

Новая технология MLCC для производства керамических конденсаторов больших размеров

Соджи ТСУБОТА
(Shoji TSUBOTA)

Новые керамические материалы и технологии обжига позволяют производить керамические конденсаторы с характеристиками, которые в недавнем прошлом казались недостижимыми. Размер новых силовых конденсаторов в 87 раз больше, чем у самых больших компонентов предыдущих серий, но, тем не менее, по массо-габаритным показателям они подходят даже для использования в гоночных автомобилях серии Ф1.

До недавнего времени в силовых схемах транспортных средств с электрическим или гибридным приводом использовались только пленочные или электролитические конденсаторы. Для цепей питания подобных устройств необходима емкость в диапазоне десятков и тысяч мкФ. Особенностью работы конденсаторов в транспортных применениях являются очень высокие токи пульсаций и жесткие условия воздействия окружающей среды. Существующие технологии не позволяли производить достаточно большие высоковольтные многослойные керамические конденсаторы (MLCC). Главной проблемой было растрескивание керамики при обжиге. Кроме того, допустимые токи пульсаций MLCC были далеки от необходимых для транспортного привода величин.

Ученые компании Murata подтвердили, что они способны производить MLCC-конденсаторы гораздо большей емкости, которая соизмерима с показателями пленочных и электролитических емкостей и соответствует требованиям, предъявляемым к устройствам

силовой электроники. В первую очередь для решения этой задачи необходимо было разработать новую технологию обжига, пригодную для производства керамических конденсаторов больших размеров.

Для данного проекта были разработаны полностью новые материалы, обеспечивающие гораздо меньший уровень потерь, свойства которых резко отличаются от любых других типов MLCC. В результате компании Murata удалось изготовить самый большой в мире конденсатор Power MONO, размер которого в 87 раз превышает габариты наибольшего из компонентов предыдущих серий.

Конструкция и основные свойства

В новых керамических конденсаторах Murata Power MONO, отличающихся низким уровнем потерь в сочетании с высокой емкостью, использован керамический материал BaTiO_3 (рис. 1). По всему пространству керамики располагается сетка внутренних электродов, изготовленных из никеля. Они подключены

к внешним медным электродам, которые в свою очередь соединены с металлическими выводами методом сварки без применения свинцово-содержащих материалов.

При производстве любых керамических компонентов большого размера главной проблемой является растрескивание материала керамики. Для преодоления этой проблемы в конденсаторах Power MONO применяются специально разработанные выводы, позволяющие предотвратить возникновение механических напряжений и появление трещин при монтаже компонентов на печатную плату.

На графике, представляющем зависимость номинального напряжения от емкости (рис. 2), зона Power MONO расположена вне области, традиционно занимаемой MLCC. Напротив, она близка к зоне, в которой находились только пленочные конденсаторы, таким образом, Power MONO представляют собой принципиально новый класс MLCC.

Материал BaTiO_3 , специально разработанный для производства конденсаторов большой емкости с малыми потерями, позволяет повысить допустимый удельный ток пульсаций до уровня $1,56 \text{ A/cm}^2$. Эта величина несколько выше показателя пленочных конденсаторов и в 2 раза больше типового значения для электролитов (рис. 3).

Поскольку, как видно на диаграмме (рис. 3), MLCC имеют явное преимущество по допустимому току пульсаций, существует возможность заменить пленочные или алюминиевые конденсаторы на MLCC меньшей емкости. При этом керамические конденсаторы могут быть расположены близко к другим компонентам схемы благодаря отсутствию у них эффекта саморазогрева. В некоторых случаях применение Power MONO позволяет снизить требования к системе охлаждения всего устройства.

Представляет интерес и такой важный параметр, как удельная емкость. Для Power MONO

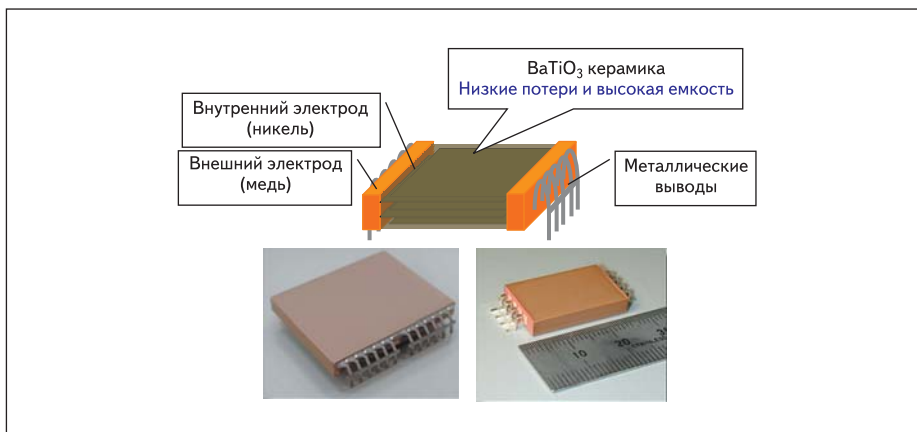


Рис. 1. Конструкция и внешний вид Power MONO

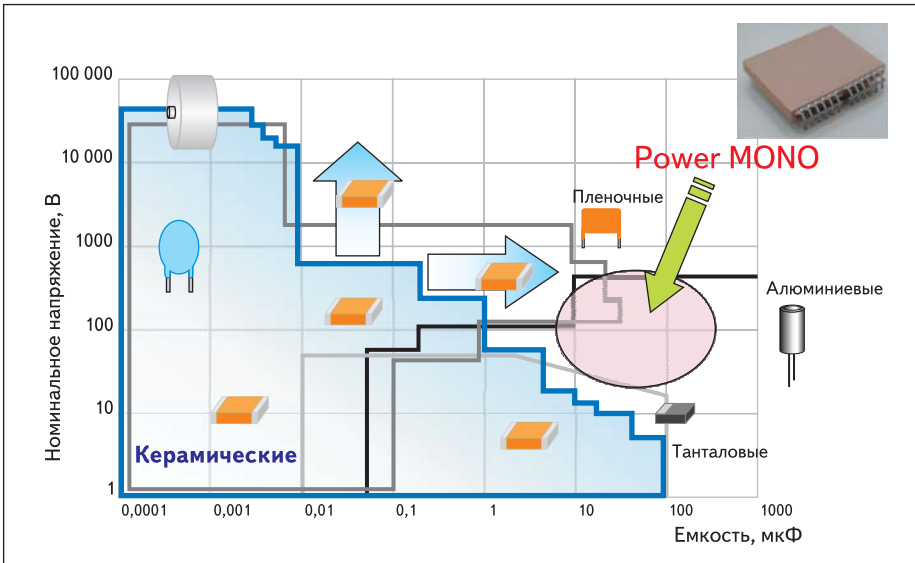


Рис. 2. Рабочее напряжение в зависимости от емкости для различных технологий производства конденсаторов

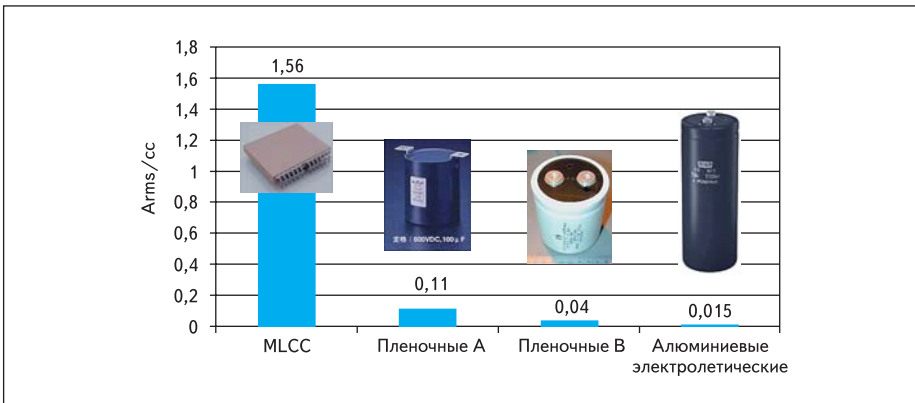


Рис. 3. Удельный ток пульсаций для различных технологий конденсаторов

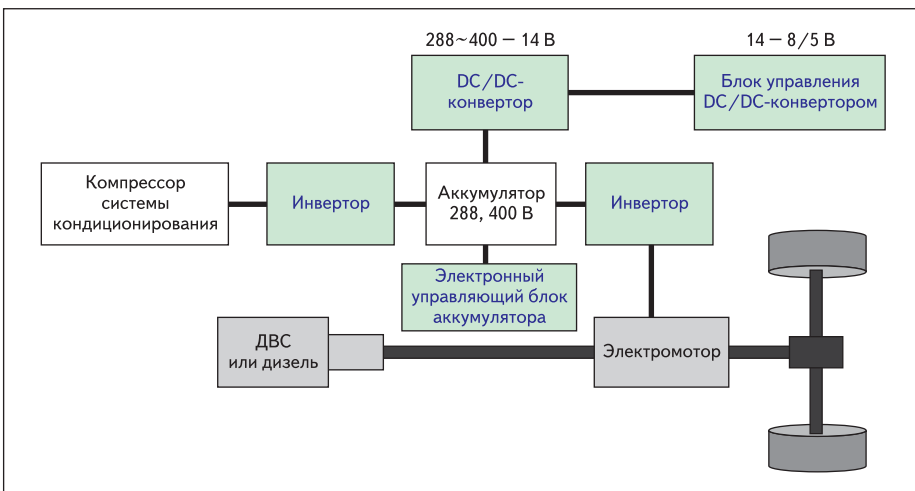


Рис. 4. Вариант схемы гибридного привода

удельная емкость составляет 2,4 мкФ/см³ в сравнении с 1,2 мкФ/см³ для пленочных конденсаторов и 1,89 мкФ/см³ для алюминиевых электролитов. Это означает, что, несмотря на относительно «большие» габариты MLCC Power MONO (32×40×4 мм), по удельным по-

казателям он оказывается меньше, чем пленочные или электролитические конденсаторы.

Новая технология Murata подходит для применения в транспортных средствах с электрическим или гибридным приводом, где требуются высоковольтные конденсаторы

с большим значением токов пульсаций, отличающиеся малыми габаритами и очень хорошими тепловыми характеристиками. На рис. 4 представлен вариант схемы гибридного привода, в котором энергия поступает от ДВС/дизеля или от электромотора. Особенность данной схемы — наличие двух модулей инвертора, один из них работает с электрическим мотором, а второй обеспечивает работу климатической установки.

Напряжение питания обоих инверторов составляет 400 В. Как правило, пленочные конденсаторы использовались в качестве снабберов в DC-цепях силовых инверторов. Однако надежность пленочных и электролитических емкостей в значительной степени зависит от условий эксплуатации из-за низкой термостойкости, причиной которой является использование органических материалов при их производстве. Компоненты Power MONO изготавливаются только из неорганических материалов, благодаря чему им присуща очень высокая стойкость к перегреву. Емкостям MLCC свойственна и более высокая, чем у пленочных конденсаторов, стойкость к переходным перенапряжениям благодаря низким значениям ESR и ESL (эквивалентное последовательное сопротивление и эквивалентная последовательная индуктивность). Поскольку MLCC теперь доступны с рабочим напряжением 1200 В, они могут быть успешно использованы на транспорте.

Конденсаторы Power MONO применялись при разработке нового электрического скутера с батарейным питанием. Максимальная скорость скутера составляет 100 км/ч, на разгон до 80 км/ч требуется 6,8 с, запас хода достигает 68 миль (время заряда батарей — 2 часа). Данное транспортное средство является в высшей степени экологичным, оно относится к классу ZEV (Zero Emission Vehicle — транспорт с нулевым уровнем загрязнений).

Четыре емкости Power MONO установлены в цепи питания силового преобразователя. Конденсаторы используются для снижения уровня переходных перенапряжений, образуемых при переключении IGBT модулей инвертора. Благодаря способности MLCC-компонентов подавлять коммутационные выбросы напряжения, появилась возможность использовать IGBT с меньшим рабочим напряжением, что, вместе с уменьшением размера самого подавляющего конденсатора, позволяет сделать всю систему инвертора более компактной.

Система возврата кинетической энергии

Еще одним интересным применением Power MONO компонентов стала система возврата кинетической энергии KERS (Kinetic Energy Recovery System), разработанная для автомобилей класса «Формула 1», дизайном

которой занимается компания Magneti Marelli. Низкие массо-габаритные показатели модуля KERS обеспечиваются за счет применения передовых технологий, подобных Power MONO.

Благодаря изменениям в техническом регламенте «Формулы 1», модули KERS могут быть допущены к применению в сезоне 2009 года. Система KERS позволяет запасать энергию, выделяемую при торможении автомобиля, и в дальнейшем использовать ее для повышения мощности силовой установки. За один круг можно накопить около 400 кДж энергии и получить прибавку мощности порядка 60 кВт. Это эквивалентно снижению на 6,7 с времени, затрачиваемого на прохождение круга. Ожидается, что внедрение подобных

систем откроет новые возможности гоночных автомобилей, особенно в режимах ускорения и обгона.

Компания Magneti Marelli выбрала конденсаторы Power MONO для применения в силовом преобразователе модуля KERS благодаря высокому допустимому току пульсаций компонентов MLCC и, что самое важное, низким массо-габаритным параметрам. Вес блока KERS является очень важным показателем, так как распределение массы внутри транспортного средства, особенно гоночного, во многом определяет его динамические свойства. А малые размеры компонентов с очень высокой удельной емкостью свойственны технологиям керамических материалов компании Murata.

Использование компонентов Power MONO в модуле KERS также демонстрирует их способность надежно работать в предельно тяжелых условиях эксплуатации. Конденсаторы Power MONO сохраняют свои свойства во всем диапазоне рабочих температур, которые для транспортных применений достигают 125 °С.

Как правило, новые идеи и технологии, использованные в болидах «Формулы 1», впоследствии находят свое применение и в коммерческом транспорте. В этом смысле внедрение систем KERS позволит повысить экологические характеристики как гоночных, так и обычных автомобилей. Компания Murata надеется с помощью внедрения KERS и развития электрического транспорта внести свой вклад в защиту окружающей среды. ■