

# Керамика: выход из танталового кризиса

## Керамические конденсаторы: современное состояние и перспективы развития

Современное развитие электронного оборудования требует от производителей компонентов создания новых элементов и усовершенствования старых. Без преувеличения можно сказать, что керамический конденсатор является одним из самых распространенных элементов в современной электронике. Например, видеокамера содержит от 300 до 500 керамических конденсаторов поверхностного монтажа. Признанным лидером по производству электронных компонентов из керамических материалов является фирма Murata.

Андрей Скрипников

support@alkon.net

Murata была создана в 1944 г. и стала первым производителем керамических конденсаторов на основе оксида титана (TiO<sub>2</sub>). Со дня своего основания она вела научно-исследовательские разработки в области керамических материалов и их применения, производила широкий спектр электронных компонентов, использующих уникальные свойства керамики. Например, Murata является одним из пионеров в области разработки керамических материалов на основе титаниста бария (BaTiO<sub>3</sub>), имеющих очень высокий коэффициент диэлектрической проницаемости.

Керамика — материал, похожий на обожженную глину. Изготавливается в процессе спекания в специальных печах различных, очищенных на атомном уровне материалов. Путем добавления различных примесей, варьирования температурных и других характеристик процесса обжига можно изменять электрические свойства керамических материалов.

Полностью замкнутый цикл производства, включающий в себя все этапы от заготовки и очистки исходных материалов до упаковки готовой продукции, позволяет производить тщательный контроль качества продукции на каждом этапе производства.

Сегодня Murata значительно преуспела в деле разработки и производства электронных компонентов на основе керамики: доли рынка электронных компонентов, занимаемых ею, распределились следующим образом (рис. 1):

- керамические конденсаторы — 45 %;
- керамические резонаторы/фильтры — 65–70 %;

- сверхвысокочастотные фильтры — 50 %;
- EMI-фильтры — 35 %;
- PTC-термисторы — 20 %.

Каждый второй керамический конденсатор, используемый в электронном оборудовании, производится фирмой Murata. Таким образом, Murata производит больше электронных компонентов на основе керамических материалов, чем все остальные производители вместе взятые.

### Основные тенденции совершенствования качественных характеристик керамических конденсаторов

Можно выделить несколько основных направлений развития многослойных керамических конденсаторов (MLCC — Multi-layer ceramic capacitor) для поверхностного монтажа:

- миниатюризация;
- увеличение удельной емкости конденсаторов;
- исключение из производственного процесса драгоценных материалов (палладий и серебро), что приводит к удешевлению конечного продукта. Рассмотрим каждое из этих направлений по отдельности.

#### Миниатюризация

С течением времени спрос на конденсаторы больших размеров падает и увеличивается спрос на более миниатюрные. По прогнозу аналитиков фирмы Murata, мировой спрос на конденсаторы различных размеров с период с 1980 по 2006 гг. отражает диаграмма, приведенная на рис. 2.



Рис. 1. Доли мирового рынка электронных компонентов, занимаемые фирмой Murata

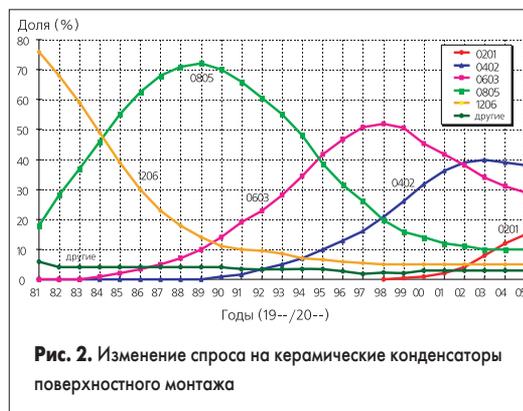


Рис. 2. Изменение спроса на керамические конденсаторы поверхностного монтажа

Диаграмма говорит сама за себя. Уже сейчас многие отечественные производители успели испытать трудности с приобретением конденсаторов типоразмера 1206, заставившие их перейти на конденсаторы типоразмера 0805 и менее. Однако в ближайшее время им, очевидно, придется столкнуться с похожей проблемой, связанной с поставками конденсаторов типоразмера 0805, в настоящее время уже практически полностью вытесненных конденсаторами 0603 и 0402. Не за горами эра господства сверхминиатюрных конденсаторов типоразмера 0201 и менее. В течение ближайших 2-3 лет конденсаторы 0201 вытеснят 75% конденсаторов 0402. Следовательно, необходимо задуматься о модернизации монтажного оборудования уже сейчас.

**Увеличение удельной емкости конденсаторов**

Миниатюризация не должна привести к снижению верхней границы емкости в линейке конденсаторов. Следовательно, каждый этап миниатюризации требует разработки новых материалов и технологий. Но, с другой стороны, новые материалы и технологии позволяют изготавливать керамические конденсаторы достаточно большой емкости.

Рассмотрим график роста производства конденсаторов с высокой удельной емкостью (рис. 3).

Тенденции увеличения удельной емкости конденсаторов можно разделить на несколько направлений. Первое из них — увеличение емкости конденсаторов общего назначения.

Данное направление потребовало разработки нового диэлектрического материала, который получил индекс X5R. Конденсаторы на основе этого диэлектрика имеют емкость до 220 мкФ при рабочем напряжении до 6,3 В. При всех достоинствах сразу бросается в глаза их сравнительно низкое рабочее напряжение. В принципе это не является серьезным фактором, ограничивающим применение этих конденсаторов, так как современные электронные изделия не требуют для своей работы напряжения выше 5 В. Однако фирма Murata выпускает и конденсаторы высокой емкости с увеличенным рабочим напряжением (10 мкФ × 50 В, 47 мкФ × 16 В и т. д.).

Вторым направлением является увеличение емкости сверхминиатюрных конденсаторов (0402 и менее). В настоящее время освоено производство конденсаторов размером 0201 емкостью до 100 нФ.

Третье направление — это увеличение емкости конденсаторов при сохранении их высокой температурной стабильности. Для этих целей специалистами фирмы Murata разработан диэлектрик SL, сочетающий в себе, с одной стороны, большое значение относительной диэлектрической проницаемости, а с другой — высокую температурную стабильность. В настоящее время освоен выпуск керамических конденсаторов с диэлектриком SL емкостью до 1 мкФ при рабочем напряжении 25 В.

**Использование альтернативных материалов**

Долгое время в керамических конденсаторах использовались дорогостоящие электроды Ag/Pd. Из-за достаточно большого спроса

на палладий и его малой распространенности в природе мировые цены на него нестабильны, что сказывается и на ценах керамических конденсаторов. Эти причины заставили инженеров фирмы Murata приступить к поиску альтернативных материалов для обкладок конденсаторов. В результате замена была найдена, однако по ряду причин это потребовало существенного изменения всего производственного процесса. В настоящее время в более чем 90% конденсаторов, выпускаемых фирмой Murata, содержатся никелевые электроды (рис. 4). Использование электродов этого типа позволяет устанавливать достаточно низкие и стабильные цены на керамические конденсаторы при сохранении высокого качества выпускаемой продукции.

**Замена танталовых конденсаторов**

В настоящее время танталовые конденсаторы являются причиной головной боли начальников отделов комплектации крупных и мелких предприятий. Отдельные номиналы и целые ряды то исчезают с рынка, то вновь неожиданно появляются. Цены на них нестабильны, спрогнозировать ситуацию на рынке танталовых конденсаторов не берется даже «зубры» электронного бизнеса, такие как Agrow Electronics и Avnet Electronics. Некоторые конструкторы даже ценой ухудшения параметров выпускаемого изделия стремятся избавиться от использования танталовых конденсаторов путем замены их алюминиевыми аналогами с малым током утечки — благо в последнее время

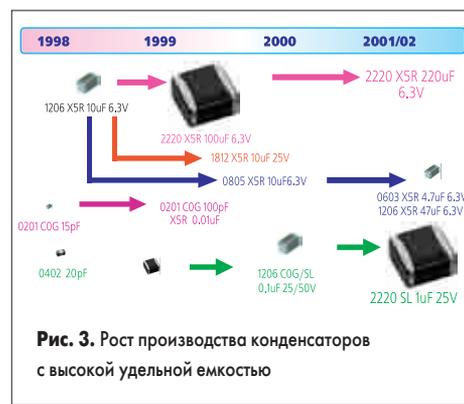


Рис. 3. Рост производства конденсаторов с высокой удельной емкостью

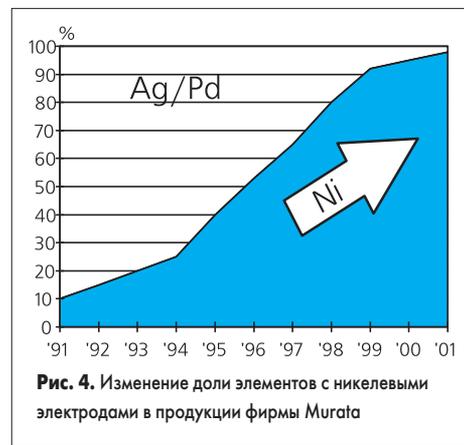


Рис. 4. Изменение доли элементов с никелевыми электродами в продукции фирмы Murata

приобрести алюминиевые электролитические SMD-конденсаторы не составляет проблемы. Но есть и другой выход — отказ от использования танталовых конденсаторов и замена их керамическими с высокой удельной емкостью.

**Зависимость полного сопротивления/ESR от частоты**

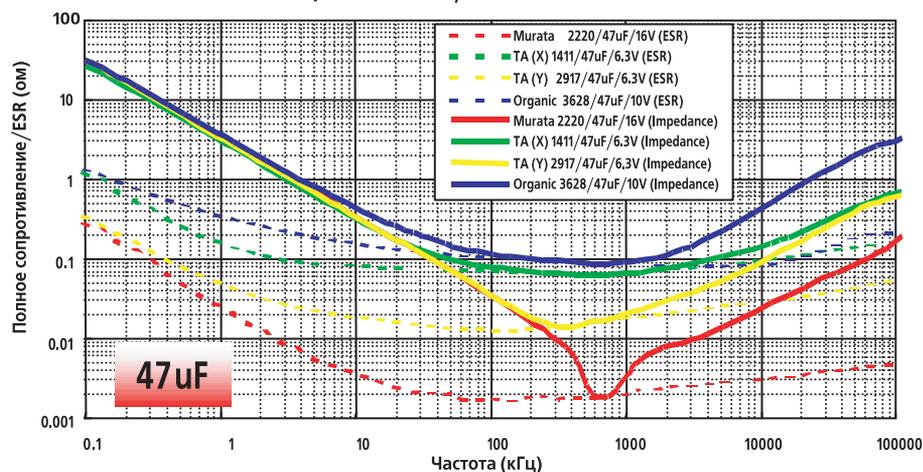


Рис. 5. Зависимость полного и эквивалентного последовательного сопротивления конденсаторов от частоты

TA /AL	MLCC	6.3V	10V	16V	25V	35V / 50V
0.1uF → 0.047uF		-->	GRM36 X7R 473K 10	-->	GRM39 X7R 104K 25	GRM40 X7R 473K 50
0.22uF → 0.1uF		-->	GRM36 X5R 104K 10	GRM39 X7R 104K 16	GRM39 X7R 104K 25	GRM40 X7R 104K 50
0.47uF → 0.22uF		-->	GRM39 X7R 224K 10	-->	GRM40 X7R 224K 25	GRM40 X7R 224K 50
1.0uF → 0.47uF	GRM39 X5R 474K 6.3		GRM40 X7R 474K 16	GRM40 X7R 474K 16	GRM40 X7R 474K 25	GRM42-6 X7R 474K 50
2.2uF → 1.0uF	GRM39 X5R 105K 6.3		-->	GRM40 X7R 105K 16	GRM42-6 X7R 105K 25	GRM42-2 X7R 105K 50
4.7uF → 2.2uF	GRM40 X5R 225K 6.3		GRM42-6 X5R 225K 10	GRM42-6 X7R 225K 16	GRM42-2 X7R 225K 25	
10uF → 4.7uF	GRM40-034X5R475K6.3		GRM42-6 X5R 475K 10	GRM42-6 X5R 475K 16	GRM42-2 X5R 475K 25	GRM44-1 X7R 475K 50
22uF → 10uF	GRM42-6 X5R106K 6.3		GRM42-2 X5R 106K 10	GRM42-2 X5R 106K 16	GRM43-2 X5R 106K 25	
47uF → 22uF	GRM42-2 X5R 226K 6.3					
100uF → 47uF						
220uF → 100uF	GRM44-1X5R 107K 6.3					

Рис. 6. Рекомендуемые замены танталовых конденсаторов при работе в схеме сглаживающего фильтра

F=100kHz

Давайте разберемся, какие функции выполняет танталовый конденсатор в электронном приборе. С помощью конденсатора отфильтровывается более высокочастотная, по сравнению с самим сигналом, помеха. Танталовый конденсатор используется как фильтр в низкочастотных цепях. Классическая область его применения — выпрямители источников питания. Кроме того, танталовые конденсаторы используются для развязки по переменному току.

Из-за более низкого значения полного сопротивления и ESR фильтрующие свойства керамических конденсаторов ярко выражены по сравнению с аналогичными по емкости танталовыми конденсаторами (рис. 5). Особенно это сказывается при работе на высоких частотах. По этой причине рекомендуется замена на керамический конденсатор емкостью

в несколько раз меньшей, чем танталовый (рис. 6).

Во-вторых, емкость керамических конденсаторов практически не изменяется в очень широком диапазоне частот (рис. 7).

В-третьих, керамические конденсаторы выдерживают значительные перегрузочные напряжения по сравнению с танталовыми, что позволяет использовать их в тех цепях, где возможны выбросы высокого напряжения (рис. 8).

В-четвертых, температурные характеристики керамических конденсаторов значительно лучше танталовых, что позволяет использовать их в устройствах, работающих в тяжелых климатических условиях (рис. 9).

Рассмотрим практический пример использования керамической замены танталового конденсатора. На рис. 10 приведена упрощен-

ная схема нерезонансного преобразователя DC/DC. Его характеристики:

- входное напряжение — 12 В;
- выходное напряжение — 5 В;
- выходной ток — 4 А;
- мощность — 20 Вт;
- частота преобразования — 400 кГц.

Пулсация напряжения на выходе преобразователя при использовании керамического и танталового конденсаторов имеет следующий вид, как показано на рис. 11.

Очевидно, что пульсация напряжения при установке керамического конденсатора в несколько раз меньше, чем при установке равного по емкости танталового конденсатора, что подтверждает возможность и справедливость замены танталовых конденсаторов керамическими.

Следует также учесть тот факт, что по своим размерам керамические конденсаторы во многих случаях меньше своих танталовых собратьев. Это позволяет несколько уменьшить размеры устройства. А возможность работы керамического конденсатора на высоких частотах дает возможность, например, увеличить частоту преобразования преобразователя DC/DC, тем самым не только уменьшая его размер, но и повышая КПД преобразования.

Не стоит забывать, что запасы тантала не бесконечны. И если сейчас вы нашли надежного поставщика танталовых конденсаторов, это не значит, что в будущем он не повысит цены на отпускаемую продукцию или не сократит ее ассортимент. Использование керамических конденсаторов избавит вас от этой проблемы надолго.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что в обозримом будущем намечается тотальное господство электронных компонентов на основе керамических материалов. С течением времени емкость керамических конденсаторов будет расти, а размеры и рабочее напряжение — уменьшаться. Керамические конденсаторы будут постепенно вытеснять из электронных устройств алюминиевые и танталовые конденсаторы.

Более подробную информацию о продукции фирмы Murata можно получить по адресу <http://www.alkon.n et/murata/>. Там же содержится информация о семинарах для разработчиков электронной аппаратуры, посвященных продукции фирмы.

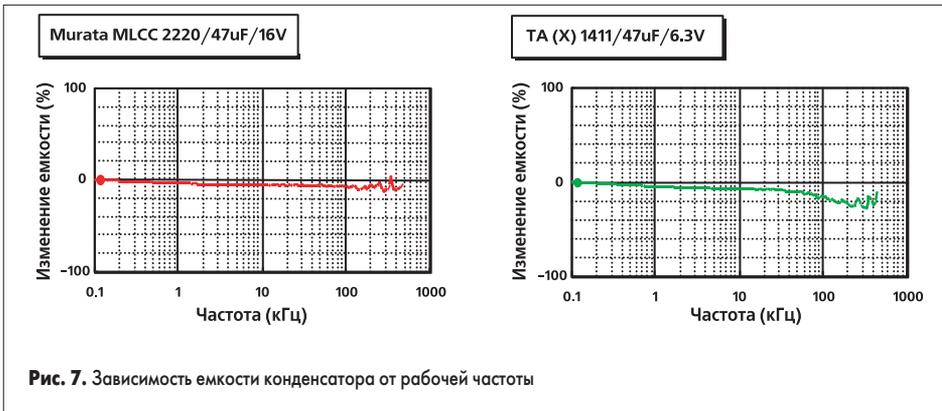


Рис. 7. Зависимость емкости конденсатора от рабочей частоты

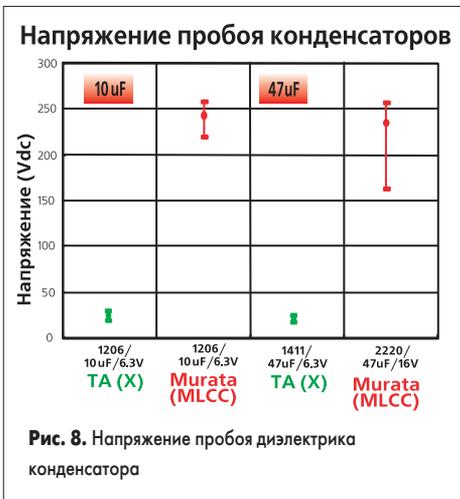


Рис. 8. Напряжение пробоя диэлектрика конденсатора

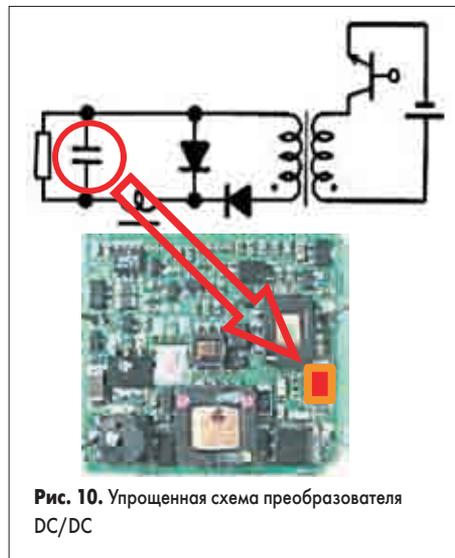


Рис. 10. Упрощенная схема преобразователя DC/DC

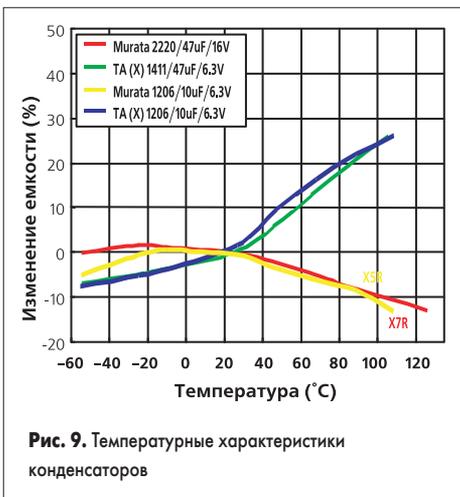


Рис. 9. Температурные характеристики конденсаторов

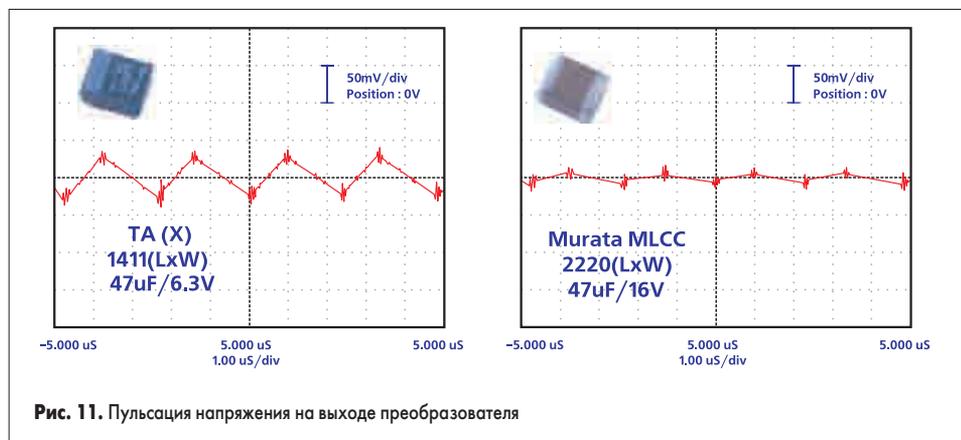


Рис. 11. Пулсация напряжения на выходе преобразователя