

# Конструктивные решения проблемы смещения по постоянному току в многослойных керамических конденсаторах

Многослойные керамические конденсаторы (MLCC) обладают многочисленными преимуществами. Среди них главное — это небольшие размеры и уникальная энергоёмкость; однако при определенных условиях ёмкость может уменьшаться при приложении постоянного напряжения. Данный феномен называется эффектом DC-bias (смещение по постоянному току) и может представлять проблему для инженеров-конструкторов, незнакомых с характеристиками этой разновидности конденсаторов.

В связи с тем, что все больше инженеров открывают для себя преимущества многослойных керамических конденсаторов, особенно их важность в контексте современных беспроводных устройств, становится все насущнее необходимость в изучении эффекта DC-bias. К счастью, недавние достижения технологии материалов позволили ослабить этот эффект в керамике на основе титаната бария ( $\text{BaTiO}_3$ ). Кроме того, поставщики таких конденсаторов предлагают простые и эффективные интерактивные программные средства для настольных компьютеров, по-

могающие инженерам надлежащим образом учитывать данный эффект.

Эти средства проектирования позволяют избежать распространенных ошибок, четко демонстрируя связь между большими значениями ёмкости и сильным эффектом DC-bias. Многослойные керамические конденсаторы — ключ к разработке новаторских технологий, поэтому понимание их особенностей и использование предоставляемых поставщиками средств проектирования являются важной частью работы инженера-конструктора.

## Преимущества керамики

Керамические компоненты, вне зависимости от производителя, находятся в авангарде тренда миниатюризации. Специальные манипуляции с сырой керамикой позволили уменьшить размеры конденсаторов и создать условия для доминирования многослойных керамических конденсаторов в отрасли. Их очень низкий импеданс в сочетании с довольно высокой ёмкостью зачастую дает основания предпочитать эти компоненты электролитическим конденсаторам (как с твердотельным, так и с жидким электролитом).

Спрос на керамику обусловлен также ее пьезоэлектрическими свойствами, которые позволяют вырабатывать электричество (когда кристаллы керамики подвергаются механическим напряжениям) и ферроэлектричество. Ферроэлектрическая керамика имеет гораздо более высокие значения пьезоэлектрической постоянной по сравнению с другими природными материалами. Кроме того, этот процесс ведет к спонтанной поляризации и обратной спонтанной поляризации.

зоэлектрической постоянной по сравнению с другими природными материалами. Кроме того, этот процесс ведет к спонтанной поляризации и обратной спонтанной поляризации.

## Ферроэлектричество и спонтанная поляризация

Ферроэлектричество, открытое в 1921 г., начало играть гораздо более заметную роль в электронике в 1950-х гг. с ростом применения  $\text{BaTiO}_3$ . Этот ферроэлектрический материал имеет структуру типа кислородного октаэдра с общими углами, но ферроэлектрики можно разделить еще на три категории: органические полимеры, керамические полимерные композиты и вещества, содержащие радикалы с водородными связями. Среди материалов со структурой типа кислородного октаэдра с общими углами  $\text{BaTiO}_3$  считается частью семейства перов-

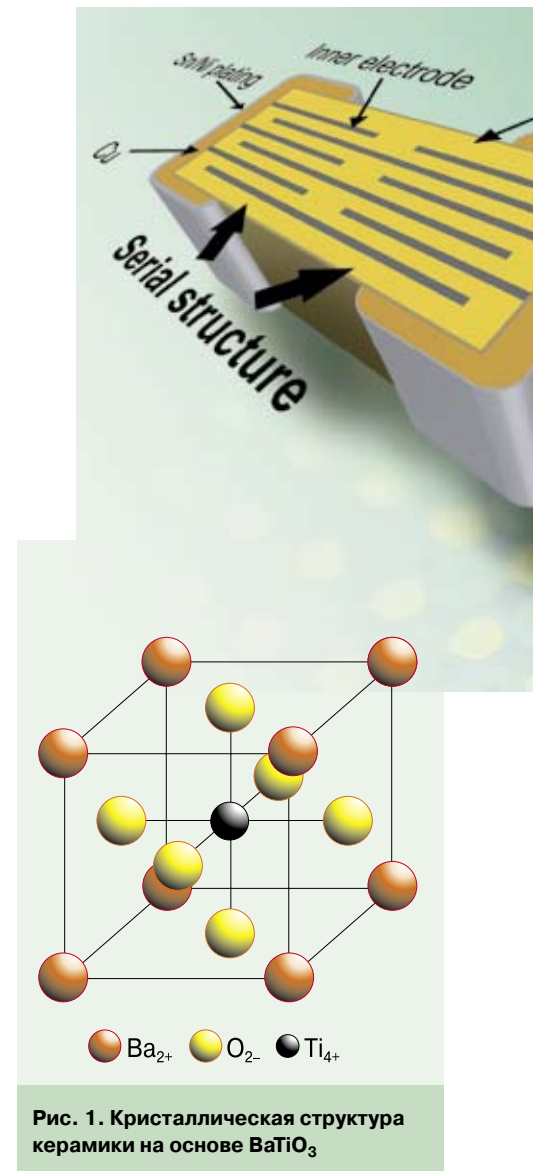
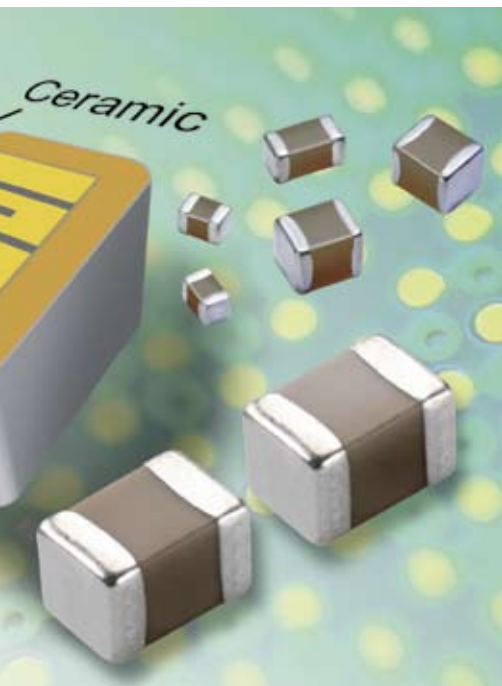


Рис. 1. Кристаллическая структура керамики на основе  $\text{BaTiO}_3$

скитов (рис. 1). В частности,  $\text{BaTiO}_3$  идеально подходит для изготовления многослойных керамических конденсаторов ввиду большого значения его диэлектрической постоянной при комнатной температуре. Например, у керамики на базе  $\text{BaTiO}_3$  со структурой перовскита значение диэлектрической постоянной может доходить до 7000, а у других видов керамики (например, двуокиси титана  $\text{TiO}_2$ ) оно колеблется от 20 до 70. В узком диапазоне температур диэлектрическая постоянная  $\text{BaTiO}_3$  может достигать 15000, в то время как у большинства распространенных керамических и полимерных материалов она не превышает 10.

Структура типа перовскита является кубической при температурах выше точки Кюри (около  $130^\circ\text{C}$ , также называется температурой перехода ферроэлектрической керамики).

Если диапазон температур располагается ниже точки Кюри, одна из осей (C) слегка



растягивается, а другая слегка сжимается, так что структура становится тетрагональной (рис. 2). В этом случае за счет того, что ион  $Ti_{4+}$  смещается в осевом направлении от центра кристалла, возникает поляризация. Иными словами, поляризация вызывается изначальной асимметрией кристаллической структуры, которая имеет место в отсутствие внешнего электрического поля или давления. Такой тип поляризации носит название спонтанной поляризации. Керамика на основе  $BaTiO_3$  представляет собой агломерацию микрокристаллитов (поликристалл) субмикронного диаметра,

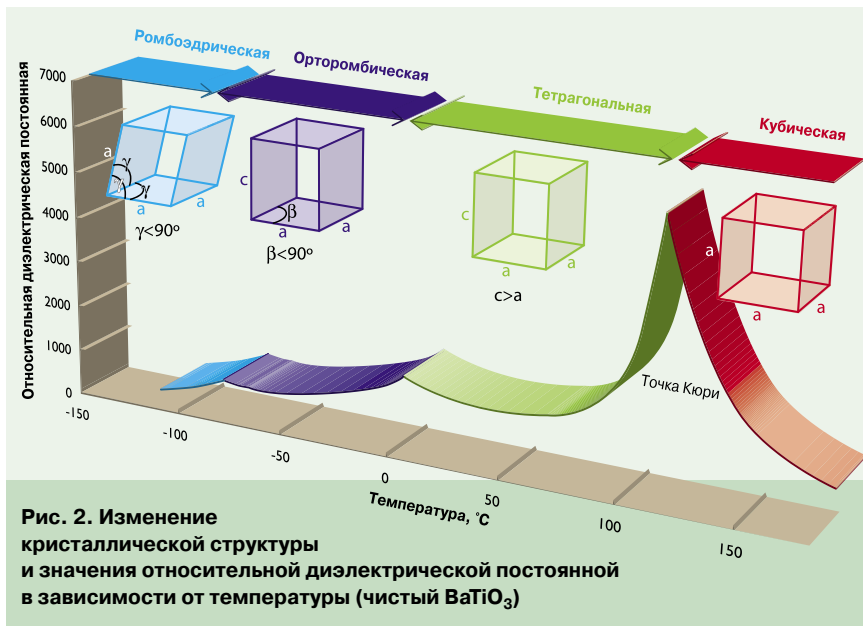


Рис. 2. Изменение кристаллической структуры и значения относительной диэлектрической постоянной в зависимости от температуры (чистый  $BaTiO_3$ )

как показано на рис. 3. Эти микрокристаллиты называются зёрнами, и их кристаллические структуры аккуратно выровнены. Зёрна поделены на множество случайным образом ориентированных доменов при температурах ниже точки Кюри. В пределах каждого домена имеется выделенное направление ориентации кристаллов, называемое направлением спонтанной поляризации.

Если керамику на основе  $BaTiO_3$  нагреть до температуры выше точки Кюри, кристаллическая структура переходит из тетрагональной фазы в кубическую. Вместе с этим в доменах исчезает спонтанная поляризация. После охлаждения до тем-

пературы ниже точки Кюри происходит обратный переход от кубической структуры к тетрагональной. Одновременно зёрна подвергаются напряжениям из-за искажения окружающей структуры. На этом этапе внутри зёрен образуется несколько мелких доменов, и спонтанную поляризацию каждого домена легко обратить слабым электрическим полем. Поскольку относительная диэлектрическая постоянная соответствует обращению спонтанной поляризации на единицу объема, она регистрируется как большее значение емкости.

### Характеристика DC-Bias

Проблема заключается не в самой спонтанной поляризации, а в ее обращении. Когда спонтанная поляризация обращается в отсутствие напряжения (без DC-bias), в многослойных керамических конденсаторах удается достичь большой емкости, но если добавить к процессу спонтанной поляризации внешнее смещение (напряжение), ее свободное обращение затрудняется. Соответственно, полученная емкость оказывается ниже, чем до приложения смещения. В этом заключается причина снижения емкости при приложении DC-bias (смещения при постоянном токе) — отсюда и термин «Характеристика смещения по постоянному току (DC-bias)».

Эффект DC-смещения в ферроэлектрической керамике, служащей материалом для многослойных керамических конденсаторов, известен еще менее, чем спонтанная поляризация, и часто застает врасплох инженеров-конструкторов, привыкших к танталу или электролитическим конденсаторам. Электролитические конденсаторы не обладают ферроэлектриче-

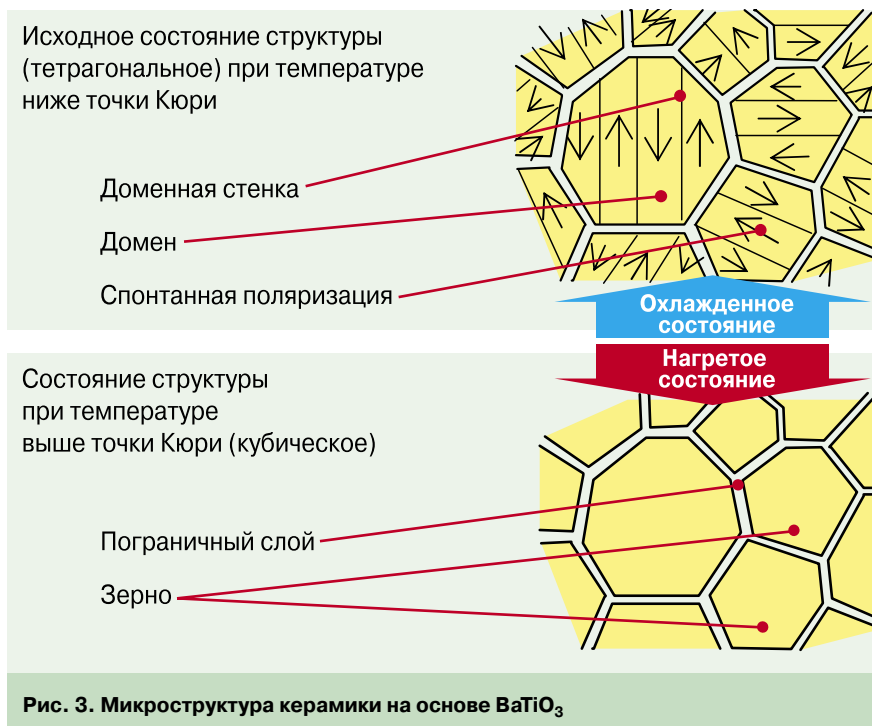


Рис. 3. Микроструктура керамики на основе  $BaTiO_3$

скими свойствами и имеют очень малую диэлектрическую постоянную. Их емкость обусловлена очень большой площадью поверхности и нанометровой толщиной слоев диэлектрика, а приложенное напряжение на нее не влияет.

На рис. 4 изображены характеристики DC-bias многослойных керамических конденсаторов с различными температурными характеристиками при нормальной температуре. Основным компонентом конденсаторов термокомпенсированного типа (характеристики C0G, U2J и т.д.) является параэлектрическая керамика, емкость которой не меняется в зависимости от DC-bias. Емкость же керамики на основе BaTiO<sub>3</sub> с большой диэлектрической постоянной (характеристики X7R, X5R и т.д.) снижается при приложении DC-bias.

### Прогресс в технологии керамических материалов

Вопрос заключается в следующем: как уменьшить влияние DC-bias на емкость? К счастью, новые достижения компании Murata Electronics в технологии керамических материалов на базе BaTiO<sub>3</sub> позволяют ослабить этот эффект путем специальной адаптации кристаллов BaTiO<sub>3</sub> для смягчения эффекта обратной поляризации. Это уменьшает эффект DC-bias, правда, часто это сопряжено с получением меньшей исходной емкости. Компании Murata удалось разработать материал с минимальным падением емкости относительно уровня нулевого смещения.

Более широкое информирование о характеристиках DC-bias способствовало активизации исследований в этой области. Характеристики высококачественной керамики непрерывно совершенствуются по мере изучения молекулярных свойств этого природного материала. Новаторские решения, такие как многослойные керамические конденсаторы, являются краеугольным камнем технологии и открывают дорогу к миниатюризации электронных компонентов и улучшению их характеристик.

### Интерактивные средства проектирования

Самый прямой способ взять эффект DC-bias под контроль — учесть его на этапе планирования конструкции. Теперь это стало просто благодаря интерактивным программным средствам, которые помогают инженеру в проектировании схемы на уровне компонентов. Пользователю достаточно ввести основные параметры, и программа автоматически построит график, демонстрирующий поведение конденсатора при различных уровнях постоянного тока по данным

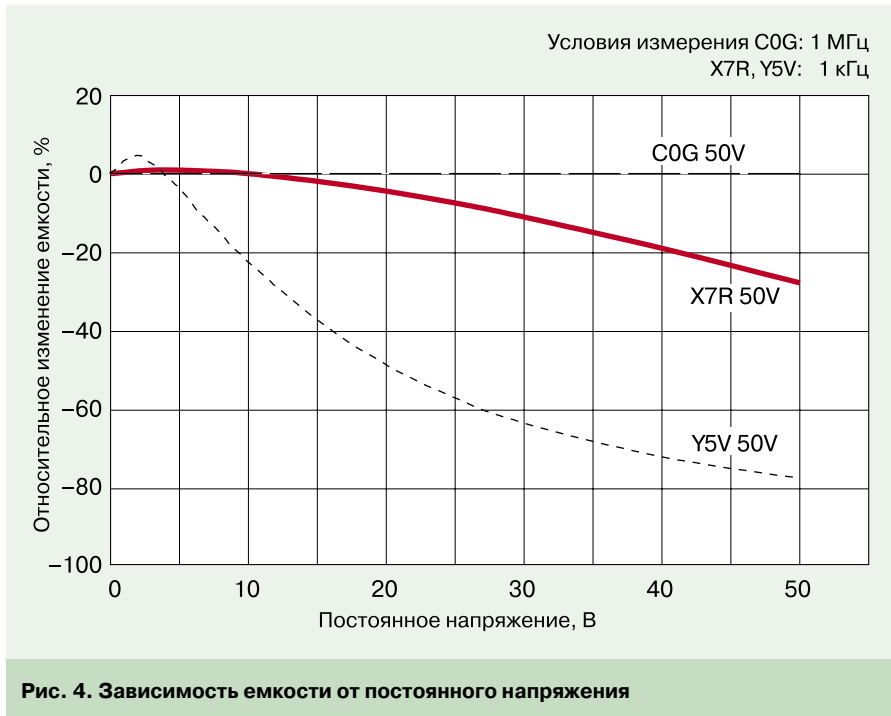


Рис. 4. Зависимость емкости от постоянного напряжения

измерений. Можно также указать дополнительную информацию (например, тепловое сопротивление и температуру окружающего воздуха) и получить индивидуально адаптированное решение. Теперь, сделав всего несколько щелчков мышью, инженер-конструктор сможет рассмотреть эффект DC-bias, чтобы затем учесть его при выборе компонентов. Это решение не только простое, но и экономически эффективное, поскольку инженер может сделать осознанный выбор, исходя из фактических рабочих характеристик.

Например, инженер, занимающийся проектированием источников питания для компании-производителя контрольно-измерительной аппаратуры и средств ав-

томатизации, использует упомянутые выше интерактивные программные средства для учета эффекта DC-bias в своих разработках. В его разработках стабильность контура непосредственно связана с выходной емкостью, и когда последняя слишком мала, это влияет на работу схемы. Для решения этой проблемы инженер сравнивает несколько типоразмеров многослойных керамических конденсаторов на различные номинальные напряжения и выбирает те, которые обеспечивают максимальную емкость при эффекте DC-bias. В частности, введя соответствующие параметры в интерактивные средства проектирования, инженер определяет, что с учетом этого эффекта DC-bias лучше использовать в конструкции два

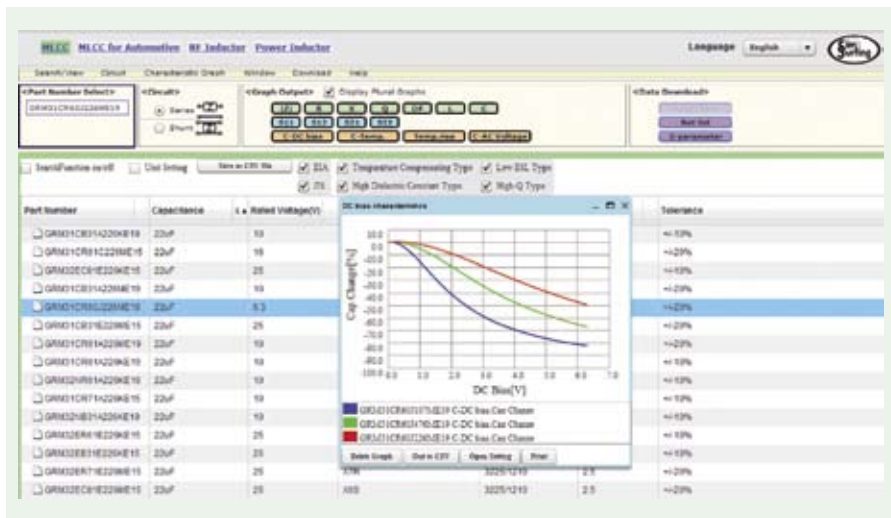


Рис. 5. Пример различий во влиянии постоянного смещения на емкость при одинаковых размерах корпуса и напряжении

конденсатора с размером корпуса 0805, чем один с размером корпуса 1210. Кроме того, если конструкция требует определенного количества запасенной энергии, керамические конденсаторы оказываются предпочтительнее танталовых ввиду температурных характеристик и режимов отказа танталовых конденсаторов. Несмотря на наличие эффекта DC-bias, керамические конденсаторы представляют собой оптимальный выбор, т. к. средства проектирования, позволяют легко сравнивать конденсаторы по величине запасаемой энергии при заданном напряжении смещения (рис. 5). Так же важно заметить, что значения емкостей, указанные в спецификациях, не учитывают DC-bias характеристики. Например, если в разработке требуется 10 мкФ, то возможно инженеру потребуется использовать конденсатор на 22 мкФ для достижения значения емкости указанного в спецификации. Зная это заранее, инженер-разработчик сохранит драгоценное время. Также, обычной ошибкой разработчиков является выбор более высокого значения емкости без проверки влияния DC-bias на емкость, т. к. более высокое, чем необходимо, значение емкости тоже будет иметь сильнейший DC-bias эффект. Например, если мы будем брать в расчет DC-bias, то может оказаться, что для достижения желаемого уровня емкости, более разумно использовать в разработке два многослойных керамических конденсатора более низкой емкости вместо одного более высокой емкости.

Молекулярные свойства керамики и уникальные для нее эффекты могут быть трудны в понимании, но учет этих изменений не обязан быть столь же трудным делом. Благодаря средствам проектирования, которые предлагают поставщики компонентов, инженерам достаточно сделать несколько щелчков мышью, чтобы сделать свою конструкцию эффективнее и экономичнее. Решение заключается в том, чтобы информировать инженерное сообщество об эффекте DC-bias и побуждать его к использованию предоставляемых поставщиками средств разработки для точного воспроизводства особенностей работы многослойных керамических конденсаторов при DC-смещении. В сочетании с прогрессом в технологии керамических материалов это сохранит за керамикой позиции незаменимого компонента любой сложной конструкции.

**Хотите знать больше?  
Отправьте письмо с кодом  
tn26  
по адресу  
info@murata.eu**



## Микроминиатюрный DC/DC-преобразователь

**Компания Murata приступила к массовому производству новой серии микроминиатюрных DC/DC-преобразователей LXDC2HL, которая позволит уменьшить площадь, занимаемую на плате понижающими преобразователями в устройствах с батарейным питанием. Максимальные размеры всех изделий этой серии составляют 2,5×2,0×1,1 мм, что существенно компактнее по сравнению с дискретными решениями.**

Готовое решение компании Murata преобразования постоянного тока (DC-DC) для портативных устройств, включающее в себя микроминиатюрный DC/DC-преобразователь, занимает на плате в совокупности меньше 10 мм<sup>2</sup> — это более чем двукратная экономия места по сравнению с таким же решением, реализованным на дискретных компонентах.

Серия миниатюрных понижающих преобразователей LXDC2HL рассчитана на напряжение 2,3...5,5 В от таких источников, как литий-ионные аккумуляторы. В данных устройствах применена новейшая разработка — многослойная ферритовая подложка со встроенной силовой катушкой индуктивности, которая обеспечивает весьма низкий уровень помех, т. к. помехи от катушки сосредоточены в объеме ферритовой подложки. Длина соединительных проводников между ИС контроллера и катушкой близка к нулю, что также помогает снизить помехоэмиссию. Технология изготовления многослойных ферритовых подложек позволяет создавать встроенные компоненты и трехмерные цепи из них в объеме тончайшей подложки, спрессовывая до 50 слоев из различных ферритовых материалов.

Всего в серии выпущено семь моделей на номинальные выходные напряжения 1,2 В, 1,35 В, 1,5 В, 1,8 В (максимальный ток нагрузки 600 мА), 2,5 В (500 мА), 3,0 В (400 мА) и 3,3 В (300 мА). Типичный КПД этих компонентов составляет 88% (при V<sub>out</sub> = 2,5 В). Все модели имеют диапазон входных напряжений 2,3...5,5 В и рабочий диапазон температур -40...85 °С. Серия выполнена в топологии синхронного выпрямителя. Дополнительным фактором, повышающим КПД устройства, является функция автоматического выбора типа модуляции (ЧИМ/ШИМ). Частота переключения равна 3 МГц.

**Хотите знать больше?  
Отправьте письмо с кодом  
2604  
по адресу  
info@murata.eu**

### Применение:

– Мобильные терминальные устройства с батарейным питанием

### Особенности:

- Многослойная ферритовая подложка
- Минимальные размеры: занимает менее 10 мм<sup>2</sup> площади на плате
- Низкий уровень излучаемых помех
- Низкий уровень проводниковых помех