85°C

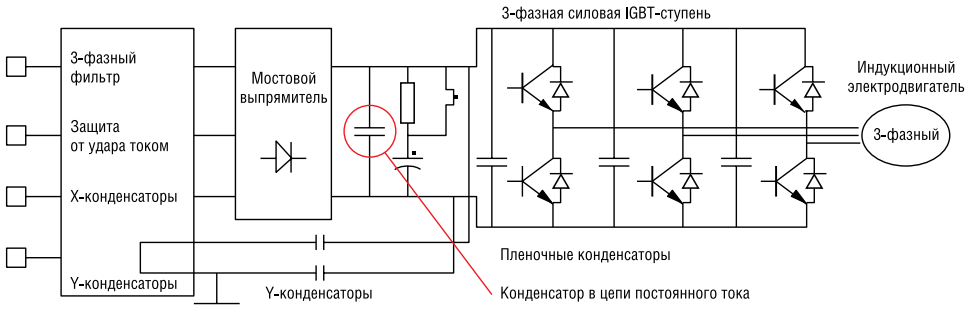


Рис. 1. **Типовая блок-схема системы управления электродвигателем**

ется величина пульсаций тока. Пульсации тока содержат две компоненты:

- Низкочастотные пульсации (50…200 Гц), возникающие при выпрямлении входного переменного напряжения.
- Высокочастотные пульсации, обусловленные работой инвертора и лежащие обычно в диапазоне частот 8…20 кГц.

Для нормальной работы драйвера необходимо правильно выбирать минимальную емкость используемых конденсаторов.

Каков же будет выбор?

Для использования в системах управления электродвигателями компания Vishay рекомендует использовать конденсаторы серии 198 PHR-SI для печатного монтажа и серии 102 PHR-ST с резьбовыми выводами. Пример выбора конденсаторов показан в таблицах 3 и 4.

Конденсаторы для инверторов солнечных батарей

С 2005 года наметился глобальный рост интереса к различным устройствам и технологиям получения электроэнергии из возобновляемых источников, в особенности — к использованию солнечных батарей. Наиболее важным блоком устройств преобразования солнечной энергии являются преобразователи (инверторы). Инверторы используются для высокоэффективного преобразования напряжения постоянного тока, вырабатываемого панелями солнечных батарей, в обычное напряжение переменного тока, пригодное для подачи в электрическую сеть или для питания бытовой техники. Инверторы для солнечных батарей выпускаются в широком диапазоне рабочих мощностей. В зависимости от общей мощности системы преобразователи делятся на: одиночные инверторы для бытового применения мощностью до 3 кВт, сдвоенные линейные инверторы мощностью до 10 кВт и мощные центральные инверторы мощностью до 500 кВт (рис. 2).

Выбор наилучшего конденсатора для инверторов солнечных батарей

Силовые конденсаторы используются в цепях постоянного тока инверторов солнечных электростанций для создания запаса энергии, достаточного для плавной работы DC/AC-преобразователя. В зависимости от диапазона мощностей, максимально допустимого напряжения, доступного объема, требований к сроку службы и стоимости решения могут использоваться либо алюминиевые, либо силовые пленочные конденсаторы. Компания Vishay может предложить оба типа конденсаторов для данного применения.

Правильность выбора алюминиевых конденсаторов зависит от того, какой из двух главных режимов работы используется:

Нормальный режим. В данном режиме система отслеживания точки максимальной мощности (MPP) будет поддерживать пониженное напряжение на конденсаторах в комбинации с довольно большим уровнем пульсаций тока и повышенной температурой внутри корпуса инвертора.

Автономный режим. В этом режиме солнечные батареи отключены от сети, и напряжение на конденсаторах может вырасти до максимального выходного значения, достигаемого солнечной батареей. В таком режиме на конденсатор не воздействуют импульсные токи, и температура в корпусе инвертора также уменьшена. Этот режим работы определяет требования к рабочему напряжению конденсатора в условиях слабой или средней нагрузки при средней температуре внутри корпуса инвертора.

Срок службы конденсаторов определяется, в основном, значением импульсного тока и температурой внутри корпуса в нормальном режиме работы.

Типичное выходное напряжение для панелей солнечных батарей составляет 600, 800 и 1000 В. Для перекрытия такого диапазона напряжений необходимо

Таблица 3. **Конденсаторы серии 198 PHR-SI для систем управления ЭД**

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 198 серии											
U_R, В	C_R @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I_R @100 Гц 85°C, А	I_{L1} @1 мин, мА	I_{L5} @5 мин, мА	ESR @100 Гц, мОм		Z @10 кГц, мОм		Код для заказа по каталогу MAL2198...	
						Тип.	Макс.	Тип.	Макс.	2-выв.	3-выв.
400	470	35 x 45	2,72	1132	380	129	203	80	153	36471E3	16471E3
450	560	35 x 60	3,10	1516	508	100	171	60	120	57561E3	77561E3

Таблица 4. **Конденсаторы серии 102 PHR-ST для систем управления ЭД**

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 102 серии										
U_R, В	C_R @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L. мм	I_R @100 Гц 85°C, А	I_{L5} @5 мин, мА	ESR Макс. @100 Гц, мОм	Z Макс. @20 кГц, мОм	Код для заказа по каталогу			
							HIGH POST M5 DISC		HIGH CURRENT M6 DISC	
							Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...	Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...
250	4700	76 x 105	15,3	2,35	29	19	23472E3	63472E3	43472E3	83472E3
400	3300	76 x 105	13,4	2,64	40	27	26332E3	66332E3	46332E3	86332E3
450	5600	76 x 146	17,3	5,04	23	15	17562E3	57562E3	37562E3	77562E3

Таблица 5. **Варианты выбора конденсаторов для инверторов солнечных батарей**

Серия	Емкость, мкФ	Размер D*H, мм	U_R, В	U_C, В	I_R @100 Гц, А	Срок службы, час	
						U_R, 85°C	U_C, IR, 105°C
193 PUR-SI	330	30 x 50	500	400	2,3	2 000	10 000
157 PUM-SI	680	35 x 60	500	420	3,2	1 000	7 000
095 PLL-4TSI	1000	45 x 70	500	450	3,8	5 000	5 000
159 PUL-SI	1200	35 x 80	320	–	5,1	–	7 000
104 PHL-ST	4700	76 x 175	500	450	12,1	20 000	10 000

последовательное соединение двух или более алюминиевых конденсаторов. Точное распределение падения напряжения жизненно важно для нормальной работы конденсаторов, но может вызвать значительное падение КПД устройства при использовании, например, выравнивающих резисторов.

Следующим важным параметром при выборе конденсаторов является общая емкость, которая должна быть достаточной для обеспечения плавной работы преобразователя.

Каков же будет выбор?

Для работы в инверторах солнечных батарей малой мощности компания Vishay предлагает двух-, трех- или четырехвыводные конденсаторы для печатного монтажа с размером корпуса от 30x40 мм до 45x100 мм. Для центральных инверторов можно использовать конденсаторы серии 104 PHL-ST с резьбовыми выводами размером до 90x220 мм. Пример выбора конденсаторов показан в таблице 5.

Конденсаторы для тяговых приложений

Тяга – это общий термин для обозначения приводов в поездах или железнодорожном подвижном составе. В данную прикладную категорию можно включить как системы электропривода, так и электрические системы, обеспечивающие торможение, освещение и электропитание. Типовая блок-схема тягового приложения аналогична схеме, показанной на рисунке 1.

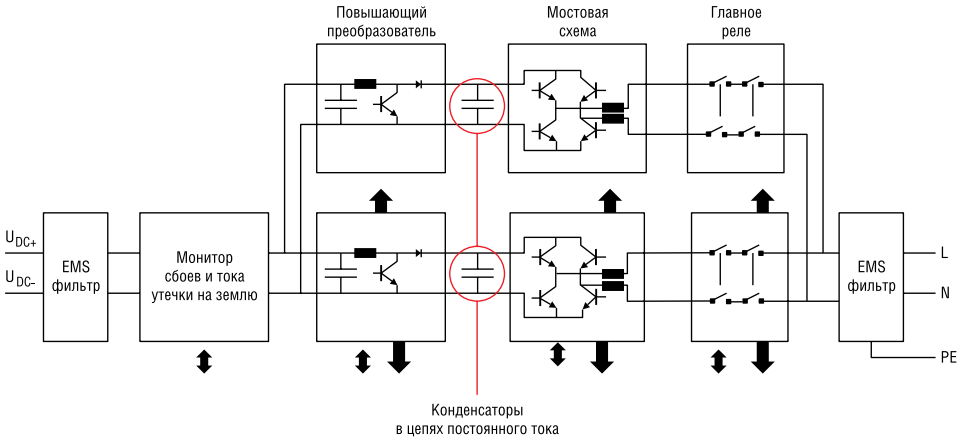


Рис. 2. **Типовая блок-схема инвертора для солнечной батареи**

Выбор наилучших конденсаторов для тяговых приложений

Алюминиевые конденсаторы используются в двух главных областях тяговых приложений:

- В цепях постоянного тока систем управления приводами на базе больших электродвигателей в подвижном составе;
- В цепях постоянного тока во вспомогательных источниках питания подвижного состава.

В обоих случаях конденсаторы используются как в качестве энергетического буфера для стабилизации работы импульсных инверторов, управляющих большими электродвигателями, или вспомогательных силовых систем, так и в качестве фильтра для предотвращения проникновения высокочастотных помех, вызванных работой мощных ключей, в питающую сеть.

Ключевым критерием выбора конденсаторов будет величина высоко-

Таблица 6. **Конденсаторы серии 102 PHR-ST для тяговых приложений**

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 102 серии; 85°C – 10 000 час										
U_R, В	C_R @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I_R @100 Гц 85°C, А	I_{L5} @5 мин, мА	ESR Макс. @100 Гц, мОм	Z Макс. @20 кГц, мОм	Код для заказа по каталогу			
							HIGH POST M5 DISC		HIGH CURRENT M6 DISC	
							Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...	Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...
350	15 000	90 x 220	31,2	10,5	10	8	–	–	45153E3	85153E3
400	10 000	76 x 220	22,1	8,0	14	11	16103E3	56103E3	36103E3	76103E3

Таблица 7. **Конденсаторы серии 104 PHL-ST для тяговых приложений**

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 104 серии; 105°C – 5 000 час										
U_R, В	C_R @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I_R @100 Гц 85°C, А	I_{L5} @5 мин, мА	ESR Макс. @100 Гц, мОм	Z Макс. @20 кГц, мОм	Код для заказа по каталогу			
							HIGH POST M5 DISC		HIGH CURRENT M6 DISC	
							Исполнение ST MAL2104...	Исполнение ST BOLT MAL2104...	Исполнение ST MAL2104...	Исполнение ST BOLT MAL2104...
350	15 000	90 x 220	25,6	10,5	13	12	–	–	45153E3	85153E3
400	10 000	90 x 220	22,1	8,0	17	14	–	–	46103E3	86103E3

Таблица 8. **Конденсаторы серии 198 PHR-SI для ИБП**

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 198 серии; 85°C											
U_R, В	C_R @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I_R @100 Гц 85°C, А	I_{L1} @1 мин, мА	I_{L5} @5 мин, мА	ESR @100 Гц, мОм		Z @10 кГц, мОм		Код для заказа по каталогу MAL2198...	
						Тип.	Макс.	Тип.	Макс.	2-выв.	3-выв.
400	470	35 x 45	2,72	1132	380	129	203	80	153	36471E3	16471E3
450	560	35 x 60	3,10	1516	508	100	171	60	120	57561E3	77561E3

Таблица 9. **Конденсаторы серии 102 PHR-ST для ИБП**

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 102 серии; 85°C – 10 000 час										
U_R, В	C_R @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I_R @100 Гц 85°C, А	I_{L5} @5 мин, мА	ESR Макс. @100 Гц, мОм	Z Макс. @20 кГц, мОм	Код для заказа по каталогу			
							HIGH POST M5 DISC		HIGH CURRENT M6 DISC	
							Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...	Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...
250	4700	76 x 105	15,3	2,35	29	19	23472E3	63472E3	43472E3	83472E3
400	3300	76 x 105	13,4	2,64	40	27	26332E3	66332E3	46332E3	86332E3
450	5600	76 x 146	17,3	5,04	23	15	17562E3	57562E3	37562E3	77562E3

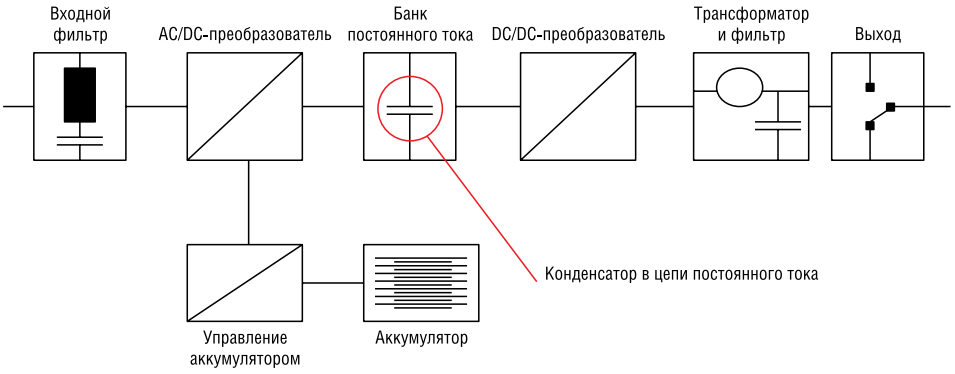


Рис. 3. **Типовая блок-схема источника бесперебойного питания**

частотных пульсаций тока с частотой 8…20 кГц, создаваемых инвертором.

Следует выбирать значение емкости, обеспечивающее нормальную работу драйвера. Паразитная индуктивность (ESL) может привести к возникновению переходных процессов. Для конденсаторов с резьбовыми выводами значение ESL не превышает 13 нГ.

При напряжении до 1200 В можно последовательно соединить три конденсатора одинакового номинала, чтобы обеспечить равное падение напряжения на них. При более высоких значениях напряжения и жестких режимах эксплуатации выравнивание напряжения следует осуществлять с помощью пленочных резисторов, также выпускаемых Vishay.

Каков же будет выбор?

Для использования в приводах подвижного состава компания Vishay рекомендует использовать конденсаторы серий 102 PHR-ST или 104 PHL-ST с резьбовыми выводами и усиленной конструкцией отрицательного электрода для лучшего охлаждения. Пример выбора конденсаторов показан в таблицах 6 и 7.

Конденсаторы для источников бесперебойного питания (ИБП – UPS)

Источники бесперебойного питания (ИБП, UPS) используются для поддержания питания нагрузки во время коротких отключений электроэнергии. ИБП бывают оффлайновые и онлайновые, и могут отличаться по максимальной мощности нагрузки и времени автономной работы (рис. 3).

Выбор лучшего конденсатора для ИБП

Алюминиевые конденсаторы идеально подходят для использования в цепях постоянного тока ИБП любой системы. Они используются как энергетический буфер для выходного DC/AC-преобразователя в момент переключения ИБП из режима работы от сети в режим работы от аккумуляторов. Кроме того, конденсаторы работают как фильтр, препятствующий проникновению высокочастотных помех от преобразователя в питающую сеть.

Ключевым параметром при выборе конденсаторов является предельно допустимая величина пульсаций тока, которые состоят из двух компонент: низкочастотных пульсаций (50…200 Гц),

Таблица 10. **Выбор конденсаторов для силовых импульсных устройств**

Серия	Исполнение	U_R, В	Cap, мкФ	Размер D x H, мм	Срок службы при 85°C, час
157 PUM-SI	Радиальное	300	1 000	35 x 50	5 000
159 PUL-SI	Радиальное	450	560	35 x 60	5 000
102 PHR-ST	С резьбовыми выводами	350	15 000	90 x 220	10 000
102 PHR-ST	С резьбовыми выводами	400	10 000	76 x 220	10 000
500 PGP-ST	С резьбовыми выводами	450	16 000	90 x 220	2 000

связанных с выпрямлением входного напряжения, и высокочастотных (10…40 кГц) помех, вызванных работой DC/AC-преобразователя.

Желательно вычислить минимальную емкость конденсатора, гарантирующую устойчивую работу устройства.

При последовательном соединении конденсаторов в ИБП необходимо позаботиться о правильном распределении падения напряжения на них, чтобы значительно не уменьшить КПД.

Каков же будет выбор?

Для использования компания Vishay рекомендует использовать конденсаторы серии 198 PHR-SI для печатного монтажа в источниках бесперебойного питания небольшой мощности, и серии 102 PHR-ST с резьбовыми выводами – в больших промышленных установках. Пример выбора конденсаторов показан в таблице 8 и 9.

Конденсаторы для силовых импульсных устройств

Силовыми импульсными приложениями называются приложения, в которых энергопотребление имеет форму короткого импульса вместо плоского профиля. Хорошим примером таких приложений может служить сварочное оборудование, рентгеновские установки и высокочастотные плазменные резаки.

Выбор наилучшего конденсатора для импульсного силового устройства

Алюминиевые конденсаторы идеальны для использования в качестве энергетических буферов, которые имеют повышенную энергетическую отдачу, способствующую выполнению главной функции приложения.

Основным параметром в таких приложениях является минимальная емкость электролитического конденсатора, определяющая амплитуду импульса энергии, которую сможет отдать приложение.

Вторым важным параметром является паразитная индуктивность конденсатора (ESL), большие значения которой могут вызвать переходные процессы. Для конденсаторов с резьбовыми выводами значение ESL не превышает 13 нГ.

Кроме того, следует позаботиться о том, чтобы напряжение на конденсаторе не превышало предельно допустимое значение.

Работа в режиме полного разряда требует использования специальной конструкции конденсатора, в то время как разряд до 30…40% от максимального напряжения может значительно продлить его срок службы.

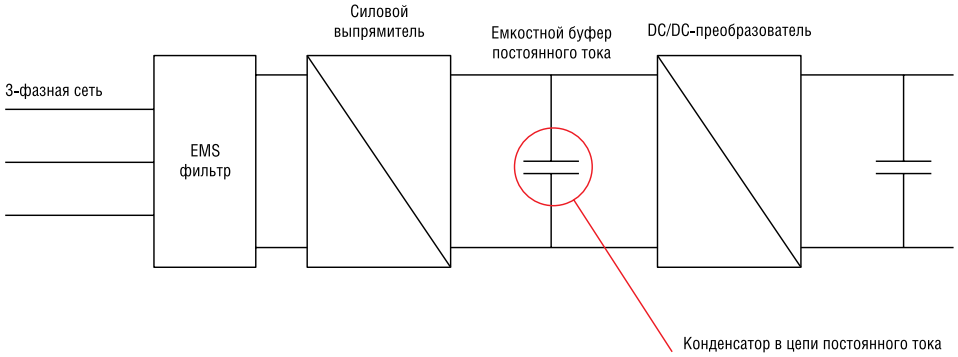


Рис. 4. **Типовая блок-схема импульсного силового устройства**

Каков же будет выбор?

Для высоковольтных промышленных приложений, таких как профессиональная сварка, высокочастотные плазменные резаки и рентгеновское оборудование, рекомендуется использовать алюминиевые конденсаторы с резьбовыми выводами в больших корпусах, имеющие усиленную конструкцию отрицательного электрода. Пример выбора конденсаторов показан в таблице 10.

Заключение

Хочется отметить, что широчайшая номенклатура пассивных компонентов компании Vishay, в том числе и алюминиевых конденсаторов, рассмотренных в данной статье, способна удовлетворить самым взыскательным требованиям разработчика. Компания постоянно следит за высочайшим качеством своих изделий и в минимальные сроки реагирует на появление на рынке новых приложений, требующих применения пассивных компонентов повышенной надежности.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка –
e-mail: discret.vesti@compel.ru



Константин Калаев (Ecomal (Vishay)), Владимир Савишкин (КОМПЭЛ)

ТАНТАЛОВЫЕ И WET-ТАНТАЛОВЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ КОМПАНИИ VISHAY: ОТ ИГРУШКИ ДО КОСМОСА

Танталовые конденсаторы *характеризуются наиболее* ***высокими удельными зарядом и емкостью и большими значениями единичной емкости,*** *но имеют ограничения по номинальному напряжению. Линейка компании* ***Vishay*** *включает конденсаторы, которые используются при разработке не только* ***компьютерной, медицинской, военной техники, потребительской электроники, автомобильной техники и систем питания,*** *но и для* ***ответственных применений.***

Тантал (Ta) – металл серостального цвета с синеватым оттенком. Открыт в 1802 г. шведским химиком Экебергом в минералах, найденных в Финляндии и Швеции; назван по имени героя древнегреческой мифологии Тантала, осужденного на вечную жажду, что было связано с трудностями, возникшими при растворении оксида нового элемента в кислотах. В чистом виде пластичный тантал впервые получен в 1903 году немецким химиком Болтоном. А его промышленное производство началось в США в 1922 г. Содержание тантала в земной коре $2 \cdot 10^{-4}$% (по массе). Среди других элементов он занимает 54-е место, что характеризует его как редкий металл. В природе почти всегда встречается вместе с ниобием. Тантал входит в состав около 100 минералов, основными из которых являются танталит и колумбит.

На сегодняшний день линейка танталовых конденсаторов компании Vishay насчитывает 67 серий, наиболее часто применяемые обозначены в таблице 1. Основными «ходовыми» сериями являются **293D** и **593D.** По параметрам конденсаторы запрашиваются в следующем виде: емкость, напряжение, тип корпуса и погрешность исполнения номинала (для серии 293D). Когда к этим же параметрам добавляется упоминание о низком эквивалентном последовательном сопротивлении, предлагается серия 593D. Например, TECAP 10/25V D 10 (код Vishay 293D106X9025D2TE3) соответствует следующим параметрам: 10 мкФ, 25 В, корпус D, точность 10%. Опция заказа конденсаторов по параметрам будет сохранена и в дальнейшем, как через сайт ***www.compel.ru,*** так и непосредственно через менеджеров по продажам. Однако в счетах и платежных документах будут фигурировать соответствующие коды производителя.

Wet-танталовая технология основана на танталовой. В чем же разница? А отличаются они приблизительно так же, как водородная бомба отличается от атомной. Вторая имеет ограничительный параметр мощности в виде критической массы боевого вещества, при превышении которой начинается неуправляемая ядерная реакция, то есть взрыв. Есть способы обойти этот эффект, но они «от лукавого». Однако если атомную бомбу поместить в тяжелую воду, которая сама не работает без инициирующего атомного взрыва, то суммарная мощность взрыва этого изделия будет определяться массой тяжелой воды. А ограничения по массе тяжелой воды имеют совсем другой порядок. То есть, если начинку стандартного танталового конденсатора поместить в электролит, то на выходе можно получить изделие с более высокими параметрами емкости и напряжения.

Таблица 1. **Основные серии танталовых и wet-танталовых конденсаторов компании Vishay**

Наименование серии	Описание	Параметры и преимущества	Комментарий
134D, 135D, CLR79, CLR 81	Корпусированные wet-танталовые конденсаторы	• Устойчивость к влаге, ударам и вибрации; • Работа при температурах до 200°C; • Диапазон емкостей 1,7…1200 мкФ; • Диапазон напряжений 6…125 В.	–
138D, CLR69	Корпусированные wet-танталовые конденсаторы	• Устойчивость к влаге, ударам и вибрации; • Работа при температурах до 200°C; • Диапазон емкостей 6,8…2200 мкФ; • Диапазон напряжений 6…125 В.	–
293D	Спрессованные танталовые конденсаторы, SMD	• Малые габариты; • Жесткий конструктив; • Диапазон емкостей 0,1…1000 мкФ; • Диапазон напряжений 4…63 В.	Сборка в КНР
TR3	Спрессованные танталовые конденсаторы, SMD	• Малые габариты; • Жесткий конструктив; • Низкий ESR; • Диапазон емкостей 0,47…1000 мкФ; • Диапазон напряжений 4…63 В.	Сборка в КНР
298D	Спрессованные танталовые конденсаторы типоразмера 0603, Micro Tan	• Стабильность исполнения выше, чем у керамических конденсаторов; • Отсутствие пьезоэлектрических шумов; • Диапазон емкостей 1…220 мкФ; • Диапазон напряжений 2,5…50 В.	Выводы Facedown

Таблица 1. **Основные серии танталовых и wet-танталовых конденсаторов компании Vishay** *(окончание)*

Наименование серии	Описание	Параметры и преимущества	Комментарий
591D	Танталовые ЧИП-конденсаторы с покрытием	• Низкий ESR; • Высокая емкость; • Диапазон емкостей 1…1000 мкФ; • Диапазон напряжений 4…35 В.	–
572D	Низкопрофильные конформные конденсаторы с покрытием	• Высокие емкости в малых корпусах (корпус P, 220 мкФ); • Низкий ESR (мин. 0,2 Ом); • Диапазон емкостей 2,2…220 мкФ; • Диапазон напряжений 4…35 В.	Экономичное техническое решение
592D	Низкопрофильные конформные ЧИП-конденсаторы с покрытием, SMD	• Высокие емкости в малых корпусах (наивысший номинал 2200 мкФ; 6,3 В); • Диапазон емкостей 1…2200 мкФ; • Диапазон напряжений 4…50 В.	Экономичное техническое решение
594D	Танталовые ЧИП-конденсаторы с покрытием	• Низкий ESR; • Высокая емкость; • Диапазон емкостей 1…1500 мкФ; • Диапазон напряжений 4…50 В.	–
595D	Заказные танталовые конденсаторы с покрытием	• Высокая емкость (до 1500 мкФ); • Низкие ESR (мин. 0,07 Ом); • Диапазон емкостей 1…1500 мкФ; • Диапазон напряжений 4…50 В.	Особый контроль для заказных исполнений
597D	Многоанодные танталовые конденсаторы с покрытием	• Сверхнизкий ESR (мин 0,015 Ом); • Диапазон емкостей 10…75 мкФ; • Диапазон напряжений 4…50 В; • Устойчивость к пульсациям тока (до 4,1 А).	Экономичное техническое решение
CC/EC	Заказные танталовые конденсаторы с покрытием, SMD	• Высокая надежность; • Малые токи утечки.	Особый контроль для заказных исполнений
CWR06, CWR16	Конформные танталовые конденсаторы с твердым электролитом, SMT	• Малоразмерность; • Высокая емкость; • Низкий ESR; • Покрытие выводов золотом и серебром.	Аналог для коммерческого использования – серия 194D
CWR11	Спрессованные танталовые конденсаторы с твердым электролитом, SMT	• Малоразмерность; • Высокая емкость; • Низкий ESR.	Аналог для коммерческого использования – серия 293D
DSCC93026	Wet-танталовые конденсаторы, SuperTan	• Высокая надежность; • Высокие емкости и напряжения (1500 мкФ, 125 В); • Низкий ESR (мин. 0,5 Ом).	Аналог для коммерческого использования – серия ST
HE3	Корпусированные wet-танталовые конденсаторы, Super Tan	• Герметизированный корпус; • Диапазон емкостей 1100…72000 мкФ; • Диапазон напряжений 25…125 В; • Устойчивость к влаге, ударам и вибрации; • Низкий ESR.	–
M39003	Аксиальные танталовые конденсаторы с твердым электролитом	• Высокая емкость; • Герметичный корпус; • Устойчивость к влаге, ударам и вибрации.	Аналог для коммерческого использования – серии 150D, 152D, 550D
T82	Заказные спрессованные танталовые конденсаторы типоразмера 0805 и 0603	• Высокая надежность; • Малые токи утечки.	Особый контроль для заказных исполнений
T83	Танталовые конденсаторы для поверхностного монтажа	• Диапазон емкостей 0,1…470 мкФ; • Диапазон напряжений 4…63 В; • Высокая точность исполнения.	–
T88	Заказные спрессованные танталовые конденсаторы типоразмера 0805 и 0603	• Высокая надежность; • Малые токи утечки.	Особый контроль для заказных исполнений
T92	ЧИП танталовые конденсаторы для поверхностного монтажа с покрытием	• Высокая точность исполнения	–
T95, T96	Танталовые конденсаторы для поверхностного монтажа	• Высокие значения емкости и напряжения; • Высокая точность исполнения.	–
T97	ЧИП танталовые конденсаторы для поверхностного монтажа с покрытием	• Высокая точность исполнения; • Диапазон емкостей 10…1500 мкФ; • Диапазон напряжений 4…75 В.	–
TH3	Спрессованные танталовые конденсаторы, SMD	• Прочный конструктив; • Длительный жизненный цикл; • Диапазон рабочих температур – 55…125°C; • Диапазон емкостей 0,33…220 мкФ; • Диапазон напряжений – 6,3…50 В.	–

На сегодняшний день рынок применения танталовых конденсаторов можно разделить на десять основных секторов. Это компьютерная техника, медицина, военная и аэрокосмическая техника, телекоммуникация, сотовая телефония, потребительская электроника, промышленность, автомобильная техника, системы питания. В отдельную группу выделяются высоконадежные конденсаторы, которые также подходят и для ответственных применений. В каждой из перечисленных областей продукция компании Vishay, с одной стороны, имеет ряд качественных технических и маркетинговых преимуществ, с другой — постоянно соперничает со своими основными конкурентами за рынок.

Промышленность

В этом секторе у компании Vishay основными сериями являются **134D,** 135D, TR3 с малым ESR и 293D.

134D и 135D используются при производстве оборудования для геологоразведки и добычи. Конкурент — Arcotronics.

TR3 и 293D ориентированы на производство инструментария, фильтров питания, устройств управления, дисплеев, устройств питания контроллеров. Серии имеют низкую стоимость. Конкуренты — AVX серии TAJ и TPS, Kemet серии T491, T494 и T495, NEC/Tokin серии E/SVи SV/Z, EPCOS серии B45196 и B45197.

Как следует из данных, публикуемых в СМИ, российская промышленность имеет устойчивые тенденции роста. При таком положении объемы потребляемых промышленностью России танталовых конденсаторов будут увеличиваться.

Медицина

Наиболее «ходовые» серии «танталов» Vishay — **292D, T88, CC/EC, 595D.**

292D — из-за высокой стабильности и низкой стоимости широко применяется в медицинских приборах и оборудовании. Конкуренты — AVX.

T88, CC/EC, 595D — благодаря высокой надежности и малым габаритам применяются в имплантируемых устройствах. Конкуренты: AVX серии TAZ (для CC/EC), Nichicon (для 595D). Серия T88 не имеет аналогов.

Производство медицинского оборудования активно развивается в России. Растет спрос на внутреннем рынке, наращиваются объемы экспорта медоборудования.

Телекоммуникации

Здесь наиболее востребованы танталовые конденсаторы серий 597D, TR3, 293D, 292D, 592D корпус X, и 592D с профилем до 2 мм.

597D, TR3, 293D и 292D серии имеют низкую стоимость.

Серия 597D ориентирована на импульсные источники питания и DC/DC-преобразователи. Конкурент — Kemet серии T510.

TR3, 293D — применяются в PCMCIA-картах, базовых станциях и DC/DC-преобразователях. Конкуренты — NEC, Kemet, AVX.

292D востребована в медицине и мобильной телефонии. Конкуренты — AVX серии Micro TAC.

592D корпус X применяется в производстве PCMCIA-карт и беспроводных модемов. Конкурент — AVX. Низкопрофильные «танталы» серии 592D не имеют аналогов у конкурентов.

Рынок телекоммуникационных изделий активно развивается в России. А значит, и применение вышеперечисленных серий танталовых конденсаторов в этом секторе электроники будет расти.

Потребительская электроника

Основные серии танталовых конденсаторов: 293D, 597D, 298D, 572D, 592D.

293D применяется в производстве портативных DVD, звуковых карт, портативных звуковых устройств. Основные конкуренты — AVX серий TAJ и TPS, Kemet серий T491, T494 и T495, NEC/Tokin серий E/SV и SV/Z.

597D востребована при производстве импульсных источников питания и DC/DC-преобразователей. Конкуренты — Kemet серии T510, AVX серии TPM, EPCOS серии 4539.

298D применяется при производстве мобильных телефонов, LCD-модулей, портативных изделий.

572D и 592D используются при производстве MP3-изделий и аудиоустройств.

Рынок потребительской электроники в России активно развивается. Немалую роль при выборе элементной базы может сыграть низкая стоимость «танталов» серий 293D, 597D, 572D, 592D.

Автомобильная техника

Наиболее активно здесь используются серии 293D, TR3 с малым ESR, **TH3** высокотемпературного исполнения. Основное применение эти конденсаторы находят в системах управления двигателем, системах безопасности, телематике, системах развлечения.

Конкуренты — AVX серии TAJ, THJ и TPS, Kemet серии T491, T495 и T499, Nichicon серии F93 и F97, EPCOS серий B45196H и B45196P.

Спрос на танталовые конденсаторы на автомобильном рынке в России растет в связи с увеличением доли электроники в выпускаемых автомобилях. Дальнейшие перспективы неразрывно связаны с перспективами развития российского автопрома.

Системы питания

Наибольшим спросом здесь пользуются серии 295D, **591D, 594D,** TR3 с малым ESR и 597D. Они успешно применяются при создании DC/DC-преобразователей. Помимо этого, серии 295D и TR3 используются при производстве фильтров питания, 591D, 594D и 597D — в производстве импульсных источников и питания и других «питающих» устройств. Конкуренты. 295D, 591D, 594D — Nichicon. TR3 — AVX серии TPS, Kemet серий T494 и T495, NEC/TOKIN серии SV/Z, EPCOS серии B45197. 597D — Kemet серии T510.

Российский рынок источников питания активно развивается, что связано с ростом объемов промышленного производства.

Высоконадежные танталовые конденсаторы

Линейка высоконадежных танталовых конденсаторов компании Vishay включает в себя серии **T83, T95, T96, T92, T97, T82, T88,** CWR11, CWR06.

Помимо военной техники, авионики и космоса они успешно применяются в добывающем оборудовании; оборудовании, работающем в экстремальных условиях; метеорологическом оборудовании и многих других устройствах, предъявляющих повышенные требования к надежности и точности исполнения комплектующих.

T83, T95, T96 конкурируют с продукцией AVX серии TBJ, Kemet серии T493.

T92, T97, T82, T88, CWR11, CWR06 не имеют аналогов у конкурентов.

Большая часть территории России находится в зонах тяжелых климатических условий. Этот факт является одним из определяющих рост потребления высоконадежных танталовых конденсаторов.

Сотовая телефония

Здесь наибольшим спросом пользуются серии 572D, 592D (до 2 мм), 292D, **298D.**

Основными конкурентами для серий 572D, 592D (до 2 мм) и 292D является продукция компании Nichicon.

С серией 298D конкурируют «танталы» AVX, Nichicon, Rohm.

В России пока нет производства сотовых телефонов. Тем не менее, уже известно о попытках начать такое производство.

Компьютерная техника

Здесь компания Vishay представлена следующими сериями танталовых конденсаторов: **572D, 592D, 597D, TR3.**

572D — применяется для миниатюрных жестких дисков MP3-проигрывателей. Благодаря малым размерам способствует уменьшению га-

баритов готовых изделий. Конкурирует с продукцией компании Nichicon.

592D – применяется при изготовлении PCMCIA-карт. Конкурирует с продукцией AVX.

597D – применяется при создании импульсных источников питания и DC/DC-преобразователей. Конкуренты: Kemet серии T510, AVX серии TPM, EPCOS серии 4539.

TR3 – применяется при изготовлении PCMCIA-карт. Конкуренты: AVX серии TPS, Kemet серий T494 и T495, EPCOS серии B45197.

Производство компьютерной техники в России на данный момент не развито. Сборка в расчет не берется, поскольку комплектация сборочных узлов происходит не в России. Тем не менее, вышеприведенная информация может оказаться полезной для российских разработчиков новых высокотехнологичных изделий.

Военная и аэрокосмическая техника

Наиболее активно применяются конденсаторы серий **DSCC93026, M39003, 135D, CLR79, CLR 81, 138D, CLR65, CLR69, CWR06, CWR16, CWR11, HE3.**

DSCC93026 находит наибольшее применение в военной авионике и космической технике. Конкурент – Arcotronics.

M39003 – ориентирован на военную технику. Конкурент – Kemet.

135D, CLR79, CLR 81, 138D, CLR65 и CLR69 серии танталовых конденсаторов, ориентированных и на военную технику, и на авионику. Аналогов нет.

Серии CWR06, CWR16 имеют покрытие выводов из золота. Области применения – военная техника и авионика. Конкуренты – AVX серии CWR09 и CWR19.

Серии CWR11 и HE3 также ориентированы на военную технику и авионику. CWR11 конкурирует с продукцией фирм AVX и Kemet. Серия HE3 не имеет аналогов у конкурентов.

Так как Vishay Intertechnologies является американской компанией и подчиняется законодательству США, то каждый запрос на «военные» компоненты рассматривается отдельно; возможность поставки данных компонентов в Россию осуществляется после подтверждения и разрешения от производственного подразделения.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка –
e-mail: discret.vesti@compel.ru



DSCC 10011 – новая серия wet-танталовых конденсаторов максимальной емкости

Компания **Vishay Intertechnology Inc.** запустила в производство новую серию **энергоемких wet-танталовых конденсаторов** с наивысшими значениями емкости. Предлагаемые изделия имеют номинал в пределах 3000...72000 мкФ и ESR 0,035 Ом на максимальной емкости.

Технические характеристики:
- Диапазон доступных номиналов 3000...72000 мкФ;
- Диапазон доступных напряжений 25...125 В;
- Точность исполнения номинала 20%;
- Диапазон рабочих температур -55...85°C, 125°C с понижением напряжения.

Области применения: низковольтовые фильтры в энергосберегающих схемах для военных и аэрокосмических систем – оружейные системы, радары, ретрансляторы, источники питания.

IHLP-6767DZ-11 – новая серия сильноточных низкопрофильных индуктивностей в корпусе 6767

Компания **Vishay Intertechnology Inc.** запустила в производство новую серию сильноточных низкопрофильных индуктивностей в корпусе **6767.** Предлагаемые изделия имеют диапазон индуктивностей 1...47 мкГн и минимальное значение сопротивления по постоянному току 2,05 мОм.

Технические характеристики:
- Диапазон значений индуктивности 1...47 мкГн;
- Диапазон сопротивлений по постоянному току 1,86...108,46 мОм;
- Величина рабочей частоты до 750 кГц;
- Диапазон токов насыщения 4,3...27,5 А;
- Диапазон тепловых токов 5...41 А;
- Диапазон рабочих температур -55...125°C.

Области применения: схемы питания PDA, ноутбуков, десктопов, серверов и др; сильноточные точечные нагрузочные конвертеры, низкопрофильные сильноточные источники питания, батарейные источники питания, DC/DC-преобразователи в распределенных системах питания и для питания FPGA.

Александр Калачев (г. Барнаул)

СТРАЖИ БОЛЬШИХ ЭНЕРГИЙ: МОЩНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ VISHAY ИЗ ЛИНЕЙКИ ESTA



*Если вы разрабатываете **силовую установку,** в которой даже уменьшение потерь на единицы или десятые доли процента уже даст ощутимый эффект экономии энергии – обратите внимание на **мощные конденсаторы Vishay** из линейки **ESTA.***

Силовая электроника на сегодняшний день является одной из востребованных и быстроразвивающихся областей техники. К основным тенденциям данной отрасли можно отнести улучшение силовых характеристик управляющих полупроводниковых приборов и применение систем интеллектуального управления. Не менее важным является стремление к экономичным и энергосберегающим решениям.

Vishay ESTA является одним из немногих мировых производителей, предлагающих практически полный спектр силовых конденсаторов для различных условий и сфер применения – фильтрации гармоник, уменьшения энергопотерь, стабилизации напряжения, улучшения массогабаритных характеристик.

Один из целевых сегментов рынка конденсаторов Vishay – энергогенерирующие установки, «зеленые» технологии – ветряные электростанции и солнечные панели.

Кроме этого силовые конденсаторы Vishay находят свое применение в высоко-, средне- и низковольтных сетях транспортировки и распределения электроэнергии. Их эффективная работа позволяет снизить потери энергии на передачу и, как следствие, снизить выбросы CO_2 в атмосферу.

Еще одна область применения включает в себя RFI-фильтры, преобразователи напряжения в тяговых и промышленных двигателях.

Конденсаторы для печей индукционного нагрева

Основная функция силовых конденсаторов в печах индукционного нагрева – подстройка рабочих контуров. Сейчас помимо печей, работающих на токах промышленной частоты (как правило, это печи высокой мощности или печи старой конструкции), более популярными в применении (и более экономичными) становятся индукционные печи с полупроводниковыми преобразователями частоты (тиристорными или транзисторными). Реализуются два варианта исполнения стационарных мощных полупроводниковых преобразователей:

- Инвертор тока с параллельной батареей конденсаторов;
- Инвертор напряжения с последовательной батареей конденсаторов.

Конденсаторы Vishay для печей индукционного нагрева (рис. 1) отвечают требованиям стандартов EN 60110/1 (2) и IEC 60110/1.

Конденсаторы для сетей промышленной частоты (50/60 Гц) напряжений 230…3000 В мощностью до 800 кВар; для средней частоты – 150…100000 Гц, мощностью до 10000 кВар. Основные серии:

- **Phao –** 850…3000 В (50/60 Гц), однофазные с естественным охлаждением, -25…40°C;
- **Phao…/μF –** среднечастотные конденсаторы (~4000 Гц) с естественным охлаждением, -10…65°C;
- **Phawo…k –** 230…2500 В, частоты от 150 до 5000 Гц, водяное охлаждение (температура воды на выходе максимум 40°C), температурный диапазон 1…50°C (возможно подключение датчиков давления или температуры);
- **Phawo…kS –** 230…3000 В, частоты от 150 до 10000 Гц, с промежуточными выводами (до 8), водяное охлаждение (температура воды на выходе максимум 40°C), температурный диапазон 1…50°C (возможно подключение датчиков давления или температуры);
- **Phawo –** 500…1000 В, частоты от 10 до 100 кГц, с промежуточными выводами (6), водяное охлаждение (температура воды на выходе максимум 40°C), температурный диапазон 1…50°C;
- **Phawoz –** 230…2500 В, частоты от 1000 до 10000 Гц, с двойными выходами для повышения нагрузки, водяное охлаждение (температура воды на выходе максимум 40°C), температурный диапазон 1…50°C (возможно подключение датчика давления);
- **Phmkp –** 230…525 В (50/60 Гц), однофазные с естественным охлаждением, -25…40°C;
- **Phmkp…-DR/Phmkpg…-DR –** 200…1000 В (50/60 Гц), однофазные с естественным охлаждением, -25…40°C, самовосстанавливающиеся с аварийным отключением в случае избыточного давления или возникновения утечки.

Основные преимущества:

- Компактное исполнение;
- Адаптация под приложения заказчика;
- Возможность работы в экстремальных условиях;
- Легкость интеграции;
- Низкая индуктивность.

Конденсаторы для силовой электроники

Конденсаторы для источников питания, стабилизаторов, преобразователей напряжения или частоты работают в условиях больших коммутируемых токов, реактивных нагрузок, с напряже-



Рис. 1. **Конденсаторы для печей индукционного нагрева**



Рис. 2. **Конденсаторы для силовой электроники**

нием различной формы. Типичные области применения включают в себя:

- Преобразователи напряжения в локомотивах, электропоездах, городском электротранспорте, промышленных источниках питания;
- Источники питания постоянного тока;
- Промышленные источники питания;
- Системы тестирования высоковольтных линий;
- Импульсные разрядники.

Предлагаемые Vishay конденсаторы для силовой электроники (рис. 2) отвечают требованиям стандартов IE C 61071, IEC 61881, также возможна адаптация продукции под спецификации заказчика.

Ассортимент конденсаторов позволяет сделать оптимальный выбор практически для любого типа приложений с переменным напряжением вплоть до 24 кВ, для постоянного напряжения – до 125 кВ с уровнями концентрации энергии в конденсаторе до 15 кДж.

Серия DCMKP – низкоиндуктивные конденсаторы (<30 нГн), способные выдерживать импульсные токи до 600 А, устойчивые к ударным и вибрационным нагрузкам. Предназначены для фильтрации напряжения, развязки



Рис. 3. **Низковольтные конденсаторы для силовой электроники**

по постоянному току, накопления энергии в промышленных и тяговых двигателях. Номиналы 50…20000 мкФ, работа с напряжением 900…4250 В.

Серии EC, ET – высоковольтные конденсаторы, выполненные по технологии комбинированного диэлектрика (полиэстер, полипропилен, конденсаторная ткань) с масляным наполнением в герметичном корпусе. Могут применяться в системах с охлаждением воздухом, маслом, охлаждающей жидкостью типа SF6. Разработаны специально для систем фильтрации высоковольтного напряжения:

- Сглаживание пульсаций напряжения;
- Контуры индукционных печей;
- Источники питания радиопередатчиков;
- Источники питания рентгеновских аппаратов.

Диапазон номинальных значений 1 нФ…2 мкФ; (от 500 пФ до 2 мкФ для серии ET), диапазон напряжений 1000…100000 В.

EMKP – серия цилиндрических конденсаторов с малыми потерями на высоких частотах для применений:

- Во входных/выходных фильтрах переменного тока;
- В устройствах демпфирования и уменьшения переходных искажений;
- В системах коммутации нагрузки;
- Для гальванической развязки и фильтрации постоянного напряжения;
- Защита от перенапряжения.

Номиналы 0,1…470 мкФ для рабочих напряжений 400…2400 В.

Серия EPR – высоковольтные конденсаторы, выполненные по технологии комбинированного диэлектрика (полиэстер/полипропилен, конденсаторная ткань) с масляным наполнением в герметичном полипропиленовом корпусе с креплениями на болт M10, устойчивы к механическим ударам и вибрациям.

Основное целевое применение:

- Развязывающие конденсаторы;
- Высоковольтные разрядники;
- Импульсные источники;
- Радары, лазеры, источники рентгеновского излучения.

Номиналы 2 нФ…2 мкФ, диапазон возможных рабочих напряжений 1000…300000 В (постоянное напряжение).

Конденсаторы для фильтров постоянного тока серии ER сочетают хорошие электрические характеристики с компактными размерами, устойчивы к механическим ударам и вибрациям, обладают широким температурным диапазоном -55…85°C.

Ориентированы на применение:

- В аудиоаппаратуре;
- В импульсных источниках питания;
- В цепях генераторов;
- При фильтрации радиопомех;
- В настраиваемых фильтрах;
- При сглаживании пульсаций напряжения.

Номиналы 10 нФ…100 мкФ при напряжениях до 30 кВ.

GLI…A – серия конденсаторов с низкой индуктивностью и низкими потерями на высоких частотах ($4x10^{-4}$ на 2 кГц), предназначенная для конверторов напряжения и частоты, промышленных и тяговых двигателей, источников бесперебойного питания, медицинского оборудования. Номиналы 1 пФ…230 мкФ при напряжениях 700…2150 В.

HDKMP – конденсаторы для сетей постоянного тока с высоким уровнем среднеквадратичного тока до 150 А и пиковым током до 25 кА, обладают низкой индуктивностью и устойчивостью к механическим воздействиям. Основное целевое применение – фильтры питания в различных силовых установках (тяговые двигатели, ветровые турбины, источники бесперебойного питания).

Низковольтные конденсаторы для силовой электроники

Низковольтные (относительно, конечно – «всего» 230…1000 В) применения конденсаторов включают в себя, прежде всего, компенсацию перепадов напряжения и фильтрацию гармоник в системах, использующих токи промышленной частоты (50…60 Гц). Предназначены для работы с напряжениями диапазона 230…1000 В с уровнями энергий порядка 2,5…56,2 кВар для алюминиевых корпусов и до 500 кВар в стальном корпусе. Выпускаются в сериях для применения внутри помещений – **PhMKD** и для условий внешней среды – **PhMKDg** (рис. 3).

В качестве преимуществ можно указать низкий коэффициент потерь, компактные размеры, хорошее рассеяние излишнего тепла, длительное время наработки на отказ (свыше 150000 часов), соответствие стандартам EN 60831/1 и 2, EIC 60831/1 и 2.

Высоковольтные конденсаторы для силовой электроники

Основное назначение:

- Шунтирующие конденсаторы;
- Фильтрация гармоник;
- Последовательные конденсаторы;
- Конденсаторы для статической компенсации реактивной мощности;
- Конденсаторы для высоковольтных линий электропередач постоянного тока;
- Ограничители напряжения и фильтры.

Высоковольтные конденсаторы Vishay выпускаются вплоть до уровней напряжения 24 кВ и мощности до 900 кВар. Предлагаются также банки



Рис. 4. **Высоковольтные конденсаторы для силовой электроники**

конденсаторов, позволяющие оперировать напряжениями до 800 кВ.

Выпускаются в версиях с одной и двумя контактными втулками, предлагаются одно- и трехфазные конденсаторы (рис. 4).

Конструктивные решения позволяют объединять отдельные конденсаторы в банки и конденсаторные поля с защитой от дисбаланса фаз.

Конденсаторы для высоковольтных источников питания

Высоковольтные источники питания находят применение в системах формирования медицинских изображений, CRT-мониторах, электростатическом нанесении покрытий (автомобильная индустрия), электростатических фильтрах (промышленные помещения).

Высоковольтные конденсаторы Vishay соответствуют стандартам EN 50176, EN 50177, EN 50223, EN 50348. Диапазоны рабочих постоянных напряжений 1…100 кВ (рис. 5).

Конденсаторы являются компактным, гибким, надежным решением для высоковольтных источников питания широкого спектра назначений и областей промышленности. Предлагаются в виде высоковольтных систем серий **BG 1971-000-9000A, BG 1971-000-9700** и **BG 1972-6100-010, BG 1972-6123-01.**

BG 1971-000-9000A, BG 1971-000-9700 — компактные приборы с интегрированной платой управления для систем нанесения жидкой краски или напыления порошковых покрытий. Напряжение питания 30 В при токе потребления 1,5…5 А, выходное напряжение до 100 кВ, ток 250…500 мкА.



Рис. 5. **Конденсаторы для высоковольтных источников питания**

BG 1972-6100-010, BG 1972-6123-01 — компактные высоковольтные генераторы в цилиндрическом корпусе с напряжением питания 1…24 В и выходным напряжением до 100 кВ.

Заключение

В российских условиях наиболее интересны приложения, связанные с системами производства, преобразования и распределения электроэнергии, источники вторичного питания, электротранспорт (от локомотивов до городского транспорта и погрузчиков в торговых центрах), аппаратура для нанесения покрытий.

Вследствие разнообразия реализованных параметров, эффективных решений с низкими активными и реактивными потерями, а также благодаря конструктивным решениям конденсаторы Vishay являются перспективной элементной базой для применения в устройствах силовой электроники, как для новых разработок, так и для замены старых и вышедших из строя элементов. Несложно подсчитать, что переход на элементы с меньшими потерями в установках, где энергия измеряется киловаттами, даст ощутимый эффект даже при уменьшении потерь на единицы процентов.

Литература

1. Vishay — Vishay ESTA — Vishay Brands//*http://www.vishay.com/company/brands/esta/*
2. Power Capacitors//*www.vishay.com/docs/49631/49631_vmnpl0332-1104.pdf*
3. Vishay — Capacitors — Induction Heating//*http://www.vishay.com/capacitors/hcp-ind-heating/*
4. Vishay — Capacitors — Power Electronic//*http://www.vishay.com/capacitors/app-power-electronic/hcp-power-elec/*
5. Vishay — Capacitors — Low voltage AC//*http://www.vishay.com/capacitors/app-low-voltage-ac/hcp-low-volt-ac/*
6. Vishay — Capacitors — Pha… Power Capacitors — High Voltage Power Capacitors *http://www.vishay.com/capacitors/list/product-13045/*
7. Vishay — Capacitors — HV Power Supplies//*http://www.vishay.com/capacitors/app-hv-power-supplies/hcp-hv-power-supplies/*.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка –
e-mail: discret.vesti@compel.ru

Vishay Precision Group Inc. запустила в производство VHZ Hermetic (Z-Foil) — новую серию сверхпрецизионных резисторов в герметичном корпусе

Предлагаемые изделия имеют следующие области применения: первичное и вторичное выпрямление, обратная связь в операционных усилителях, прецизионные делители напряжения, шунты измерительных приборов.

Технические характеристики:

- Величина ТКС ±0,2 ppm/°C (-55...125°C)
- Уход номинала после 10000 часов работы (0,15 Вт; 70°C) не более 0,005%
- Номиналы 5 Ом...121 кОм
- Заказ нестандартного номинала (1К2345) не влияет на стоимость изготовления
- Устойчивость к электростатическому напряжению 25 кВ
- Рассеиваемая мощность 0,6 Вт при 70°C; 0,3 Вт при 125°C
- Наводимая термоЭДС 0,1 мкВ/°C
- Безындуктивный и безъемкостной корпус
- Уровень токовых шумов менее -40 дБ
- Уход номинала под воздействием напряжения менее 0,1 ppm/В
- Стабилизация номинала в течение 1 с после шокового температурного воздействия (уход номинала 10 ppm)
- Паразитная индуктивность менее 0,08 мкГн.

Компания Vishay Intertechnology Inc. запустила в производство новые серии низкопрофильных индуктивностей в форм-факторе 1212 серии IHLP

Предлагаемые изделия имеют максимальную рабочую частоту 1 МГц, диапазон рабочих температур -55...125°C.

Области применения: DC/DC-преобразователи, распределенные системы питания, питание FPGA в электронных устройствах.

IHLP-1212AB-11:

- Номиналы 0,22...0,56 мкГн
- Диапазон токов насыщения 6,7...9,3 А
- Сопротивление по постоянному току 9,5...18,7 мОм

IHLP-1212AE-11:

- Номиналы 0,22...1 мкГн
- Диапазон токов насыщения 5,3...9 А
- Сопротивление по постоянному току 9,5...29,5 мОм

Владимир Савишкин (КОМПЭЛ)

КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ IHLP: ФИЛЬТРАЦИЯ ПОМЕХ И ЭНЕРГИЯ ДЛЯ ВЧ DC/DC



Благодаря таким преимуществам ***катушек индуктивности*** *серии* ***IHLP*** *от* ***Vishay,*** *как низкое активное сопротивление и способность работать с большими токами, они являются отличным выбором для использования в* ***DC/DC-преобразователях*** *и* ***ЭМП-фильтрах.***

Статья написана на основе оригинального материала компании Vishay.

Производители стараются уменьшить размер, увеличить частоту переключений и мощность DC/DC-преобразователей. Сложные условия работы (в особенности это касается автомобильной электроники) и весьма строгий контроль качества бросают серьезный вызов разработчикам устройств.

Современные требования подразумевают все большее использование электроники при уменьшении пригодного для ее размещения пространства. Именно для таких случаев и разработаны малоразмерные, предназначенные для поверхностного монтажа, полностью защищенные катушки индуктивности серии **IHLP** производства компании Vishay. Эта серия была создана для решения двух основных задач – фильтрации электромагнитных помех в сетях большой мощности и накопления энергии для высокочастотных DC/DC-преобразователей.

Для соответствия заданным в современных компьютерах типоразмерам разработчикам необходимы высоковольтные катушки индуктивности, минимальные по размерам и полностью защищенные. Катушки серии IHLP от Vishay отвечают этим требованиям. На рынке автомобильной электроники они широко используются с 2002 года.

Устройство IHLP

Катушка IHLP собрана из медной обмотки и выводной рамки, соединенных методом ультразвуковой сварки (рис. 1). Окончательную форму катушке придает опрессованный корпус из эпоксидного наполнителя с металлическим порошком.

Медная обмотка внутри катушки, покрытая лаком и изоляцией, выдерживает рабочую температуру до 200°C.

Использованные порошковые материалы позволяют катушке стабильно работать на высоких нагрузках при температуре до 125°C. Данная температура определяется как температура саморазогрева катушки плюс температура окружающей среды. В настоящее время катушки серии IHLP могут стабильно работать при температуре до 125°C и соответствуют стандарту AEC-Q200. Они могут эксплуатироваться и при большей температуре, впрочем, в данном случае необходимо принимать во внимание эффект теплового старения (см. ниже). В настоящее время Vishay разрабатывает материал, способный выдерживать рабочую температуру в 155°C без эффекта старения.

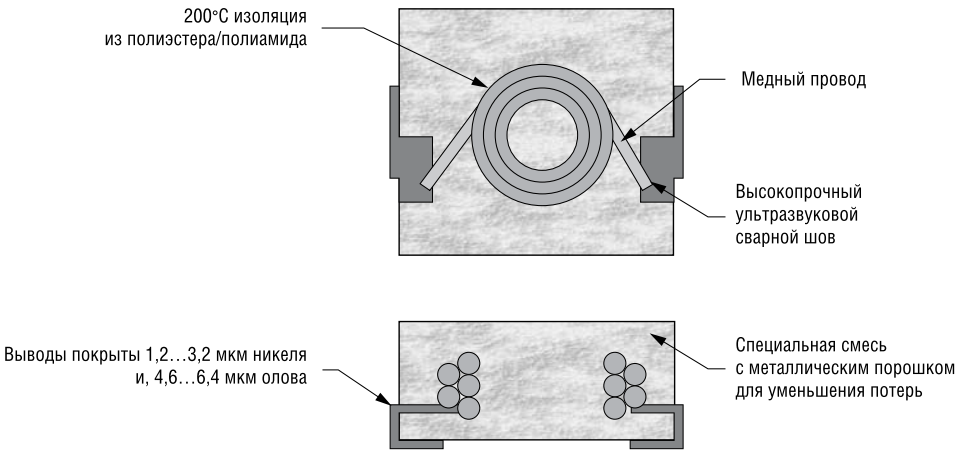


Рис. 1. **Устройство катушки IHLP**

Фильтрация электромагнитных помех (ЭМП)

ЭМП-фильтр предназначен для уменьшения воздействия электромагнитных помех, создаваемых силовыми цепями. Этот элемент особенно важен в автомобилях, так как электромагнитное излучение (ЭМИ) может негативно сказаться на работе многих схем. Для разработчиков ЭМП-фильтров важны такие характеристики, как потеря мощности сигнала, падение напряжения, вносимые потери и количество необходимых каскадов. Преимуществом ILHP является низкое для таких размеров активное сопротивление, так как все проблемы, связанные с фильтрацией ЭМП, в той или иной форме зависят именно от него. При применении многокаскадных фильтров снижение падения напряжения в каскадах будет складываться.

Ключевыми требованиями в автомобильной электронике являются избавление от (или существенное снижение) ЭМП, ЭМИ и их негативного влияния на электрические цепи без заметных потерь напряжения. Провода, по которым передается ток между электронными узлами управления, имеют достаточную длину, так что вопрос падения напряжения встает достаточно остро. ЭМП-фильтр и кабель с суммарным сопротивлением 200 мОм при токе в 10 А дадут падение напряжения в 2 В.

DC/DC-преобразователи

Основное применение катушки индуктивности, выполненные по технологии IHLP, находят в неизолированных

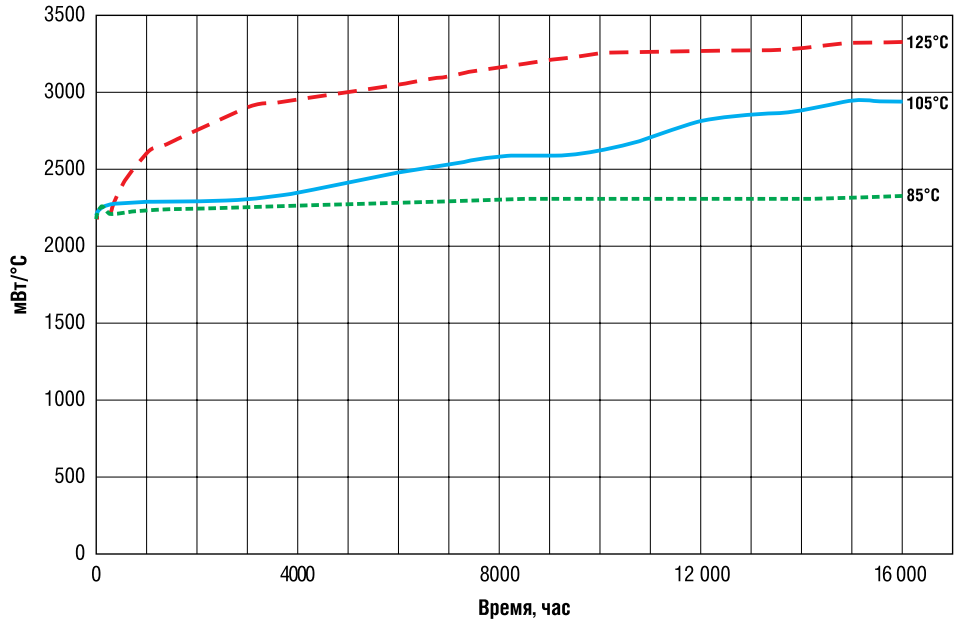


Рис. 2. **График зависимости потерь в сердечнике от часов работы при различных рабочих температурах**

DC/DC-преобразователях. Для современных и перспективных источников питания двумя определяющими факторами являются максимальное значение напряжения питания и минимальный размер. Для достижения поставленных целей разработчики должны повышать рабочую частоту, что позволит использовать компоненты меньшего размера, однако обратной стороной медали является увеличение потерь.

DC/DC-преобразователи также должны работать при постоянно увеличивающейся температуре окружающей среды. При таких условиях повышается собственная температура катушки индуктивности, дополнительно разогреваемой ввиду тепловых потерь на ней. Известно, что признаком теплового старения катушек с металлическим порошком при повышении рабочих температур является эффект потерь в сердечнике. Эти потери должны быть приняты во внимание во время проектирования схем с использованием композитных катушек для рабочих температур, превышающих 125°C. Эффект теплового старения может быть минимизирован простым ограничением верхней планки рабочих температур до 125°C. Это не означает, что катушки перестанут работать при большей температуре, однако в этом случаи разработчикам придется более тщательно подходить к созданию схем.

Тепловое старение

По результатам исследований Vishay тепловое старение, выраженное в форме потерь в сердечнике, возникает при температурах свыше 125°C и определяется как функция времени и температуры. Чем сильнее температура превышает 125°C, тем быстрее потери в сердечнике достигают определенного уровня. Эффект старения обусловлен тем, что изоляция между металлическими частицами начинает проводить ток. Исследования показали, что катушка без корпуса и изоляции имеет примерно такое же сопротивление, как и катушка с композитным корпусом, подверженная тепловому старению. Продукция IHLP демонстрирует плато величины потерь в сердечнике (рис. 2) между 2500 и 9000 часами работы при повышенных температурах. Чем больше рабочая температура, тем быстрее достигается это плато.

Подтверждено, что изолирующий слой между частицами металла при повышении температуры вступает в реакцию с кислородом, снижая свое сопротивление, что в результате приводит к повышению индукционных токов и неоправданно высоким потерям в сердечнике.

После того как все покрытие вступило в реакцию, темпы увеличения проводимости снижаются, что приводит к появлению плато на кривой старения, как показано на рис. 2.

На рисунке 3 показан тепловой пробой, в случаи возникновения которого потери в сердечнике окажут самое серьезное влияние на всю схему целиком. Vishay рекомендует следить за тем, чтобы величина потерь в сердечнике не превышала приблизительно трети от общих потерь, а также чтобы сумма температуры окружающей среды и температуры катушки, повышающаяся из-за них, не превышала 125°C. Если необходимо, чтобы катушка работала при больших температурах, значение потерь в сердечнике должно быть в пределах одной шестой от общих потерь для уменьшения эффекта теплового старения. Vishay предполагает, что общее повышение температуры катушки, связанное со всеми факторами (потери в сердечнике, тепловые потери, наведенные потери, поверхностный эффект), составит 40°C или менее вне зависимости от температуры окружающей среды. Если потери в сердечнике составляют лишь малую часть от общих потерь в катушке, повышение первых в связи с тепловым старением незначительно скажется на окончательной температуре катушки. Для определения потерь в сердечнике вы можете воспользоваться документом Vishay №34250, Selecting IHLP Composite Inductors for Non-Isolated Converters Utilizing Vishay's Application Sheet.

Как отмечалось ранее, тепловой пробой случится при следующих условиях: если потери в сердечнике превосходят все остальные, и если импеданс катушки является ограничителем тока через

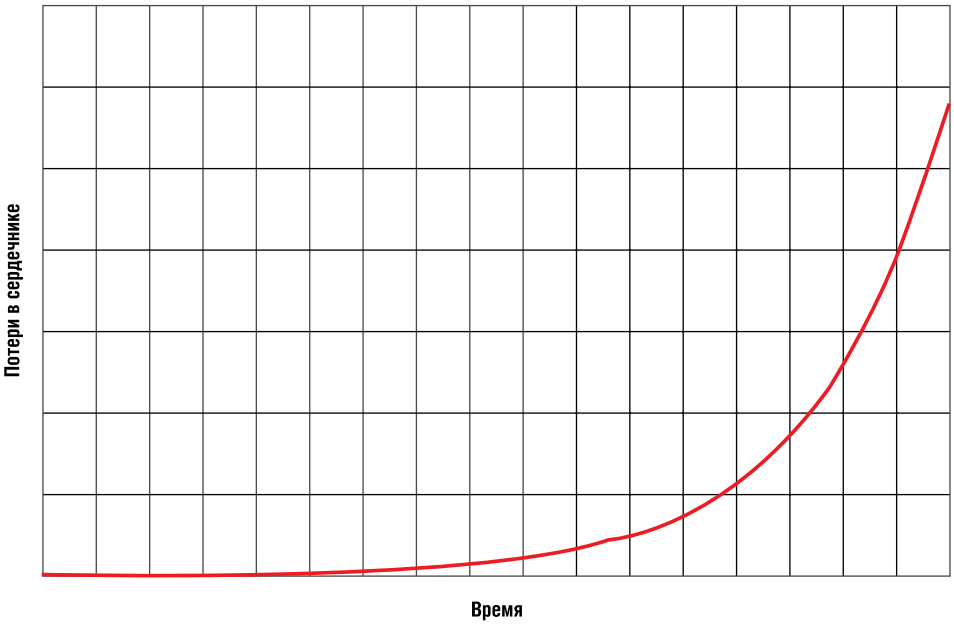


Рис. 3. **График зависимости потерь в сердечнике от времени**

Таблица 1. **Рекомендованные соотношения размеров внешних дорожек и их проводимости на основе повышения температуры**

Повышение температуры	30°C			40°C			50°C			60°C			70°C		
Толщина дорожки, мм	0,0175	0,035	0,07	0,0175	0,035	0,07	0,0175	0,035	0,07	0,0175	0,035	0,07	0,0175	0,035	0,07
Ширина дорожки, мм	Максимальный ток, А														
0,250	0,6	0,8	1,2	0,7	0,9	1,4	0,7	1,0	1,5	0,8	1,1	1,6	0,8	1,2	1,8
0,500	1,0	1,4	2,1	1,0	1,6	2,4	1,3	1,8	2,6	1,4	2,0	2,8	1,5	2,1	3,0
0,750	1,4	2,0	2,9	1,6	2,3	3,3	1,7	2,5	3,6	1,9	2,7	3,9	2,0	2,9	4,2
1,000	1,7	2,5	3,6	2,0	2,8	4,1	2,2	3,1	4,5	2,4	3,4	4,9	2,5	3,6	5,3
1,250	2,1	3,0	4,3	2,3	3,0	4,9	2,6	3,7	5,4	2,8	4,1	5,9	3,0	4,4	6,3
1,500	2,4	3,4	5,0	2,7	3,9	5,6	3,0	4,3	6,2	3,2	4,7	6,8	3,5	5,0	7,3
1,750	2,7	3,9	5,6	3,1	4,4	6,4	3,4	4,9	7,0	3,7	5,3	7,6	3,9	5,7	8,2
2,000	3,0	4,3	6,2	3,0	4,9	7,1	3,8	5,4	7,8	4,1	5,9	8,5	4,4	6,3	9,1
2,250	3,3	4,7	6,8	3,7	5,4	7,8	4,1	6,0	8,6	4,5	6,5	9,3	4,8	6,9	10,0
2,500	3,6	5,1	7,4	4,1	5,9	8,4	4,5	6,5	9,3	4,9	7,0	10,1	5,2	7,5	10,9
2,750	3,8	5,5	8,0	4,4	6,3	9,1	4,8	7,0	10,1	5,2	7,6	10,9	5,6	8,1	11,7
3,000	4,1	5,9	8,6	4,7	6,8	9,8	5,2	7,5	10,8	5,6	8,1	11,7	6,0	8,7	12,5
3,250	4,4	6,3	9,1	5,0	7,2	10,4	5,5	8,0	11,5	6,0	8,6	12,5	6,4	9,3	13,4
3,500	4,6	6,7	9,7	5,3	7,6	11,0	5,8	8,4	12,2	6,3	9,2	13,2	6,8	9,8	14,2
3,750	4,9	7,2	10,2	5,6	8,1	11,6	6,2	8,9	12,9	6,7	9,7	14,0	7,2	10,4	15,0
4,000	5,2	7,5	10,8	5,9	8,5	12,2	6,5	9,4	13,5	7,0	10,2	14,7	7,6	10,9	15,8
4,250	5,4	7,8	11,3	6,2	8,9	12,8	6,8	9,8	14,2	7,4	10,7	15,4	7,9	11,4	16,5
4,500	5,7	8,2	11,8	6,4	9,3	13,4	78,2	10,3	14,9	7,7	11,2	16,1	8,3	12,0	17,3
4,750	5,9	8,5	12,3	6,7	4,1	14,0	7,4	10,7	15,5	8,5	11,7	16,8	8,7	12,5	18,0
5,000	6,2	8,9	12,8	7,0	10,1	14,6	7,7	11,2	16,1	8,4	12,1	15,5	9,0	13,0	18,8

Примечание: Для внутренних дорожек величина тока уменьшается на 50%

нее. При увеличении потерь в сердечнике эффективная индуктивность и энергия магнитного поля катушки (1/2LI2) уменьшаются. Вероятность возникновения теплового пробоя повышается, если ширина импульса преобразователя увеличивается, чтобы компенсировать возросшую нагрузку. Это приводит к увеличению тока через катушку. Чем больше ток, тем выше температура, и так до тех пор, пока не произойдет тепловой пробой.

Тем не менее, если в схеме предусмотрено ограничение тока переключающим транзистором, регулятор отключится, и тепловой пробой не произойдет. Энергия магнитного поля на катушке будет невелика в связи с эффектом теплового старения, но перегрева не произойдет, если величина тока будет ограничена. Помимо этого, потери в материале, содержащем металлический порошок, не могут увеличиваться по экспоненте бесконечно, как предполагает график. Рост потерь остановится в тот момент, когда магнитные характеристики материала уже не будут зависеть от температуры.

К вопросу о печатных платах

В 1956 году Национальное бюро стандартов предприняло попытку определить токопроводящую способность дорожек печатных плат (PCB). Попытка окончилась неудачей в связи с неспособностью точно рассчитать изменение температуры этих дорожек. Далее последовали документ MILSTD-275 1973 года и измененный в 1999 году IPC-2221, они также окончательно не определили стандарт дорожек печатных плат. В этих документах определяется токопроводимость дорожек, тогда как случаи поверхностного монтажа элементов, использующих дорожки в качестве радиаторов, не рассматриваются.

Чтобы соответствовать требованиям современного рынка, разработчики постоянно должны создавать все более дешевые и меньшие по размерам мощные источники питания. Для достижения этой цели конструкторы зачастую уменьшают толщину и/или ширину дорожек печатных плат. В результате это оканчивается перегревом и снижением эффективности, а навесные элементы, в данном случае катушки индуктивности, использующие дорожки в качестве радиаторов, вносят свой вклад в общие потери.

Каждый производитель силовых катушек индуктивности предоставляет рассчитанную заранее величину тока для каждой катушки. Эти расчеты обычно основываются на увеличении температуры или достижении режима насыщения. Во многих случаях увеличение температуры является главным фактором для расчетов величины силы тока. Чаще всего расчетный ток — это величина постоянного тока, приводящая к увеличению температуры катушки на 40°C из-за активного сопротивления катушки и сопротивления материала обмотки. Эта расчетная величина не принимает во внимание нагрев из-за потерь в сердечнике, что является темой для отдельного разговора.

Тем не менее при использовании величины расчетного тока подразумевается, что выводы деталей и дорожки печатных плат способны выдержать проводимый ток и рассеять тепло, выделяемое обмоткой. Многие разработчики не принимают во внимание тот факт, что количества меди в обмотке, призванной справляться с достаточно большими токами в катушке, достаточно, чтобы повышением своей температуры вывести катушку в тепловой режим, не предусмотренный документацией производителя. Несмотря на то, что количество факторов, определяющих способность дорожек печатных плат проводить тепло, достаточно велико, были сформулированы основные требования к размерам дорожек, предназначенных для проведения больших токов.

Таблица 1 сводит воедино рекомендуемые максимальные токи для дорожек указанных размеров. Расчеты были выполнены по формуле:

$I = 3{,}188 \times \Delta T^{0{,}45} \times W^{0{,}79} \times Th^{0{,}53}$,

где повышение температуры измеряется в 40°C; ширина и толщина дорожек в мм; 3,188 — константа, взятая из общей термодинамической модели и переведенная в единицы СИ. При выполнении этих рекомендаций разработчик может рассчитывать на температуры, близкие к описанным в документации по продукции IHLP.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка –
e-mail: discret.vesti@compel.ru