Мод Фабр (Maud Fabre), Eurofarad, Exxelia Group
Перевод: Владимир Рентюк

НОВЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

В статье представлены характеристики и варианты исполнения новой серии высоковольтных керамических конденсаторов, которые были изготовлены с использованием нового диэлектрического материала. Этот диэлектрик позволяет получить аналогичные значения емкости конденсаторов при заданном рабочем напряжении, как и при использовании материала X7R. Однако по сравнению с X7R он обладает существенным преимуществом благодаря присущему этому материалу весьма низкому тангенсу угла диэлектрических потерь (tgδ), который составляет менее чем 5×10^{-4}. Это делает новые конденсаторы оптимально подходящими для силовых цепей, в которых выделение тепла, вызванное потерями, может привести к снижению надежности и ухудшению общих качественных характеристик.

Вступление

Как известно, основной тенденцией развития современного электронного оборудования является его миниатюризация. А это, в свою очередь, приводит к необходимости внесения в конструкцию изделия изменений, связанных с повышением внутренней температуры, вызванным паразитным рассеиванием мощности. Следовательно, необходимо решать весьма непростые вопросы, связанные с отводом тепла, выделяемого компонентами электрической схемы. Чтобы многослойные керамические конденсаторы смогли соответствовать этим новым требованиям, есть два пути:

1. Создание конденсаторов, способных работать при более высокой температуре с сохранением уже достигнутого уровня надежности. Но это означает, что необходимо полное изменение конструкции и/или замена материалов этих компонентов.
2. Разработка альтернативных компонентов с уменьшенными собственными потерями мощности в целях минимизации их нагрева. Поскольку такие потери напрямую связаны с тангенсом угла диэлектрических потерь в керамическом диэлектрике, то в этом случае предполагается, как вариант, полное изменение только материала керамического диэлектрика.

Этот второй вариант и подтолкнул компанию Exxelia Eurofarad разработать совершенно новую линейку высоковольтных керамических конденсаторов на основе нового диэлектрического материала, который был назван C48.

Технические ограничения

Для изготовления керамических конденсаторов используются, в основном, два типа диэлектриков. Первый тип — NP0-керамика. Основа этого материала — диоксид титана, имеющий малую диэлектрическую постоянную ($\varepsilon_r \leq 100$). Такая

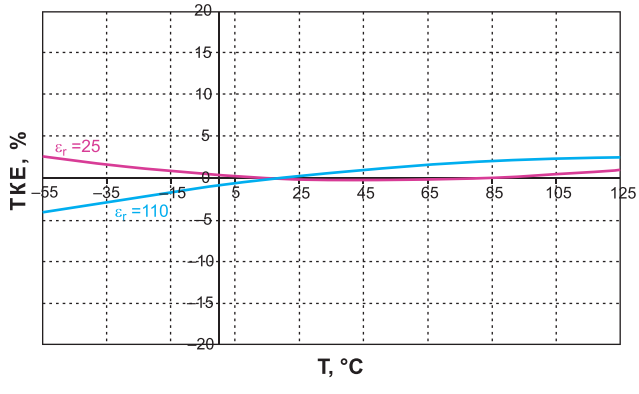


Рис. 1. Типовая зависимость изменения собственной емкости конденсаторов, выполненных на основе NP0-керамики, от температуры

керамика является очень стабильной, и конденсаторы на ее основе характеризуются весьма незначительными изменениями емкости в условиях воздействий температуры (рис. 1), напряжения или частоты.

Второй тип — X7R-керамика. Этот материал состоит, в основном, из титаната бария с высокой диэлектрической постоянной ($1000 \le \varepsilon_r \le 5000$) и имеет значительно большую зависимость от воздействия температуры, напряжения или частоты. Представление об этом дает рис. 2.

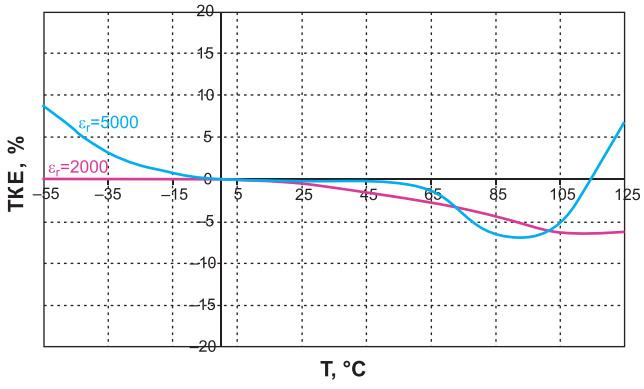


Рис. 2. Типовое изменение емкости конденсаторов, выполненных на основе X7R-керамики, от температуры

Целью изменения диэлектрика, используемого для изготовления новых конденсаторов Eurofarad, была необходимость найти и использовать такой керамический материал, применение которого позволит:

- разработать конденсаторы с такими же характеристиками в части емкость/напряжение/объем, как и при использовании диэлектриков типа X7R;
- добиться меньших потерь, чем это присуще материалам типа X7R, т. е. выбрать диэлектрик с tgδ гораздо ниже, чем у материалов типа X7R, для которых обычное значение (для конденсаторов, предназначенных для высоковольтных цепей) значительно превышает 50×10^{-4}.

Таким образом, перед технологами Eurofarad стояла задача получить материал, который сочетал бы в себе наилучшие диэлектрические свойства материалов NP0 и X7R. В итоге выбор пал на диэлектрический материал с промежуточным значением диэлектрической постоянной (ε_r около 500), который мог быть использован в условиях большего градиента напряжения (отношение напряжения к диэлектрической толщине). Таким образом, емкость конденсаторов, выполненных на его основе, по отношению на единицу объема могла быть совместимой с емкостью конденсаторов на единицу объема, выполненных на базе диэлектрика типа X7R.

Диэлектрические характеристики и комментарии

Основные характеристики выбранного материала, который сочетает в себе преимущества диэлектриков типа NP0 и X7R, приведены в таблице 1.

Как можно видеть, диэлектрическая проницаемость рассматриваемой керамики меньше, чем у классических X7R-материалов. Это позволяет, при сохранении стандартных

Таблица 1. Основные характеристики диэлектрического материала C48

Высоковольтная керамика со средней диэлектрической проницаемостью и низким tgδ	
tgδ на частоте 1 кГц, напряжение 1 В	$\le 10 \times 10^{-4}$
Типовой tgδ на частоте 400 Гц, напряжение 1 В	$\le 5 \times 10^{-4}$
Сопротивление изоляции при температуре 20°C и напряжении 500 В	≥ 20 000 МОм или 500 МОм•мкФ
Пробивное напряжение диэлектрика	>1,4 Up
Диапазон рабочих напряжений	от 200 В до 5 кВ
Температурный коэффициент емкости (ТКЕ)	$-(2200 \pm 500) \cdot 10^{-6}$/°C

габаритных размеров, выпускать конденсаторы емкостью лишь в половину от емкости конденсаторов с диэлектриком типа X7R (рис. 3), что, на первый взгляд, воспринимается, естественно, как некоторое ограничение.

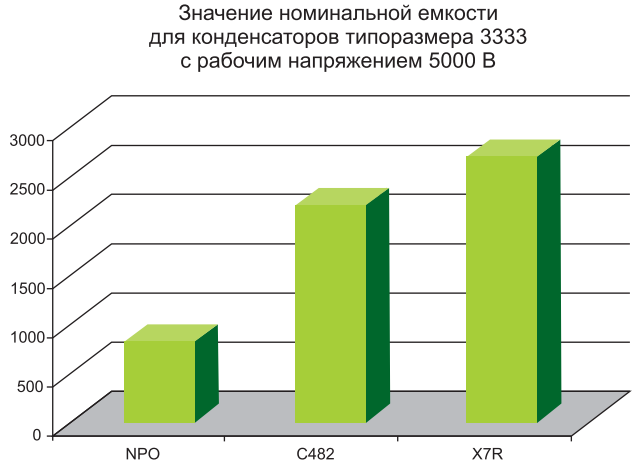


Рис. 3. Сравнение диапазонов емкости конденсаторов с диэлектриками типов NP0, X7R и C48, исполненными в одинаковых типоразмерах

Но у этого диэлектрика есть положительное свойство: он является очень стабильным под воздействием напряжения. Потеря емкости выполненного на его основе конденсатора по отношению к напряжению постоянного тока составляет всего пару процентов (рис. 4), тогда как для классической керамики типа X7R (2R1) это значение достигает примерно 60% и более.

Если принять во внимание то значение емкости конденсатора, которое осталось под заданным номинальным напряжением (фактическое рабочее напряжение), то простой расчет

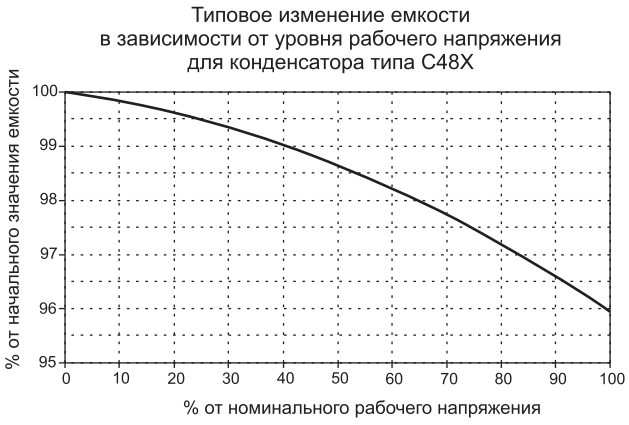


Рис. 4. Изменение емкости конденсаторов на основе диэлектрика C48 в зависимости от уровня приложенного напряжения (в процентах относительно рабочего напряжения конденсатора)

показывает, что реальное значение емкости такого конденсатора будет соответствовать тому, как если бы в его конструкции использовались керамические диэлектрики типов X7R или 2R1.

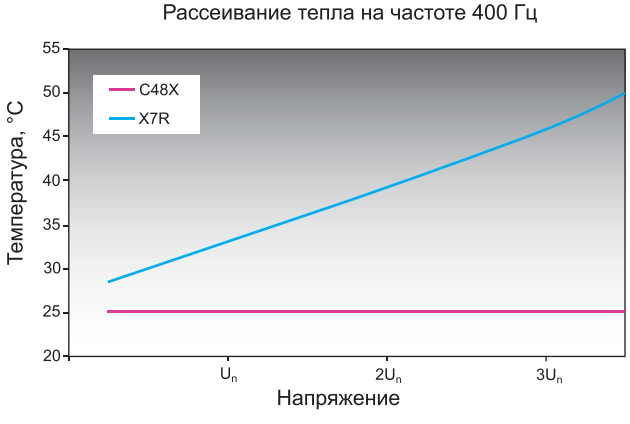


Рис. 5. График изменения температуры конденсаторов типа C48X во всем рабочем диапазоне напряжений на частоте 400 Гц по сравнению с конденсаторами на основе керамики типа X7R

Кроме того, tgδ нового диэлектрика является весьма низким, обычно он составляет менее 0,05%. При таком уровне собственных потерь тепловыделение при использовании таких конденсаторов уже не имеет столь существенного значения.

При одинаковых значениях емкости конденсаторы новой серии эквивалентны конденсаторам с диэлектриком типа X7R, но обладают непревзойденным преимуществом — практически отсутствует тепловыделение. Рисунок 5 демонстрирует эту особенность новых конденсаторов по сравнению с конденсаторами, выполненными на основе керамического материала X7R. Данные приведены на частоте 400 Гц. Как видим, в отличие от конденсаторов с диэлектриком типа X7R, температура корпуса конденсаторов C48X не повышается, что, естественно, делает их более надежными.

Рассматриваемая керамика гораздо лучше приспособлена для использования в низкочастотных приложениях (как правило, для частот 50 и 400 Гц), чем материалы типа X7R. Вот почему она сейчас широко используется, например в оборудовании с непосредственным подключением к электрической сети.

Кроме того, этот материал также может выдерживать и очень высокие скорости нарастания напряжения (dV/dt), которые могут достигать значений 10 кВ/мкс (для сравнения: типовое значение для классического X7R-диэлектрика составляет 100 В/мкс).

Номенклатура конденсаторов

Конденсаторы Eurofarad с использованием керамического материала типа C48 разработаны на уровни рабочих напряжений от 200 В до 5 кВ с чипами типоразмеров от 1812 до 16080, что позволяет получить максимальное значение емкости таких чип-конденсаторов, равное 10 мкФ, с рабочим напряжением 200 В. В то же время варианты в виде сборок предлагаются с максимальным значением емкости в 47 мкФ с рабочим напряжением 200 В. Принимая во внимание низкие собственные потери рассматриваемых конденсаторов, можно сделать вывод о том, что такой продукт будет оптимально пригодным для использования в решениях, предназначенных для силовых цепей.

Что касается монтажа этих конденсаторов, то, чтобы обеспечить их совместимость и с технологией поверхностного монтажа, и с монтажом через сквозные отверстия, предусмотрен достаточно широкий ряд доступных для примене-

КОММЕНТАРИЙ СПЕЦИАЛИСТА

Ольга Синякова,
инженер по внедрению департамента пассивных компонентов холдинга PT Electronics,
olga.sinyakova@ptelectronics.ru

Немаловажным преимуществом является то, что использование диэлектрика C48X позволяет конденсаторам выдерживать очень высокие скорости нарастания напряжения dV/dt — до 10 кВ/мкс. Это делает конденсаторы типа C48X отлично приспособленными для импульсных устройств и приложений, требующих многократных циклов заряда/разряда, а также устройств военного назначения.

ния конфигураций в части конструктивного исполнения (таблица 2). Все эти версии подходят для использования в оборудовании, работающем в космическом пространстве, и могут быть разработаны так, чтобы избежать риска роста «усов» олова. В этом случае нельзя использовать припои без содержания как минимум 10% свинца.

Таблица 2. Различные исполнения конденсаторов, предлагаемых для серии C48X

Тип	Выводы/Покрытие	
Чип	Ag/Pd , Sn, Sn/Pb, Au	
DIL и ленточные выводы (чипы и составные конденсаторы)	DIL для поверхностного монтажа	
	Ленточные выводы/лакированные	
	DIL для монтажа в отверстия/ лакированные	
Радиальные выводы	луженая медь/лакированные	
	луженая медь/окукленные	
	луженая медь/изолированные	

Более подробная информация представлена в Приложении 1.

Для целей поверхностного монтажа, компоненты могут быть выбраны в исполнении для установки непосредственно на плату, что характерно для большинства обычных конденсаторов, или (что рекомендуется для конденсаторов больших типоразмеров) использовать конденсаторы с ленточными выводами (R-версии) либо с выводами типа DIL (версии P, PL и L). В последнем случае будет поглощаться большая часть термомеханических напряжений, предотвращая таким образом образование трещин в керамическом материале конденсаторов.

При необходимости монтажа в отверстия печатной платы могут использоваться конденсаторы с выводами DIL (Dual-In-Line package — плоский корпус с двусторонним расположением выводов, версия N) или с классическими проволочными радиальными выводами, пригодными как для пайки вручную, так и для групповой пайки волной припоя. Для такого монтажа доступны конденсаторы с различными покрытиями, которые выбираются в зависимости от требуемой степени защиты от воздействия окружающей среды.

Области применения и новые разработки

Компания Eurofarad производит продукцию для основных аэрокосмических и оборонных предприятий, многие из предлагаемых конденсаторов уже используются в ракетной технике, в системах регулирования и управления двигателями, устройствах молниезащиты, центральных процессорных блоках.

Характеристики материала C48 (кроме зависимости их емкости от температуры) достаточно близки по характеристикам к конденсаторам, выполненным с использованием керамики типа NP0. Так, предполагается, что для тех приложений, где стабильность температуры не является ключевым параметром, при использовании этой новой керамики емкость конденсаторов NP0 может быть увеличена с коэффициентом, равным пяти. Или, если посмотреть с другой стороны, для заданного номинала емкости габариты конденсатора могут быть уменьшены в пять раз, что является весьма перспективным для целей миниатюризации приложений, в которых ранее использовались конденсаторы с диэлектриком типа NP0.

Еще одним направлением для дальнейшего развития конденсаторов типа C48X является разработка изделий для целей космической отрасли. Работы компании Eurofarad активно направлены на разработку и квалификацию для космического применения конденсаторов, рассчитанных на более низкие рабочие напряжения и имеющих меньшие габаритные размеры. Начало работ ориентировочно запланировано на середину 2015 г.

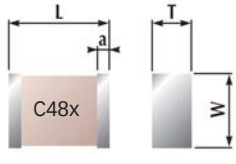
Заключение

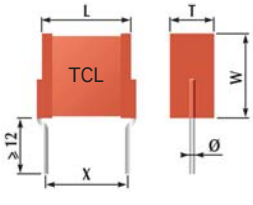
Предлагаемая новая серия высоковольтных конденсаторов выпускается с использованием керамического диэлектрика, характеристики которого имеют промежуточное значение между показателями для материалов типа NP0 и X7R (2R1), и является весьма перспективной, например для использования в цепях питания космического оборудования. Опыт применения конденсаторов Eurofarad в военной и аэрокосмической технике подтверждает, что именно такой вариант конструктивного исполнения может быть очень полезным для использования в этой области.

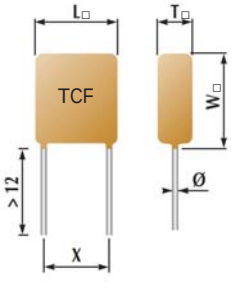
ПРИЛОЖЕНИЕ 1а

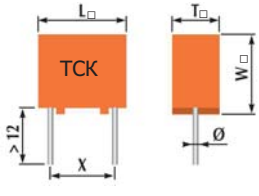
Варианты исполнения конденсаторов серии С48Х

Чип-конденсаторы и конденсаторы с радиальными выводами									
Модель	С479 TCL 479 TCK 479 TCF 479	С480 TCL 480 TCK 480 TCF 480	С481 TCL 481 TCK 481 TCF 481	С482 TCL 482 TCK 482 TCF 482	С483 TCL 483 TCK 483 TCF 483	С484 TCL 484 TCK 484 TCF 484	С485 TCL 485 TCK 485 TCF 485	С487 TCL 487 TCK 487 TCF 487	С488 TCL 488 TCK 488 TCF 488
Типоразмер	1812	2220	2825	3333	4040	5440	6560	11283	16080
L (длина)	4,5 ± 0,5	5,7 ± 0,5	7,0 ± 0,5	8,4 ± 0,5	10,16 ± 1	13,7 ± 1	16,5 ± 1	28,5 ± 1	39,5 ± 1
W (высота)	3,2 ± 0,5	5,0 ± 0,5	6,35 ± 0,5	8,4 ± 0,5	10,16 ± 1	10,16 ± 1	15,2 ± 1	21 ± 1	19,2 ± 1
a	0,6 ± 0,5	0,7 ± 0,5	1 ± 0,5	1 ± 0,5	1,5 ± 0,5	1,5 ± 0,5	1,5 ± 0,5	1,5 ± 0,5	1,5 ± 0,5
T_{max} (макс. толщина)	3,5	3,8	4	4	4	4	4	4	4
$L_{1\,max}$ (макс. длина)	6,5	8	10	10,5	14	17,5	20	31	45
$W_{1\,max}$ (макс. высота)	6	9	8,9	11,5	14,5	14,5	19	24	23
$T_{1\,max}$ (макс. толщина)	5	5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
L_2 ± 0,5 (длина)	7,2	8	10,5	13	15	18	20	31	45
W_2 ± 0,5 (высота)	5	8	9	12	14	16	19	24	23
$T_{2\,max}$ (макс. толщина)	5	5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
X ± 0,5 (межвыводное расстояние)	5,08	5,08	7,62	10,16	12,7	15,24	17,8	27,94	40,64
Ø -0,05 +10% (диаметр вывода)	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	1	1	1	1
$Ø_1$ -0,05 +10% (диаметр вывода)	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1

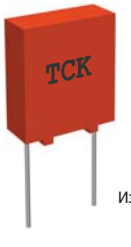




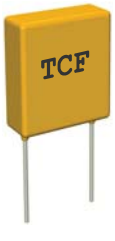




Лакированный



Изолированный



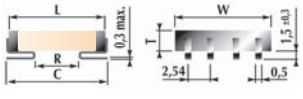
Окукленный эпоксидной смолой

ПРИЛОЖЕНИЕ 1б

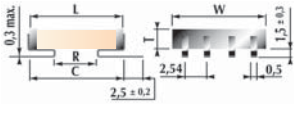
Варианты исполнения конденсаторов серии C48X

Конденсаторы с выводами исполнения DIL и с ленточными выводами				
Модель	C480 P-PL-L-R-N	C481 P-PL-L-R-N	C482 P-PL-L-R-N	C483 P-PL-L-R-N
Типоразмер	2220	2825	3333	4040
L (длина)	5,7 ± 0,5	7,0 ± 0,5	8,4 ± 0,5	10,16 ± 1
W (высота)	5,0 ± 0,5	6,35 ± 0,5	8,4 ± 0,5	10,16 ± 1
R min	2,5	3,5	4,5	7
C max	7	8	9	12
a ± 0,2	2,2	2,2	3,5	3,5
b ± 0,5	5	5	8	8
Количество выводов	2	2	3	4
Модель	C484 P-PL-L-R-N	C485 P-PL-L-R-N	C487 P-PL-L-R-N	C488 P-PL-L-R-N
Типоразмер	5440	6560	11283	16080
L (длина)	13,7 ± 1	16,5 ± 1	28,5 ± 1	39,5 ± 1
W (высота)	10,16 ± 1	15,2 ± 1	21 ± 1	19,2 ± 1
R min	10	13	25	35
C max	15,5	18,5	32	42
a ± 0,2	3,5	3,5	3,5	3,5
b ± 0,5	8	15	15	15
Количество выводов	4	6	6	6

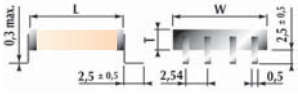
C48x P



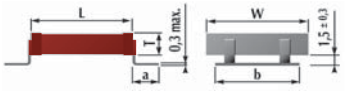
C48x PL



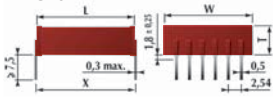
C48x L



C48x R

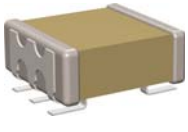


C48x N

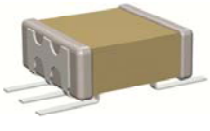


Составной конденсатор

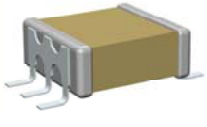
C48x P



C48x PL



C48x L



C48x R