

Перспективные разработки АО «НИИ «Гириконд» в области пассивных электронных компонентов

Борис БЕЛЕНЬКИЙ,
к. т. н.
a3@giricond.ru

Образованное в 1939 году, АО «НИИ «Гириконд» является одним из ведущих отечественных разработчиков, а в последние десятилетия и изготовителей широкой номенклатуры пассивных электронных компонентов: конденсаторов и нелинейных полупроводниковых резисторов для радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) двойного назначения.

Наиболее массовыми среди емкостных элементов в РЭА, как известно, являются керамические конденсаторы, на чью долю в штучном выражении приходится свыше 90%. На базе керамических конденсаторов разрабатываются и выпускаются керамические помехоподавляющие фильтры, потребность в которых в последние годы возрастает в связи с актуализацией проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) узлов и блоков РЭА. В области конденсаторов с оксидным диэлектриком НИИ «Гириконд» специализируется на наиболее перспективных в современной РЭА танталовых оксидно-электролитических и оксидно-полупроводниковых конденсаторах, из них наибольшее распространение получили танталовые чип-конденсаторы для монтажа на поверхность печатных плат. Конденсаторы с органическим диэлектриком, современная номенклатура которых в соответствии с требованиями сферы применения базируется обычно на двух видах полимерных пленок — полиэтилентерефталатной (ПЭТ) и полипропиленовой (ПП), — также представляют собой традиционное для НИИ «Гириконд» направление научно-технической и производственной де-

ятельности. Следует отметить, что первые отечественные конденсаторы с двойным электрическим слоем были разработаны в НИИ «Гириконд» еще в 70-е годы прошлого столетия и получили запатентованное торговое наименование «ионисторы», закрепленное за НИИ «Гириконд» и широко используемое в отечественной практике.

В основе разрабатываемых и выпускаемых АО «НИИ «Гириконд» нелинейных резисторов лежит технология высокотемпературного твердофазного синтеза функциональной полупроводниковой керамики, обеспечивающей возможность реализации современной номенклатуры терморезисторов с отрицательным и положительным температурным коэффициентом и варисторов, обладающих резко нелинейной вольт-амперной характеристикой. Нелинейные резисторы не являются столь массовыми компонентами РЭА, как линейные резисторы, однако они все шире используются в современной аппаратуре для защиты ее узлов и блоков от токовых перегрузок и различного рода перенапряжений.

Описанные виды изделий существенно различаются между собой в части материало-ведческих и технологических проблем, однако направления их развития определяются

одними и теми же тенденциями развития РЭА и едиными, соответствующими этим тенденциям техническими требованиями, представленными в таблице 1.

Миниатюризация РЭА, снижение массы и уменьшение габаритов ее блоков являются на всех этапах развития радиоэлектроники постоянно действующей и доминирующей тенденцией, предусматривающей улучшение массогабаритных характеристик компонентов. Именно это требование становится определяющим при оценке конкурентоспособности тех или иных типов изделий по их техническому и технологическому уровню.

Интенсивное развитие твердотельной электроники, совершенствование микроэлектронных технологий и все более широкое использование нанотехнологий определили, как известно, качественное снижение рабочих напряжений основной массы функциональных блоков радиоэлектронной и электронной аппаратуры. Переход от характерных для вакуумной электроники напряжений порядка сотен вольт к напряжениям в десятки и единицы вольт уже вызвал в свое время качественные изменения в номенклатуре конденсаторов. Практически прекратилось применение слюдяных конденсаторов, значительно сократилась номенклатура конденсаторов с органическим диэлектриком на основе ряда специальных синтетических пленок, вышли из применения однослойные керамические конденсаторы и т.п. Прогнозируемое и уже реализуемое дальнейшее снижение рабочих напряжений функциональных блоков аппаратуры до малых единиц и десятых долей вольта приведет, очевидно, к тому, что все большая доля емкостных элементов в перспективной аппаратуре будет приходиться на конденсаторы, снижение номинальных напряжений которых позволит технологически обеспечить дальнейшее улучшение массогабаритных характеристик.

Таблица 1. Зависимость требований к характеристикам конденсаторов и нелинейных резисторов от развития РЭА

Тенденции развития радиоэлектронной аппаратуры	Требования и направления развития конденсаторов и нелинейных резисторов
Миниатюризация функциональных блоков РЭА и повышение плотности монтажа	Улучшение массогабаритных характеристик и миниатюризация компонентов.
Снижение рабочих напряжений наиболее массовых функциональных узлов и блоков РЭА	Качественные изменения в номенклатуре конденсаторов. Снижение уровня номинальных напряжений с соответствующим уменьшением массы и габаритов конденсаторов. Сокращение классификационных напряжений варисторов.
Расширение диапазона рабочих частот, в частности повышение рабочих частот преобразователей различного назначения	Повышение частотной стабильности параметров и рабочих характеристик конденсаторов.
Повышение рабочих токов в мощных блоках на основе твердотельных активных компонентов	Снижение эквивалентного последовательного сопротивления (ЭПС) конденсаторов, повышение токонесущей способности контактных узлов и других элементов конструкции конденсаторов, снижение номинальных сопротивлений терморезисторов при сохранении высокого уровня нелинейности.
Широкое использование в производстве РЭА поверхностного, в том числе автоматизированного монтажа	Разработка и производство компонентов в чип-исполнении, в том числе миниатюрных (с размерами в плане до 1×0,5 мм), пригодных для групповой пайки. Поставка компонентов в блистер-упаковке.
Появление новых сфер применения с новыми условиями и режимами эксплуатации	Разработка компонентов с качественно новым комплексом характеристик.

Таблица 2. Разработанные АО «НИИ «Гириконд» многослойные керамические чип-конденсаторы

Чип-конденсаторы	Группы температурной стабильности емкости	U _{ном} , В	C _{ном} , мкФ	Размеры в плане, мм
K10-82	H20, H90	50–630	0,001–22	4,5×3,2; 12×10
K10-83	МПО, H30	16–500	1 пФ – 4,7 мкФ	1,6×0,8...5,7×5

В последние годы расширение диапазона рабочих частот в сторону увеличения наиболее характерно для преобразовательных блоков источников и систем вторичного электропитания, где наряду с другими конденсаторами широко распространены танталовые чип-конденсаторы. Именно для этих изделий в первую очередь характерна проблема улучшения частотной стабильности параметров, поскольку емкость таких конденсаторов в существующем базовом решении заметно (в несколько раз!) снижается при повышении рабочей частоты напряжения до характерных для последних лет порядков сотен килогерц и единиц мегагерц.

Снижение рабочих напряжений основной массы функциональных блоков определяет то обстоятельство, что ряд электрических цепей аппаратуры, прежде всего силовые цепи оконечных исполнительных блоков РЭА, становятся менее «потенциальными» и, соответственно, более «токовыми». В ряде случаев данное обстоятельство объективно определяет повышенные требования к эффективным и амплитудным значениям рабочих токов конденсаторов и, как следствие, к ограничению ЭПС конденсаторов.

Все более широко используемая в последние десятилетия технология поверхностного, в том числе автоматизированного монтажа в производстве РЭА привела к повышению доли чип-конденсаторов в общем объеме емкостных элементов и определила не только необходимость появления нелинейных резисторов в чип-исполнении, но и повышенные требования к теплостойкости изделий при групповых методах их пайки путем оплавления паяльных паст.

Вполне естественно, что в ряде случаев существующие базовые конструктивно-технологические решения уже не обеспечивают новые сочетания технических параметров и эксплуатационных свойств конденсаторов, характерных для новых видов перспективной РЭА. В этих случаях необходимы изыскания и реализация новых базовых конструктивных решений и технологий, предусматривающих дальнейшее качественное развитие таких изделий.

Обратимся к опыту АО «НИИ «Гириконд». Решение важнейшей задачи по улучшению массогабаритных характеристик самых массовых компонентов — многослойных керамических конденсаторов, в том числе за счет снижения номинальных напряжений и уменьшения толщины диэлектрика, — потребовало совершенствования рецептуры и технологии

Таблица 3. Характеристики наиболее востребованных групп TCE

Группа TCE	U _{ном} , В	Габаритные размеры в плане (L×B), мм								
		1,6×0,8	2×1,25	3,2×1,6	3,2×2,5	4,5×3,2	5,7×5	8×6	10×8	12×10
H20, H30	16/10	0,01* 0,018***	0,033* 0,12***	0,15* 0,39***	0,22* 1,2***	0,68* 1,8***	1,5* 3,9***			
	25	0,0047* 0,01***	0,022* 0,10***	0,1* 0,33***	0,15* 1***	0,33* 1,5***	0,68* 4,7***			
	50	0,0022* 0,0068***	0,015* 0,039***	0,047* 0,22***	0,1* 0,56***	0,22* 1***	0,47* 1,5***	0,68* 3,3**	1* 4,7**	2,2* 10**
	100				0,033* 0,15***	0,068* 0,39***	0,15* 1***	0,22* 2,2***	0,33* 2,2**	0,47* 3,3**
	250				0,015* 0,039***	0,033* 0,15***	0,068* 0,47***	0,1* 1***	0,22* 0,68**	0,33* 1**
	500				0,0033* 0,0082***	0,0068* 0,027***	0,022* 0,1***	0,033* 0,22***	0,047* 0,15**	0,068* 0,22**
	630					0,01**	0,022**	0,047**	0,068**	0,1**

Примечание. Конденсаторы: * K10-79; ** K10-82; *** K10-83

используемых керамических материалов. В результате проведения ряда материаловедческих исследований созданы перспективные материалы наиболее востребованных групп температурной стабильности с практически предельными для каждой из них повышенными значениями диэлектрической проницаемости. Относительно низкая температура спекания обеспечивает использование в составе электродов пониженного содержания палладия, а оптимизация дисперсности материалов открывает возможность литья тонких керамических пленок, позволяющих реализовать в самых низковольтных конденсаторах толщину диэлектрика менее 10 мкм. Введенное в эксплуатацию в 2015 году технологическое оборудование фирмы КЕКО (Словения) способствовало не только качественному сокращению сроков выполнения производственных заказов, но и дальнейшему совершенствованию технологии изготовления конденсаторов в направлении улучшения их массогабаритных характеристик. В результате проведенных в последние годы ОКР разработаны и освоены в производстве АО «НИИ «Гириконд» новые многослойные керамические чип-конденсаторы (табл. 2).

По сравнению с ранее разработанными и серийно выпускаемыми отечественными конденсаторами K10-47, K10-67, K10-69 и K10-79 данные изделия имеют существенно улучшенные массогабаритные характеристики, позволяющие успешно использовать их для импортозамещения в проектируемой и модернизируемой РЭА.

Для сравнения в таблице 3 приведены максимальные значения емкостей, реализуемые в отдельных типоразмерах конденсаторов K10-82, K10-83 и разработанных в 2005 году конденсаторов K10-79 наиболее востребованных групп температурной стабильности емкости (TCE) H20 и H30 — аналогов группы X7R-конденсаторов иностранного производства.

Кроме того, конденсаторы K10-82 и K10-83 имеют увеличенную до +125 °С максимальную рабочую температуру, в то время как у K10-79 она составляет всего +85 °С.

Для обеспечения дальнейшего развития низковольтных многослойных керамических конденсаторов в АО «НИИ «Гириконд» продолжается совершенствование технологии их изготовления, в результате чего в ближайшие годы планируется разработка и освоение в производстве миниатюрных чип-конденсаторов с размерами в плане 1×0,5 мм, а также низковольтных (U_{ном} = 6,3–10 В) конденсаторов с повышенной удельной емкостью за счет снижения толщины диэлектрика менее 10 мкм.

В настоящее время АО «НИИ «Гириконд» является единственным отечественным предприятием, выпускающим низковольтные и высоковольтные многослойные керамические конденсаторы с высокой реактивной мощностью (табл. 4).

Таблица 4. Низковольтные и высоковольтные многослойные керамические конденсаторы АО «НИИ «Гириконд»

	Группы температурной стабильности емкости	U _{ном}	C _{ном} , пФ	Допускаемый реактивный ток, А
K10-80	МПО	100–630 В	0,47–5100	5–9
K15-37	МПО	1,6; 2,5; 4 кВ	1–1800	9–12

Указанные конденсаторы предназначены для использования в перспективной мощной радио- и телевизионной аппаратуре двойного назначения. В целях формирования функционально полной номенклатуры подобных изделий для обеспечения замены применяемых до последнего времени конденсаторов фирмы АТС (США) планируется разработка широкой унифицированной серии высоковольтных конденсаторов с диапазоном номинальных напряжений 1–7,2 кВ и допускаемым реактивным током до 17 А.

В результате проведения целого ряда НИОКР за последние годы существенно расширена номенклатура изготавливаемых АО «НИИ «Гириконд» помехоподавляющих фильтров нижних частот, основным функциональным элементом которых является керамический конденсатор. Емкостные

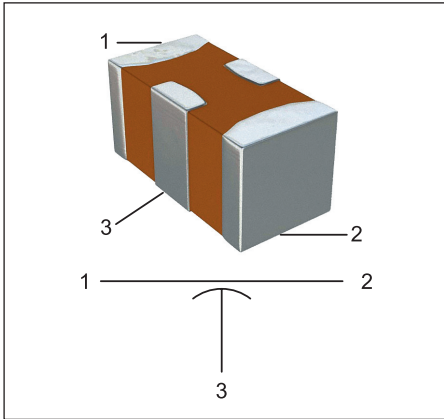


Рис. 1. Чип-фильтр Б33

и индуктивно-емкостные фильтры с различными вариантами схем соединения емкостных и индуктивных элементов представлены в уже известных и применяемых потребителями сериях Б24, Б25, Б26.

Кроме того, в производстве освоен помехоподавляющий шайбовый конденсатор К10-81, используемый в качестве емкостного элемента фильтров Б25 и Б26 или как самостоятельное изделие. Однако в свете современных требований по импортозамещению ЭКБ приведенная номенклатура помехоподавляющих изделий уже не обладает функциональной полнотой в части малогабаритных и миниатюрных фильтров. В порядке подготовки к формированию функционально полной номенклатуры помехоподавляющих фильтров категории качества ВП на предприятии «Гириконд» разработаны и освоены в производстве с приемкой ОТК фильтры Б27 и Б30, а также опорные помехоподавляющие керамические конденсаторы К10-85 (табл. 5).

Одним из важных реализуемых АО «НИИ «Гириконд» решений в области помехоподавляющих фильтров является разработка и выпуск отсутствующих в отечественной номенклатуре миниатюрных чип-фильтров для монтажа на поверхность печатных плат. В частности, в качестве первого шага по формированию отечественной номенклатуры таких изделий в 2017 году планируется завершение ОКР с одновременным освоением с приемкой ОТК чип-фильтров Б33 (табл. 5, рис. 1).

Отечественная номенклатура серийно выпускаемых танталовых конденсаторов организована на едином базовом конструктивно-технологическом решении, основой которого является объемно-пористое тело анода, формируемое прессованием из специальных танталовых порошков с различной дисперсностью и, соответственно, различным удельным зарядом. При этом в последние десятилетия улучшение массогабаритных характеристик танталовых конденсаторов проводилось с применением танталовых порошков со все более высоким удельным зарядом. Достижимое при этом повышение

Таблица 5. Характеристики изделий, разработанных и освоенных в производстве с приемкой ОТК

Изделие	Группа ТСЕ	$U_{\text{ном}}^{\text{В}}$	$C_{\text{ном}}$	Диапазон частот помехоподавления, МГц	Вносимое затухание, дБ	Номинальный проходной ток, А	Интервал рабочих температур, °С	Конструкция
Б27	МПО Н20 Н50	50	100 пФ – 0,15 мкФ	0,01–10 000	до 70	10	–60...+125	Проходной фильтр С-типа, диаметр металлического корпуса 4 мм, длина 4,5 мм, монтаж пайкой за проволочные выводы.
Б30		100 160 250	100 пФ – 0,33 мкФ		до 80			Проходной фильтр С-типа и R1-типа, металлический корпус с резьбой, соответственно, М3 и М5, монтаж пайкой за проволочные выводы.
К10-85		250 500 750 1000	4,7 пФ – 0,33 мкФ		–			Опорный помехоподавляющий керамический конденсатор в металлическом корпусе с резьбой М4, монтаж пайкой за проволочный вывод.
Б33		16 25 50 100 250	22 пФ – 1,5 мкФ		до 60	до 6	Чип-фильтр для монтажа на поверхность печатных плат. Проходной фильтр С-типа, размеры в плане 1,6×0,8; 2×1,25; 3,2×1,25; 3,2×1,6; 4,5×1,6; 5,7×5 мм, монтаж пайкой за контактные площадки.	

удельного заряда конденсаторов, оцениваемого по емкости, измеряемой на низких частотах, давало все меньший реальный эффект при использовании конденсаторов при возрастающих частотах переменной составляющей напряжения. Дело в том, что в соответствии с физическими свойствами конденсаторной структуры на объемно-пористом теле, при переходе от частот порядков десятков — сотен герц к частотам порядков сотен килогерц — единиц мегагерц, эффективная емкость конденсаторов снижается до нескольких раз. Данное обстоятельство практически сводит на нет конечный эффект от применения высокозарядных порошков, тем более что степень снижения емкости при повышении частоты увеличивается по мере возрастания удельного заряда мелкодисперсных порошков. Другой потребительский недостаток подобных конденсаторов — заметное повышение (и так достаточно высокого) эквивалентного последовательного сопротивления в области отрицательных температур, что особенно ярко проявляется в оксидно-электролитических конденсаторах из-за снижения проводимости электролита.

По мнению специалистов НИИ «Гириконд», возможности существующих до последнего времени базовых конструктивно-технологических решений, как оксидно-полупроводниковых, так и оксидно-электролитических конденсаторов, в плане реализации указанных перспективных требований практически исчерпаны. Представляется, что дальнейший прогресс в области танталовых конденсаторов в соответствии с тенденциями развития РЭА может быть обеспечен при качественном переходе в конструкции этих изделий от объемно-пористого анода к плоско-пористому аноду, формируемому на основе современных, в том числе и микроэлектронных технологий. Проводимая АО «НИИ «Гириконд» разработка такой технологии применительно, прежде всего, к танталовым оксидно-полупроводниковым конденсаторам позволит в ближайшей перспективе предложить потребителям отвечающие современным требованиям танталовые чип-

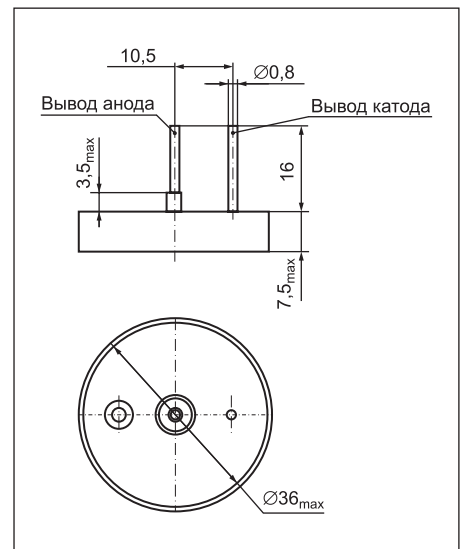


Рис. 2. Конденсатор К52-23

конденсаторы нового поколения, в частности микроминиатюрные конденсаторы для замещения аналогов импортного производства.

АО «НИИ «Гириконд» является первым отечественным разработчиком и пока единственным отечественным изготовителем нового поколения танталовых оксидно-электролитических конденсаторов К52-23, имеющих характеристики:

- $U_{\text{ном}}$: 16; 32; 50; 63 В;
 - $C_{\text{ном}}$: 22 000; 10 000; 4700; 3300 мкФ соответственно;
 - эквивалентное последовательное сопротивление: не более 0,1 Ом;
 - интервал рабочих температур: –60...+125 °С.
- Общий вид конденсаторов К52-23 и их размеры представлены на рис. 2.

Эти конденсаторы, обладая повышенной частотной стабильностью емкости и низким эквивалентным последовательным сопротивлением, в том числе при –60 °С (не более 0,2 Ом), а также высокой энергоемкостью, предназначены для употребления в качестве эффективных накопителей энергии в импульсных модуляторах приемно-передающих модулей АФАР. С целью расширения

сферы применения этих изделий АО «НИИ «Гириконд» планирует в 2018 году завершить работу по существенному увеличению шкалы номинальных напряжений ($U_{\text{ном}} = 10\text{--}125\text{ В}$) и емкостей ($C_{\text{ном}} = 1000\text{--}51\,000\text{ мкФ}$), в том числе за счет использования дополнительного типоразмера.

В последние десятилетия в связи с развитием твердотельной электроники и соответствующим уменьшением рабочих напряжений основной массы функциональных блоков РЭА до десятков и единиц вольт практически исчезла потребность в пленочных конденсаторах на основе достаточно широкой номенклатуры органических полимерных пленок. Специальные свойства различных пленок позволяли конденсаторам, выполненным на их основе, решать широкий круг задач в цифровых и аналоговых схемах вакуумной электроники при оптимальных для данных изделий напряжениях, начиная с десятков-сотен вольт. И в мировой, и в отечественной практике для рассматриваемых конденсаторов на основе двух типов (ПЭТ и ПП) пленок сформировалась своя, достаточно устойчивая ниша применения в современной аппаратуре. Это, как правило, оконечные силовые блоки РЭА, системы помехоподавления линий питания, мощные преобразователи напряжения, накопители энергии и т. п.

К особенностям нынешнего этапа развития таких конденсаторов следует отнести и то обстоятельство, что для качественного улучшения массогабаритных характеристик диэлектрик в них работает при напряженностях электрического поля, близких к физическому пределу прочности полимерных материалов. В современных конденсаторах с органическим диэлектриком это возможно благодаря специальным видам металлизации диэлектрика. Использование технологий сверхтонкой и сегментированной металлизации приводит к тому, что неизбежный при подобных нагрузках локальный пробой диэлектрика не вызывает катастрофического отказа самого изделия, а заканчивается восстановлением его электрической прочности при незначительном уменьшении емкости. В свете изложенного указанные технологии металлизации становятся критически важными для дальнейшего развития рассматриваемых конденсаторов двойного назначения. Проведенные в АО «НИИ «Гириконд» исследования и испытания подтвердили еще одно важное положение, определяющее направления дальнейшего развития описываемых изделий. Дело в том, что при относительно тонком слое металлизации металл-диэлектрическая структура на основе пленки ПП обеспечивает при высоких напряженностях электрического поля значительно более высокую работоспособность конденсаторов по сравнению с такой же структурой на основе пленки ПЭТ. В результате применение ПП-пленки позволяет достигать в конденсаторах более высоких значений рабочей напряженности электрического поля и реа-

Таблица 6. Низковольтные конденсаторы, находящиеся в стадии разработки

Разрабатываемые конденсаторы	Условное обозначение	Основные параметры и характеристики	Примечание
Полиэтиленрефталатные конденсаторы с однонаправленными выводами с улучшенными массогабаритными характеристиками	K73-84	$U_{\text{ном}}: 63\text{--}630\text{ В}$ $C_{\text{ном}}: 0,01\text{--}100\text{ мкФ}$ Интервал рабочих температур: $-60\text{...}+125\text{ }^{\circ}\text{C}$	Замена зарубежных аналогов фирм Epcos и Wima (Германия)
Сетевые помехоподавляющие полипропиленовые конденсаторы классов X2 и Y2 с повышенной электрической прочностью	K78-53	$U_{\text{ном}}: 300\text{ В}_{\text{эфф.}}$ $C_{\text{ном}}: 0,1\text{--}2,2\text{ мкФ (X2)}$ $C_{\text{ном}}: 0,001\text{--}0,1\text{ мкФ (Y2)}$ Интервал рабочих температур: $-60\text{...}+100\text{ }^{\circ}\text{C}$	Замена зарубежных аналогов фирм Epcos и Wima (Германия)
Полипропиленовые конденсаторы общего назначения с улучшенными массогабаритными характеристиками	K78-54	$U_{\text{ном}}: 400\text{--}1600\text{ В}$ $C_{\text{ном}}: 0,047\text{--}10\text{ мкФ}$ Интервал рабочих температур: $-60\text{...}+100\text{ }^{\circ}\text{C}$	Замена зарубежных аналогов фирмы Epcos (Германия)

лизовать лучшие массогабаритные характеристики, несмотря на меньшую в 1,5 раза диэлектрическую проницаемость. Это делает предпочтительным применение ПП-пленки в современных конденсаторах номинального напряжения в диапазоне от сотен вольт до десятков киловольт. Применение же пленки ПЭТ остается предпочтительным в самых низковольтных конденсаторах, благодаря ее меньшей толщине, составляющей 1,5–2 мкм, в то время как минимальная толщина ПП-пленки равна 4 мкм.

Приведенные выше положения в полной мере нашли отражение в направлениях научно-технической деятельности АО «НИИ «Гириконд» в области конденсаторов с органическим диэлектриком. В таблице 6 представлены краткие характеристики новых низковольтных конденсаторов, окончание разработок которых планируется в 2018 году с одновременным освоением их производства.

На основе металлизированной ПП-пленки формируется и новое базовое конструктивно-технологическое решение высоковольтных конденсаторов. Так, в 2017 году планируется завершить технологическую ОКР, по результатам которой будут созданы высоковольтные конденсаторы общего назначения с номинальным напряжением до 40 кВ и с удельной запасаемой энергией до 200 Дж/дм³. Это значение в несколько раз

превышает уровень удельных характеристик существующих высоковольтных конденсаторов на основе комбинированного бумажно-пленочного диэлектрика.

Как уже было сказано, в области конденсаторов с двойным электрическим слоем АО «НИИ «Гириконд» специализируется на разработках и производстве малогабаритных ионисторов с твердым электролитом для портативной РЭА. По сравнению с достаточно распространенными ионисторами с жидким органическим электролитом эти изделия отличаются меньшей запасаемой энергией, но обладают повышенной стойкостью к ионизирующим излучениям и широким интервалом рабочих температур $-60\text{...}+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Подобные изделия, в частности ранее созданный ионистор K58-12, уже нашли применение в качестве накопителя энергии в специальных объектах разового функционирования. Последней разработкой АО «НИИ «Гириконд» в этой области является серия ионисторов K58-24:

- $U_{\text{ном}}: 1,3; 2; 2,6; 3,3; 4; 5,2; 6,6; 8\text{ В}$;
- $C_{\text{ном}}: 0,1\text{--}2,2\text{ Ф}$;
- конструкция: металлический цилиндрический корпус диаметром (D) 9 и 20,5 мм, высотой (H) 10–28 мм;
- интервал рабочих температур: $-60\text{...}+125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ионисторы допускают эксплуатацию в области нелинейности емкости двойного электрического слоя. Общий вид ионисторов

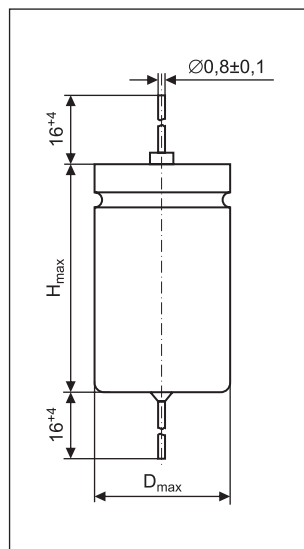


Рис. 3. Ионистор K58-24

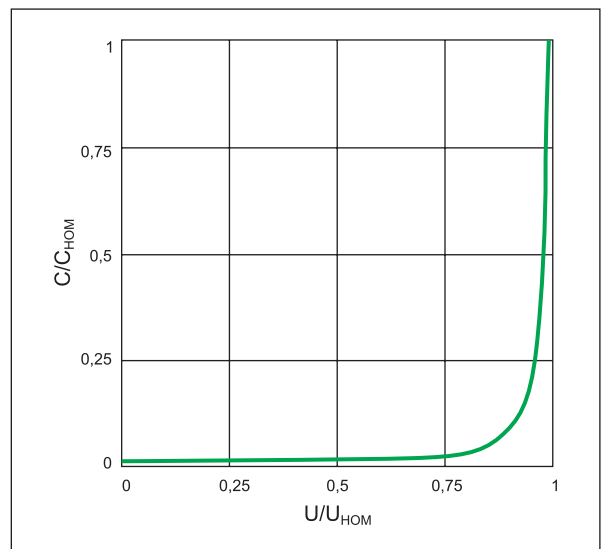


Рис. 4. Зависимость дифференциальной емкости от напряжения

и вольт-фарадная характеристика (зависимость дифференциальной емкости от напряжения) представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

Миниатюризация функциональных блоков РЭА и ЭКБ привела к тому, что микроэлектронные технологии уже давно используются в производстве не только интегральных микросхем, но и целого ряда дискретных пассивных компонентов, в том числе резисторов и конденсаторов. Примерами таких изделий могут служить ранее разработанные АО «НИИ «Гириконд» и серийно выпускаемые тонкопленочные конденсаторы К26-4, а также новинки — вариконды КН-8 и КН-9. При этом для конденсаторов, предназначенных для работы в СВЧ-диапазоне, уменьшение размеров необходимо для минимизации собственной индуктивности и, соответственно, увеличения собственной резонансной частоты, чтобы сохранить емкостный характер полного сопротивления в широком диапазоне частот воздействующего напряжения. Этому же должен помочь способ монтажа конденсаторов в аппаратуре. Выпускаемые до настоящего времени АО «НИИ «Гириконд» и применяемые в СВЧ-аппаратуре конденсаторы К10-71 и К26-4 монтируются с помощью дополнительно привариваемого проволочного вывода, что заметно снижает резонансную частоту конденсатора и делает его применение недостаточно эффективным. Специальные конденсаторы для СВЧ-диапазона в чип-исполнении, обеспечивающем низкоиндуктивное подсоединение конденсаторов, отечественной промышленностью не выпускаются.

В целях формирования перспективной отечественной номенклатуры СВЧ-конденсаторов для импортозамещения целого ряда аналогов, выпускаемых фирмами Murata (Япония), Kemet (США, Япония), Vishay (США), AVX (США) и другими, в 2018 году на предприятии «Гириконд» будет завершена и освоена в производстве разработка тонкопленочных СВЧ-конденсаторов в чип-исполнении с диэлектриком на основе диоксида кремния К26-8:

• $U_{\text{ном}}$: 25; 50 В;

- $C_{\text{ном}}$: 0,33–47 пФ;
- размеры в плане: 0,6×0,3; 1×0,5; 1,6×0,8; 2×1,25 мм;
- интервал рабочих температур: –60...+125 °С.

Приведенные в таблице 1 тенденции развития РЭА и соответствующие им требования к перспективной элементной базе в полной мере определяют направления инновационного развития в области нелинейных полупроводниковых резисторов. Так, снижение рабочих напряжений наиболее массовых функциональных блоков РЭА на основе чувствительных к перенапряжениям полупроводниковых структур вызывает необходимость приближения защиты от различного рода импульсных перенапряжений непосредственно к низковольтным цепям и элементам РЭА. Для применяемых в данных целях варисторов это означает потребность в снижении уровня классификационных напряжений при сохранении высоких допустимых значений импульсов тока. Реализация подобного условия приводит к изысканию новых рецептов и технологий используемых варисторных материалов и разработке новых базовых конструктивно-технологических решений самих варисторов, позволяющих в том числе механизировать производство за счет реализации групповых технологий, снижающих влияние человеческого фактора на выпускаемую продукцию. Таким инновационным решением стал переход от индивидуальной технологии прессовки рабочего тела варистора к многослойной конструкции на основе предварительного литья пленки из функциональной полупроводниковой керамики и последующей сборки многослойного группового пакета. Такое инновационное базовое решение позволяет формировать на его основе номенклатуру варисторов в чип-исполнении, крайне необходимым при современных технологиях производства РЭА. Благодаря этому в АО «НИИ «Гириконд» разработаны и освоены в производстве миниатюрные низковольтные многослойные чип-варисторы ВР-13:

- классификационное напряжение: 12; 15; 18; 22; 24; 27; 33 В;
- допустимая амплитуда одиночного импульса тока: до 1000 А;

- допустимая рассеиваемая энергия: до 7,8 Дж;
- размеры в плане: 5,7×5; 8×6 мм;
- интервал рабочих температур: –60...+85 °С.

Варисторы ВР-13 способны заменить соответствующие аналоги фирм TDK (Япония) и Epcos (Германия).

Планируемые на ближайшие годы ОКР в области данных компонентов предусматривают формирование функционально полной номенклатуры варисторов двойного назначения в направлении создания широкой серии отсутствующих в отечественном производстве дисковых варисторов категории качества ВР с классификационным напряжением 22–680 В и широкой серии многослойных варисторов с классификационным напряжением 12–68 В различного конструктивного исполнения для замены варисторов фирм TDK (Япония) и Epcos (Германия).

Переход на многослойное конструктивно-технологическое решение также актуален при формировании перспективной номенклатуры терморезисторов. Помимо совершенствования производства и разработки на его основе чип-терморезисторов, многослойная конструкция позволяет реализовывать относительно низкоомные терморезисторы с высоким значением температурного коэффициента сопротивления (ТКС). Дело в том, что при прочих равных условиях снижение удельного объемного сопротивления применяемой полупроводниковой керамики неминуемо приводит к снижению ее ТКС. Использование многослойной конструкции позволяет за счет увеличения количества слоев электродов значительно повысить эффективное сечение рабочего тела терморезистора и реализовать его относительно низкое номинальное сопротивление, используя материал с большим удельным объемным сопротивлением и, соответственно, с более ярко выраженной его температурной зависимостью. В связи с этим в 2019 году планируется завершение разработки и освоение в производстве чип-терморезисторов ТР-19:

- $R_{\text{ном}}$: 47 Ом – 1 МОм;
- ТКС: 2,8–5,6%/°С;
- интервал рабочих температур: –60...+125 °С;
- размеры в плане: 3,2×1,6 и 12×10 мм.

Разрабатываемые терморезисторы позволят исключить применение импортных аналогов, выпускаемых фирмами TDK (Япония) и Epcos (Германия).

Выводы

Направления инновационного развития разрабатываемой и выпускаемой АО «НИИ «Гириконд» пассивной ЭКБ в полной мере соответствуют тенденциям развития РЭА двойного назначения.

Созданные и планируемые к разработке изделия обеспечат успешное решение проблемы импортозамещения ЭКБ в РЭА двойного назначения. ■