

Зарубежные и отечественные многослойные керамические конденсаторы: технологии, категории качества

В. Савицкий¹, А. Раскин²

УДК 621.319.4 | ВАК 05.27.01

Многослойные керамические конденсаторы (МКК) применяются практически в любой современной радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) и являются самым массовым изделием из числа электронных компонентов. МКК в мире выпускают несколько сотен компаний, среди которых крупнейшими являются Murata, Samsung, TDK, Taiyo Yuden, Yageo, Walsin. Из общего количества МКК, выпускаемых в мире, 40–50 % производится на территории Китая. Чтобы сократить отставание от зарубежных компаний, российским производителям МКК нужно решить целый ряд технологических и организационных задач. В статье рассмотрены конструкция, технологии производства и категории качества зарубежных и отечественных МКК. Обсуждаются вопросы совершенствования характеристик МКК, а также задачи, стоящие перед российскими производителями конденсаторов.

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МКК

В современной РЭА применяются главным образом безвыводные МКК (рис. 1), а доля МКК с выводами (рис. 2) на мировом рынке составляет всего несколько процентов. Типовая конструкция безвыводного МКК показана на рис. 3.

Луженая контактная поверхность с никель-барьерным подслоем — это самый массовый тип контактных поверхностей безвыводных МКК (см. рис. 3). Но существуют и другие типы контактных поверхностей безвыводных МКК, в том числе с дополнительным пластичным подслоем, луженые методом горячего лужения, нелуженые, с медным барьером (вместо никель-барьера), с платиной, с золотым покрытием.

В последние годы совершенствование МКК идет по нескольким взаимосвязанным направлениям: миниатюризация (уменьшение габаритных размеров), создание МКК с номинальными емкостями более 100 мкФ, увеличение удельной емкости (емкости на единицу объема конденсатора).



Рис. 1. Безвыводной МКК (чип-конденсатор) для поверхностного монтажа

Шкала номинальных емкостей МКК у большинства производителей начинается с 0,1 пФ и доходит до нескольких десятков или сотен мкФ. С 2015 года рекорд по максимальной емкости МКК принадлежит японской компании Taiyo Yuden и составляет 470 мкФ. В 2018 году эта компания сообщила о создании МКК с номинальной емкостью 1000 мкФ и намерении начать серийное производство этого компонента, однако в настоящее время он отсутствует в каталоге выпускаемых МКК [3].

Удельную емкость МКК можно увеличить следующими способами:

- увеличение диэлектрической проницаемости керамики (ϵ);

¹ ОАО «ВЗРД «Монолит», начальник конструкторско-технического отдела.

² ОАО «ВЗРД «Монолит», ведущий специалист по изделиям электронной техники.



Рис. 2. МКК для навесного монтажа с аксиальным (слева) и радиальным (справа) расположением выводов

- увеличение количества внутренних электродов;
- уменьшение толщины слоев диэлектрика;
- уменьшение краевых и боковых зазоров (см. рис. 3);
- уменьшение толщины покровных слоев (см. рис. 3).

У большинства современных МКК количество внутренних электродов достигает нескольких десятков или сотен, но у некоторых высокоемкостных МКК этот показатель превышает 1000. Например, компания Murata выпускает МКК с такими характеристиками: номинальная емкость 330 мкФ (максимум для этой компании), габаритные размеры 3,2×2,5 мм, толщина слоев диэлектрика 1 мкм, количество внутренних электродов 1400 [1]. Минимальные толщины диэлектрика и внутреннего электрода у компании Murata составляют 0,5 мкм и 0,4 мкм соответственно [4]. Никто из мировых производителей пока не сообщал о серийном производстве МКК с толщиной слоев диэлектрика менее 0,5 мкм.

МКК появились в 60-х годах 20-го века и длительное время выпускались с использованием драгоценных металлов (технология Precious Metal Electrode – PME). Но в 80-х годах начались работы по созданию новой технологии Base Metal Electrode (BME), не требующей применения драгоценных металлов. Технологию BME впервые

применила в серийном производстве компания TDK (Япония) в 1993 году, в последующие годы эту технологию освоили почти все зарубежные производители МКК. В технологиях PME и BME применяются не только разные металлы (табл. 1), но и различные керамические материалы (поскольку они должны быть совместимы с электродами).

В настоящее время технология BME обеспечивает два наиболее важных преимущества по сравнению с PME: низкую себестоимость и большие удельные емкости.

Причина в том, что в последние 20–25 лет во всем мире львиная доля научно-технических работ по совершенствованию конструкций, материалов, технологий МКК приходилась на область BME, и поэтому там был достигнут значительный прогресс, а в области PME новых разработок было очень мало.

Основные преимущества «классической» технологии PME – надежность и долговечность МКК. Расчеты, проведенные специалистами корпорации Intel, показали, что традиционные PME-конденсаторы могут служить несколько тысяч лет [6].

У BME-конденсаторов поначалу срок службы был очень коротким, поскольку в процессе эксплуатации их характеристики быстро деградировали. Эта деградация проявлялась в первую очередь в падении сопротивления изоляции до недопустимо низкого уровня и, соответственно, нарастании тока утечки. Основная причина этого явления – миграция так называемых «кислородных вакансий» в керамике под воздействием постоянного электрического поля (в PME-конденсаторах такого явления нет). Многолетняя работа по совершенствованию технологии BME и применяемых в ней керамических материалов позволила замедлить деградацию BME-конденсаторов и тем самым существенно продлить их срок службы.

Но эта проблема полностью не устранена. Специалисты корпорации Intel обнаружили такую закономерность:

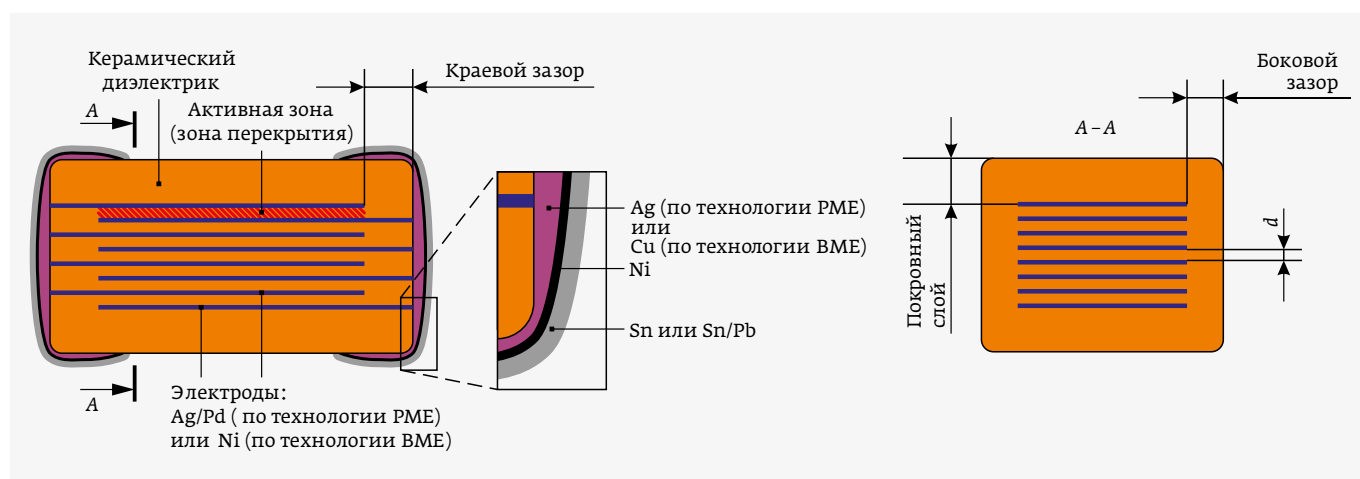


Рис. 3. Конструкция безвыводного МКК, имеющего луженые контактные поверхности с никель-барьерным подслоем

Таблица 1. Основные технологии производства МКК

Название технологии	Состав внутренних электродов	Состав внутреннего слоя контактной поверхности
Precious Metal Electrode (PME) или Noble Metal Electrode (NME)	Чаще всего – сплав серебра и палладия (Ag/Pd) в соотношении, в %: 70:30. Иногда применяются сплавы с пониженным содержанием Pd, в %, например 80:20. В некоторых специальных сериях МКК – чистое серебро или чистый палладий	Серебро или сплав серебра и палладия
Base Metal Electrode (BME)	Чаще всего – никель (Ni), в высокочастотных МКК – медь (Cu)	Медь

чем больше удельная емкость BME-конденсатора, тем короче срок его службы. Например, у конкретного конденсатора с большой удельной емкостью (код размера 0402, емкость 2,2 мкФ, группа X6S, номинальное напряжение 4 В) прогнозируемый срок службы может быть только три года, что недопустимо мало для высоконадежной РЭА [6].

КАТЕГОРИИ КАЧЕСТВА ЗАРУБЕЖНЫХ МКК

Коммерческие (Commercial)

Коммерческие МКК предназначены главным образом для потребительской и офисной техники, а также для тех видов промышленной и прочей РЭА, где не требуются высокая надежность и длительный срок службы.

В каталоге компании Taiyo Yuden [3] указано:

- нужно с осторожностью использовать коммерческие МКК в технике, отказы которой могут привести к серьезному материальному ущербу, а также травмам или гибели людей: на транспорте, в системах сигнализации для транспорта, в узловой аппаратуре связи (АТС, базовые станции и др.), в оборудовании для предотвращения аварий, катастроф и преступлений, в медицинских приборах класса С и другой аппаратуре, требующей столь же высокого уровня качества и/или надежности;
- нельзя применять коммерческие МКК в РЭА, требующей самого высокого уровня безопасности и/или надежности, в том числе в военной, авиационной, ракетно-космической, подводной технике, в системах управления генерацией электроэнергии, в медицинских приборах класса D.

Многие другие зарубежные производители МКК дают аналогичные предупреждения.

Коммерческие МКК – это самая массовая категория МКК. Из общего количества выпускаемых в мире МКК 65–70% используется в потребительской электронике, в том числе 38% в мобильных телефонах. На долю персональных компьютеров приходится 16% МКК.

Высоконадежные МКК общего назначения (High reliability)

В эту категорию входят такие серии МКК, как CGJ (TDK), For Telecommunications Infrastructure and Industrial Equipment (Taiyo Yuden), VJ Non-Magnetic (Vishay), High Reliability (Eclipse NanoMed) и др.

Компании Taiyo Yuden и TDK рекомендуют применять свои высоконадежные МКК для следующих типов оборудования:

- аппаратура для узлов связи (базовые станции, оптические приемопередатчики, маршрутизаторы, сетевые коммутаторы, источники бесперебойного питания и др.);
- оборудование для автоматизации производства (программируемые логические контроллеры, сервоприводы, промышленные роботы и др.);
- измерительные приборы;
- энергетическое оборудование (стабилизаторы и преобразователи напряжения (в том числе в солнечной энергетике), умные счетчики, аварийные прерыватели заземления, зарядные станции для электромобилей и др.);
- светодиодные светильники;
- медицинская аппаратура классов А и В;
- другая техника с длительным сроком службы.

В табл. 2 показано, какую категорию качества МКК предлагает компания Taiyo Yuden для некоторых типов РЭА: если средний срок службы менее 5 лет – коммерческие МКК, если более 11 лет – высоконадежные [7].

Высоконадежные автомобильные (Automotive) МКК

Крупнейшими производителями автомобильных МКК являются компании Murata (обеспечивает 45% мирового рынка автомобильных МКК [1]), Samsung, TDK, Taiyo Yuden, Yageo, AVX (США). Большинство автомобильных МКК соответствует стандарту AEC-Q200, который устанавливает требования и методы испытаний пассивных электронных компонентов для автомобилей.

Некоторые компании выпускают автомобильные МКК с повышенной максимальной рабочей температурой 150 °С, иногда даже 175 и 200 °С. Такие МКК применяются в электронных блоках, размещаемых рядом с двигателем и трансмиссией.

Высоконадежные медицинские (Medical) МКК

Для медицинской аппаратуры классов С и D желательно использовать специальные медицинские серии МКК. К этой категории относятся следующие серии:

- серия GCR от Murata (особо надежные) для имплантируемых устройств, поддерживающих жизнь человека, и серия GCH для имплантируемых устройств, не поддерживающих жизнь;
- серия MM от AVX (США) для имплантируемых устройств, не поддерживающих жизнь, и для внешних устройств;
- серия M3 от Kemet (США) для имплантируемых устройств;
- серия для всех имплантируемых устройств от компании SRT Microcéramique (Франция).

Военные и космические (Military/Space) МКК

Большинство производителей «военных» и «космических» МКК находятся в странах Западной Европы. Лидерами по объему поставок этих конденсаторов являются базирующиеся в США компании Kemet, AVX, Vishay, Knowles Precision Devices, Presidio Components, а также компания Exellia (Франция).

В Японии «космические» МКК производит компания Murata; сведений о выпуске в этой стране специальных «военных» МКК нет.

В Китае производятся «военные» и «космические» МКК, но сведения о них недоступны.

«Военные» МКК чаще всего выпускаются по стандартам Министерства обороны США: MIL-PRF-123, MIL-PRF-39014, MIL-PRF-49467, MIL-PRF-49470, MIL-PRF-55681, MIL-PRF-32535 (с дополнениями). В этих стандартах предусмотрены шесть уровней надежности. Самые высокие уровни (S и T) предназначены в первую очередь для ракетно-космической техники.

Отдельные компании выпускают «военные» МКК по системе стандартов IECQ-CECC, разработанной Международной электротехнической комиссией (МЭК).

«Космические» МКК выпускаются по следующим стандартам:

- стандарты NASA (космическое агентство США) – S-311-P-829 и S-311-P-838;
- стандарты ESA (Европейское космическое агентство) – ESCC Generic Specifications №3001 и №3009 (с дополнениями);
- стандарт JAXA (Японское агентство аэрокосмических исследований) – JAXA-QTS-2040 (с дополнениями).

Commercial-Off-the-Shelf (COTS)

Во многих англоязычных публикациях термином «COTS» обозначают обычные коммерческие компоненты, используемые в высоконадежной РЭА. В данной статье применяется более «узкая» трактовка [8], которой соответствуют серия COTS компании Kemet, серия APS COTS+ компании AVX, серия VJ Hi-Rel компании Vishay.

МКК категории COTS производятся так же как и коммерческие и автомобильные МКК (из тех же материалов, по той же технологии, на том же оборудовании), но проходят контроль

Таблица 2. Категории качества МКК для различных типов РЭА

Тип РЭА	Типичные условия эксплуатации РЭА			Категория качества МКК
	Наработка, ч	Срок службы, годы	Диапазон температур, °С	
Носимые устройства связи	17520	3	−40...40	Коммерческие
Настольные компьютеры	13000	5	10...30	
Компьютерные серверы высшего класса	94000	11	10...30	Высоко-надежные
Аппаратура связи:				
контролируемая	131000	15	0...70	
неконтролируемая	131000	15	−40...85	

Примечания:

1. Условия эксплуатации указаны по стандарту JESD94B, выпущенному организацией JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council).
2. Категории качества МКК соответствуют рекомендациям компании Taiyo Yuden (Япония).

качества и испытания по военному стандарту MIL-PRF-55681 и за счет этого имеют повышенную надежность.

МКК категории COTS применяются как в военной РЭА, так и в высоконадежной РЭА для промышленности, связи, авиации. По сравнению с «военными» конденсаторами МКК категории COTS дешевле и при этом имеют более широкие диапазоны номинальных емкостей.

ОСОБЕННОСТИ ЗАРУБЕЖНЫХ МКК РАЗНЫХ КАТЕГОРИЙ КАЧЕСТВА

Зарубежные МКК разных категорий отличаются технологией изготовления, конструкцией, удельной емкостью, стойкостью к внешним воздействующим факторам, процедурами испытаний и контроля качества. Рассмотрим наиболее важные различия.

Области применения технологий PME и BME

Технология BME первоначально получила широкое распространение в производстве «гражданских» МКК, но много лет не могла проникнуть в производство «военных» и «космических» МКК, поскольку не обеспечивала требуемые в этой области показатели надежности и сроки службы конденсаторов. Однако в 2015–2018 годах американские компании AVX и Kemet смогли создать BME-конденсаторы для военной и космической РЭА (табл. 3). У этих новых МКК удельные емкости существенно больше, чем у традиционных «военных» и «космических» PME-конденсаторов.

Кроме того, в 2015 году были введены в действие новые стандарты, которые разрешили выпускать «военные» и «космические» МКК по технологии BME (см. табл. 3). При этом старые стандарты, относящиеся к «военным» и «космическим» МКК, остаются в силе, выпуск изделий по этим стандартам продолжается.

«Космические» BME-конденсаторы компании AVX без единого отказа выдержали длительные испытания при

сверхнормативной нагрузке (10 тыс. ч при максимальной рабочей температуре 125 °С и напряжении, превышающем номинальное в два раза, а также 2 тыс. ч при 125 °С и напряжении, превышающем номинальное в четыре раза). Из этих результатов специалисты компании AVX сделали следующие выводы [5]:

- у таких МКК средняя наработка до отказа превышает 26 млн ч, то есть порядка 3 000 лет;
- надежность и срок службы этих МКК достаточны для космической техники.

«Космические» BME-конденсаторы компании AVX изготавливаются из специально отобранных материалов и имеют существенные конструктивные особенности. Поэтому вышеуказанные выводы нельзя распространять на «коммерческие» BME-конденсаторы компании AVX и тем более на «коммерческие» BME-конденсаторы других производителей.

В последние годы по технологии BME выпускается порядка 99% от общего количества МКК, производимых в мире, в том числе почти все коммерческие и автомобильные МКК, а также часть высоконадежных «гражданских» серий. На долю «классической» технологии PME приходится только 1% МКК, в том числе «военные» и «космические» МКК, выпускаемые по старым стандартам, а также некоторые высоконадежные, высоковольтные, высокотемпературные, немагнитные МКК «гражданского» назначения.

Связь конструктивных параметров МКК с надежностью и долговечностью

Для увеличения удельной емкости МКК необходимо увеличить количество внутренних электродов, сократить толщины диэлектрика и покровных слоев, а также краевые и боковые зазоры. Однако все эти меры существенно ухудшают показатели надежности и сокращают срок службы МКК (это подтверждено

Таблица 3. «Военные» и «космические» BME-конденсаторы и стандарты для них

Серия конденсаторов				Стандарт	Организация, выпустившая стандарт
Компания-производитель	Обозначение	Год начала производства	Группы по температурной стабильности емкости (TCE)		
AVX (США)	3009041	2015	X7R	ESCC Detail Specification №3009/041	ESA
	G311P838	2016		S-311-P-838	NASA
	M32535	2018		MIL-PRF-32535	Министерство обороны США
Kemet (США)	M32535	2018	C0G, BP, X7R		

Таблица 4. Конструктивные параметры МКК разных категорий качества (с учетом номинального напряжения $U_{ном}$) [5]

Категория качества МКК	Толщина диэлектрика, мкм	Толщина покровных слоев, мкм	Краевые и боковые зазоры, мкм
Коммерческие	0,5–2 (если группа X5R и $U_{ном} = 4$ В) 5–18 (зависит от $U_{ном}$, если группа X7R и $U_{ном} = 25$ –100 В) 80 (если группа X7R и $U_{ном} = 2000$ В)	≥ 75	≥ 75
Автомобильные	4,5–5 (если $U_{ном} = 50$ В)	≥ 100	≥ 100
Старые «военные»	По стандарту MIL-PRF-123: > 20 (если $U_{ном} = 50$ В) > 25 (если $U_{ном} \geq 100$ В)	Нет данных	Нет данных
Новые «космические»	По стандарту S-311-P-838: > 7,1 (если $U_{ном} = 16$ или 25 В) > 8,3 (если $U_{ном} = 50$ В) > 15,2 (если $U_{ном} = 100$ В) 9–10 (фактически при $U_{ном} = 50$ В)	≥ 112 (если $U_{ном} = 25$ В) ≥ 160 (если $U_{ном} = 50$ или 100 В)	170 (если $U_{ном} = 25$ В)

многочисленными исследованиями и испытаниями). Поэтому у «военных» и «космических» МКК (даже у новых моделей) очень «консервативная» конструкция: по сравнению с коммерческими и автомобильными МКК у них гораздо толще диэлектрик и покровные слои, шире краевые и боковые зазоры (см. табл. 4), существенно меньше количество внутренних электродов (n). Например у коммерческих МКК n может превышать 1000, а в соответствии с новым «космическим» стандартом S-311-P-838, $n \leq 300$.

Диапазоны номинальных емкостей МКК разных категорий

Из-за особенностей конструктивных параметров, описанных выше, максимальные номинальные емкости «военных» и «космических» МКК во много раз меньше, чем у «коммерческих» МКК того же размера, той же группы по TCE и с тем же номинальным напряжением. Иначе говоря, у «коммерческих» МКК гораздо больше удельная емкость. Высоконадежные «гражданские» МКК, в том числе автомобильные, по удельной емкости находятся между «коммерческими» и «военными».

Эти соотношения наглядно видны на примере МКК группы X7R с номинальным напряжением 16 В, выпускаемых компанией AVX. На рис. 4 сравниваются различные серии МКК: коммерческая, автомобильная, новая военная (M32535) и новая космическая (3009041).

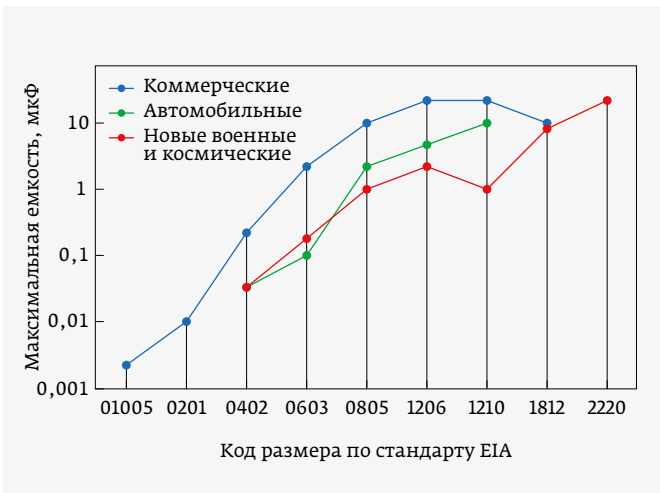


Рис. 4. Сравнение максимальных емкостей МКК, выпускаемых компанией AVX (для группы X7R и номинального напряжения 16 В)

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МКК

Все отечественные МКК выпускаются по традиционной технологии PМЕ. Наиболее массовые типы: К10-17а, К10-17б, К10-17в, К10-47Мв, К10-79, К10-84в.

В настоящее время предприятия из стран СНГ поддерживают стабильный уровень качества выпускаемых

МКК, разрабатывают новые типы МКК и совершенствуют технологию производства по следующим основным направлениям:

- снижение материалоемкости, повышение конкурентоспособности по цене и качеству;
- повышение технических характеристик в соответствии с возросшими требованиями потребителей;
- повышение удельной емкости конденсаторов и расширение шкалы емкостей по габаритным размерам;
- повышение точности изготовления конденсаторов в соответствии с требованиями МЭК;
- расширение номенклатуры;
- обеспечение и поддержание качества конденсаторов на уровне лучших зарубежных аналогов.

КАТЕГОРИИ КАЧЕСТВА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МКК

Категория качества «ОТК»

Изделия, не относящиеся к изделиям повышенного уровня качества, не обеспечивают повышенную надежность аппаратуры без проведения в полном объеме комплекса мероприятий по подтверждению пригодности их применения в аппаратуре с учетом требований НД, отказ которой может приводить к серьезным последствиям, ремонт и замену которой осуществляют на уровне ячеек и блоков.

Категория качества «ВП»

Изделия, для которых устанавливаемый в конструкторской и технологической документации, стандартах и технических условиях уровень требований к надежности и стойкости, к другим эксплуатационным характеристикам, а также к обеспечению и контролю качества обуславливает пригодность их применения в аппаратуре, отказ которой ведет к существенным последствиям, ремонт и замену которой осуществляют на уровне ячеек и блоков.

Категория качества «ОС»

Изделия повышенного уровня качества и надежности относительно изделий категории качества «ВП», изготавливаемые по специальной технологической документации с осуществлением приемки и поставки по самостоятельным ТУ, обеспечивающие повышенную надежность аппаратуры, отказ которой ведет к катастрофическим последствиям, ремонт или замена которой труднодоступны или невозможны.

Категория качества «ОСМ»

Изделия повышенного уровня качества и надежности, изготавливаемые в порядке, установленном для изделий категории качества «ОС» с учетом требований нормативных документов, либо по действующей КД и ТД для изделий ЭКБ категории качества «ВП», на тех же участках (цехах, линиях), с учетом дополнительных требований по обеспечению и конт-

ролю качества, установленных в соответствующих НД, и поставляемые малыми партиями с учетом их требований.

ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МКК

Малая удельная емкость, ограниченные диапазоны номинальных емкостей

У отечественных МКК категории качества «ОТК» основные параметры их конструкции (количество внутренних электродов, толщина диэлектрика и покровных слоев, краевые и боковые зазоры) соответствуют «военным» требованиям; диапазоны номинальных емкостей почти всегда такие же, как у «военных» МКК аналогичного типа (в отличие от зарубежной практики). Вследствие этого максимальные номинальные емкости и удельная емкость отечественных «гражданских» МКК гораздо меньше, чем у зарубежных «гражданских» МКК того же размера, той же группы по температурной стабильности емкости (ТСЕ) и с тем же номинальным напряжением.

Отечественные МКК категории качества «ВП» следует сравнивать со специальными зарубежными МКК, самыми массовыми из которых являются безвыводные МКК, которые выпускаются по стандартам MIL-PRF-123 и MIL-PRF-55681 (типичный представитель – серия M123 компании AVX). Широко применяемые отечественные МКК серии К10-17в по удельной емкости не хуже этих зарубежных МКК, а новые отечественные МКК серий К10-83 и К10-84в существенно лучше (рис. 5).

Отечественные МКК категории качества «ВП» существенно уступают по удельной емкости новым специальным зарубежным конденсаторам, которые появились в 2015–2018 годах (см. рис. 5, серии M32535 и 3009041 от AVX).

Основные причины малой удельной емкости отечественных МКК – сравнительно большая толщина слоев диэлектрика и малое количество внутренних электродов.

Отсутствие современных отечественных МКК категорий качества «ОС» и «ОСМ»

Эти компоненты имеют повышенный уровень качества относительно компонентов категории качества «ВП» и обеспечивают повышенную надежность аппаратуры.

Все МКК категорий качества «ОС» и «ОСМ», выпускаемые в настоящее время, разработаны много лет назад и не соответствуют современным стандартам. Диапазоны номинальных емкостей этих МКК существенно уже, чем у более современных МКК категории качества «ВП» (К10-82, К10-83, К10-84, К10-90).

Ограниченная номенклатура специальных МКК

Для многих типов РЭА необходимы специальные МКК, в том числе конденсаторы типа Х2У, высокотемпературные (с максимальными рабочими температурами 150–300 °С), высокочастотные (для частот порядка десятков ГГц),

с повышенной допускаемой реактивной мощностью (либо повышенным допускаемым реактивным током), с повышенной добротностью, с пониженным эквивалентным последовательным сопротивлением, с пониженной паразитной индуктивностью (с «обратной» геометрией), с пониженным уровнем акустического шума.

Такие МКК либо вообще не выпускаются отечественными производителями, либо выпускаются с характеристиками, которые не вполне удовлетворяют потребителей. Поэтому в последние годы многие предприятия РФ запрашивали возможность производства аналогов зарубежных МКК перечисленных типов.

Неизвестны многие характеристики МКК

Все передовые зарубежные производители МКК указывают в документации и на своих сайтах не только основные электрические характеристики МКК (номинальная емкость, допускаемое отклонение по емкости, номинальное напряжение, зависимость емкости от температуры, минимальное сопротивление изоляции, максимальный тангенс угла потерь), но и другие характеристики МКК, важные для разработчиков РЭА. Например, на сайте компании Murata (Япония) для обычных «коммерческих» МКК серии GRM даются следующие дополнительные характеристики: зависимость импеданса (полного комплексного сопротивления) от частоты, зависимость активного сопротивления (эквивалентного последовательного сопротивления) от частоты, зависимость емкости от постоянного напряжения смещения, зависимость емкости от среднеквадратичного значения переменного напряжения, зависимости перегрева (в градусах) от среднеквадратичного значения импульсного тока при различных частотах, файл S-параметров (для частот до 6 ГГц), файл для симулятора электронных схем Spice.

Для отечественных МКК дополнительные электрические характеристики либо вообще не указываются, либо набор этих характеристик очень ограничен. Например, для новых российских конденсаторов К10-83 приводится только одна дополнительная характеристика: зависимость резонансной частоты от емкости. Многие российские разработчики

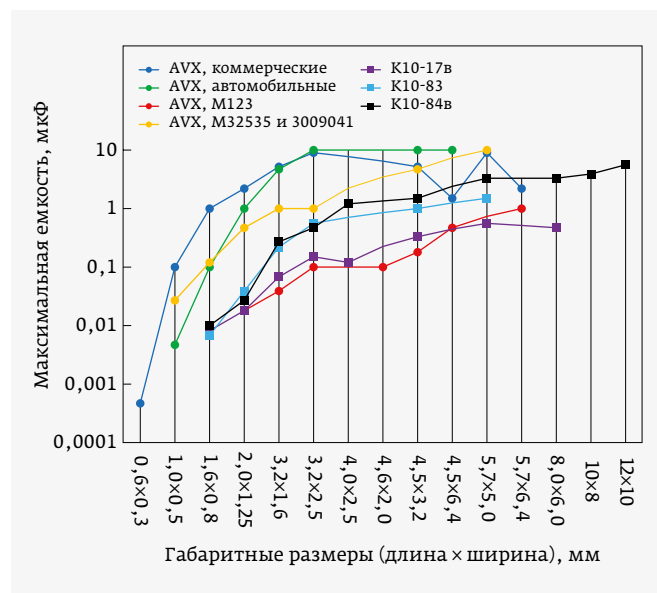


Рис. 5. Сравнение максимальных емкостей МКК (группа Х7R или сходная с ней; номинальное напряжение 50 В)

РЭА отказываются использовать отечественные МКК именно из-за отсутствия необходимых технических характеристик. По мнению многих специалистов, самая острая проблема – это отсутствие S-параметров.

ЗАДАЧИ, СТОЯЩИЕ ПЕРЕД ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯМИ МКК

Модернизация МКК в рамках технологии RME, расширение диапазонов номинальных емкостей

Для решения этой задачи необходимо:

- улучшить характеристики отечественных керамических материалов для групп МР0, Н20, Н90 (поскольку именно эти группы чаще всего применяются в новых разработках РЭА; диэлектрическую проницаемость желательнее увеличить до значений, указанных в табл. 5);

Таблица 5. Керамические материалы для технологии RME

Группа по TCE		Диэлектрическая проницаемость (ε)		
Зарубежная	Отечественная	У зарубежных компаний, макс.	У отечественных производителей	Требуется для новых отечественных материалов, не менее
C0G, NP0	МР0	100	80–90	100
X7R	Н20, Н30	> 4000	2400–3000	3500–4000
Y5V	Н90	18000	10500–13000	15000

- для замены группы Н90 создать отечественный керамический материал, по свойствам соответствующий зарубежной группе Х5R (в последние годы группа Х5R получила широкое распространение, поскольку по термостабильности емкости она не уступает, а по удельной емкости существенно превосходит группу Х7R);
- сократить толщину диэлектрика, освоить толщины, не уступающие новому американскому «космическому» стандарту S-311-P-838 (для номинального напряжения $U_{ном} = 6,3 \text{ В} - 5 \text{ мкМ}$, для $U_{ном} = 10-25 \text{ В} - 7 \text{ мкМ}$, для $U_{ном} = 50 \text{ В} - 8 \text{ мкМ}$, для $U_{ном} = 100 \text{ В} - 15 \text{ мкМ}$);
- увеличить количество внутренних электродов и уменьшить их толщину;
- повысить точность выполнения ключевых технологических операций (формирование внутренних электродов, сборка пакетов, рубка пакетов);
- на основе вышеуказанных изменений в конструкции и технологии создать новые МКК с увеличенной удельной емкостью, расширенными диапазонами номинальных емкостей (не уступающие новой американской «военной» серии M32535).

Освоение производства новых современных МКК категорий качества «ОС» или «ОСМ»

Необходимо освоить производство МКК повышенного уровня качества и надежности, соответствующих требованиям современных стандартов.

Дополнительные испытания МКК

Отечественные производители МКК должны быть оснащены оборудованием для дополнительных испытаний МКК, в том числе для неразрушающего контроля внутренней структуры МКК методом ультразвукового сканирования (акустической микроскопии) и для электротермотренировки МКК. Такие испытания будут выполняться по согласованию с потребителем, например для ракетно-космической отрасли.

Определение дополнительных характеристик МКК

Для тех МКК, которые рекомендуются для новых разработок РЭА, необходимо определить S-параметры и другие дополнительные электрические характеристики. Эти характеристики следует внести в ТУ как справочные данные. Все эти сведения должны быть доступны на сайтах отечественных производителей МКК.

Обновление нормативной базы

Для МКК категорий качества «ВП», «ОС», «ОСМ» необходимо разработать и ввести в действие новые стандарты, представляющие собой общие технические условия (ОТУ) и/или групповые технические условия (ГТУ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработке РЭА для промышленности, транспорта, связи, медицины, авиации, космоса, атомной отрасли и других ответственных применений необходимо выбирать МКК соответствующих категорий качества. Отечественные разработчики часто применяют в такой РЭА зарубежные «коммерческие» МКК, которые не обеспечивают требуемый уровень надежности и долговечности. В статье предложены рекомендации по улучшению характеристик, совершенствованию технологий и развитию производства отечественных МКК высокого уровня качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. The downsizing guideline. Murata Manufacturing Co., Ltd., 2020 // <https://www.element14.com/community/servlet/JiveServlet/downloadBody/94339-102-1-385890/MLCC%20-%20the%20downsizing%20guideline.pdf>
2. Information Meeting 2019. Murata Manufacturing Co., Ltd. // https://corporate.murata.com/-/media/corporate/about/newsroom/news/irnews/irnews/2019/1129/1911_e_speech.ashx?la=ja-jp
3. Multilayer Ceramic Capacitors for General Electronic Equipment. Taiyo Yuden Co., Ltd., 2020 // https://www.yuden.co.jp/productdata/catalog/mlcc_all_e.pdf
4. <https://www.murata.com/en-global/products/capacitor/mlcc/smd/grm>
5. **Marshall J., Demcko R.** AVX Base Metal Electrodes Reduce Size And Weight Of MLCCs In Satellites, 2019 // http://www.how2power.com/newsletters/1903/articles/H2PToday1903_design_AVX.pdf?NOREDIR=1
6. **Hendricks C.R., Min Y., Lane T.** Reliability challenges for CPU decoupling MLCC // CARTS USA 2010: сборник докладов на симпозиуме. 2010. С. 221–230
7. MLCC Technology Advances Open New Market Opportunities. Taiyo Yuden Co., Ltd. // https://www.mouser.com/pdfdocs/MLCCWhitePaper2016_WA_final-2.pdf
8. Commercial-Off-the-Shelf (COTS) Classification. Kemet Electronics Corporation // <https://ec.kemet.com/wp-content/uploads/sites/4/2019/10/COTS.pdf>





www.monolit.by

ВИТЕБСКИЙ ЗАВОД РАДИОДЕТАЛЕЙ

**МНОГОСЛОЙНЫЕ
КЕРАМИЧЕСКИЕ
КОНДЕНСАТОРЫ**

**ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ
ПРОДУКЦИЯ**

для высоконадёжной аппаратуры

ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ

с положительным температурным
коэффициентом сопротивления

**РЕГИСТРЫ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ**

Республика Беларусь, 210101,
г. Витебск, ул. М. Горького, д. 145
Телефон: +375 (212) 36-45-05 (приемная)
Факс: +375 (212) 36-44-07
E-mail: info@monolit.by

Конструкторско-технический отдел:
Телефон: +375 (212) 36-44-21
E-mail: kto@monolit.by

Отдел маркетинга и сбыта
Маркетинг:
Телефон: +375 (212) 36-44-52
E-mail: marketing@monolit.by
Сбыт:
Телефон: +375 (212) 36-45-34;
+375 (212) 36-45-42
E-mail: sales@monolit.by

www.monolit.by