

Преимущества кубического корпуса DC/DC-преобразователей для поверхностного монтажа

ЭНН-МАРИ БЭЙЛИС (ANN-MARIE BAYLISS), менеджер направления, Murata Power Solutions
НИКОЛАЙ ЛИШМАНОВ, ведущий специалист, «Симметрон»

Герметичные DC/DC-преобразователи выводного монтажа позволяют легко решить проблему обеспечения маломощных схем изолированным напряжением питания, что часто требуется в устройствах управления промышленной автоматизации и интерфейсах систем связи. В этом причина чрезвычайно высокой популярности преобразователей такого типа. Более чем за два десятилетия с момента их появления были созданы модули на весь диапазон наиболее распространённых в промышленности входных и выходных напряжений. Самым заметным изменением первоначальной концепции преобразователей стал переход к использованию корпусов для поверхностного монтажа.

Разработка миниатюрного (см. рис. 1) DC/DC-преобразователя, отвечающего современным требованиям и имеющего определённый запас на будущее, — далеко не простая задача. Первой проблемой является выбор топологии, которая должна отвечать жестким ограничениям в габаритах и постоянно растущим требованиям к миниатюризации. В то же время должна обеспечиваться адекватная выходная мощность, прочность изоляции и стабилизация. Кроме того, необходимо, чтобы выбранная топология была пригодна для работы с распространёнными входными и выходными напряжениями. В идеале она также должна быть масштабируемой, т.е. обеспечивать возможность получения более высокой мощности при использовании аналогичной платформы. Необходимость в изоляционном барьере, выдерживающем максимальное постоянное напряжение 1 кВ, предполагает использование трансформаторной развязки. Это, в свою очередь, требует наличия генератора переменного тока, нагруженного на первичную обмотку, и выпрямителя после вторичной обмотки. Такая реализация неизбежно ведёт к поиску определённого компромисса, главным образом, между числом компонентов и эффективностью преобразования.

При традиционном подходе, когда определяющим фактором является минимум компонентов, обычно используют насыщающуюся схему Ройера — автогенераторную двухтактную топологию. В автогенераторе Ройера первичная обмотка трансформатора коммутируется двумя биполярными транзисторами, работающими в противофазе. Токи в базы транзисторов поступают с противоположных концов вспомогательной обмотки, выполненной с центральным отводом. Поддача постоянного входного напряжения через цепь запуска приводит к отпиранью одного из транзисторов, который остаётся в открытом состоянии до тех пор, пока не произойдёт насыщение сердечника трансформатора. Транзистор при этом перейдёт в активный режим, а напряжения на обмотках резко снизятся. Из-за наличия в трансформаторе остаточной энергии полярность напряжений на обмотках изменится, что приведёт к запиранью первого транзистора и отпиранью второго. Второй транзистор также будет оставаться в открытом состоянии до нового насыщения сердечника. Этот процесс будет повторяться, поддерживая колебания с частотой, пропорциональной входному напряжению. При

этом на выпрямитель будет поступать выходное напряжение в виде меандра.

Данная базовая схема имеет некоторые ограничения. Прежде всего, ей недостаёт активной стабилизации — выходное напряжение зависит от входного напряжения, внутренних потерь и отношения числа витков трансформатора. Кроме того, у неё низкая эффективность из-за потерь на переключение в полупроводниках и потерь на перемагничивание сердечника на высоких частотах (повышение рабочей частоты позволяет уменьшить размеры трансформатора). Широко известны варианты модификации схемы, которые позволяют избавиться от потерь, вызываемых насыщением сердечника. Для этого используется второй управляющий трансформатор, что потенциально приводит к более высокой эффективности, но за счёт увеличения габаритов и сложности схемы преобразователя.

УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Разработчики могут улучшить коэффициент стабилизации такого преобразователя по току, объединив передовые схемотехнические приемы с новыми технологиями производства компонентов. Например, инженерам компании Murata Power Solutions удалось добиться, чтобы при изменении нагрузки преобразователя MTU1 от 10 до 100% его выходное напряжение изменялось в пределах: $-4...+5,5\%$ от номинального. Для сравнения на рисунке 2 приведён диапазон изменения выходного напряжения



Рис. 1. Размеры DC/DC-преобразователя MTU1

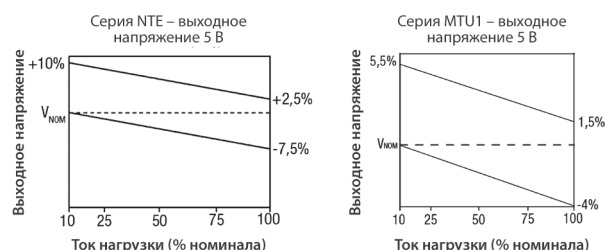


Рис. 2. Значительное улучшение коэффициента стабилизации по току преобразователей MTU1

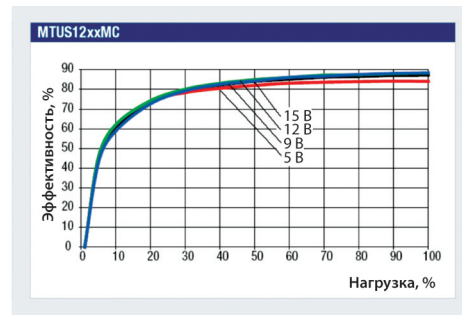
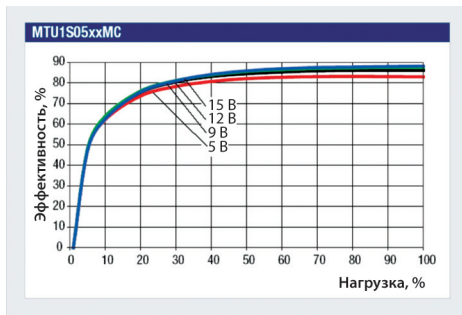


Рис. 3. КПД модулей серии MTU1 при уровне выходной мощности более 40% составляет не менее 80%

преобразователя предшествующего поколения: $-7,5...+10\%$. Во многих случаях такое улучшение коэффициента стабилизации по току позволяет отказаться от использования дополнительных линейных стабилизаторов, которые характеризуются малой эффективностью и занимают много места на плате.

Во то же время улучшение характеристик тороидальных магнетиков помогло поднять КПД до 83–88%. Была также уменьшена частота переключений с номинальных 110 кГц до 82 кГц для преобразователей MTU1 с входным напряжением 5 В и до 90 кГц для 12-В моделей. Эти меры способствовали снижению динамических потерь. Графики, приведённые на рисунке 3, подтверждают, что КПД достигает 80% или даже превышает это значение при уровне выходной мощности, составляющем примерно 40% от номинальной, и практически не снижается при уровне выходной мощности, превышающей 50%.

Повышение эффективности ведёт к снижению рассеиваемой внутри модуля мощности примерно на 56% и к минимизации количества и размеров зон локального нагрева. Это, в свою очередь, означает увеличение надёжности и снижение тепловой нагрузки на конечное оборудование. Характеристики преобразователей серии MTU1 остаются неизменными во всём диапазоне рабочих температур: $-40...+85^{\circ}\text{C}$. Среди других улучшений стоит отметить снижение отражённого тока пульсаций с 30 мА пик-пик до уровня 5–6 мА и уменьшение ёмкости изоляционного барьера примерно в два-три раза. Всё это существенно упрощает входную фильтрацию. Снижение ёмкости улучшает изоляцию между входом и выходом, делая модуль менее склонным к пропуску помех, которые могут отрицательно воздействовать на чувствительные нагрузки, через изоляционный барьер.

УМЕНЬШЕНИЕ ПОСАДОЧНОГО МЕСТА

Наиболее существенное улучшение модулей серии MTU1 — новое посадочное место, которое было сокращено до размера 9,10×6,08 мм. (Размер стандартного посадочного места аналогичных промышленно выпускаемых модулей

составляет 12,70×11,70 мм). Таким образом, для установки нового преобразователя на плату требуется площадь всего 0,69 см². По форме модуль близок к кубу (8,2×8,4×8,5 мм), его эффективная плотность мощности достигает 1,71 Вт/см³. На рисунке 4 показан корпус модуля MTU1. Это запатентованная конструкция открытого типа, выполненная из материалов, соответствующих требованиям UL 94V-0.

ВЛАГОСТОЙКОСТЬ КОРПУСА ДОСТИГАЕТ УРОВНЯ MSL1

Важно также, что в отличие от некоторых пластиковых корпусов промышленно выпускаемых компонентов, композитный корпус модуля MTU1 соответствует по влагостойкости уровню MSL1 (Moisture Sensitivity Level 1). Абсорбция влаги и её последующее удержание — главная проблема многих приборов поверхностного монтажа. Наличие влаги может приводить к возникновению больших механических напряжений в тех случаях, когда компонент быстро и очень сильно нагревается. Так происходит, например, при бессвинцовой пайке оплавлением, когда максимальная температура может достигать 245°C. Происходящее при этом выделение газов (дегазация) может легко разрушить компонент. Данное явление широко известно как «эффект попкорна» (popcorn cracking).

Производители классифицируют чувствительность своих изделий к влаге по шкале, которая согласно стандарту IPC/JEDEC J-STD-20 разбита на уровни от 1 до 6. При этом уровень MSL1 означает, что компонент остается стойким к растрескиванию вне зависимости от того, как долго он подвергался воздействию влаги. При изготовлении корпуса MTU1 используются операции предварительной термообработки. Предварительная термообработка требуется обычно многим компонентам, уровень влагостойкости которых ниже MSL1, но её проведение может отрицательно сказаться на их пригодности к пайке. Работа с модулями в корпусах, соответствующих уровню MSL1, и их хранение не требуют дорогостоящих мер предосторожности. Более того, модули MTU1 открытого типа спроектированы таким образом, что пайка оплавлением для них совершенно безопасна и исключает образование внутренних мостиков припоя. К тому же, плоская верхняя поверхность близкого по форме к кубу корпуса упрощает работу стандартных вакуумных устройств захвата и размещения компонентов.

В ответ на новые требования и тенденции миниатюризации и увеличения энергоэффективности устройств на рынке преобразователей для развязки интерфейсов появилось первое адекватное решение, спроектированное разработчиками Murata Power Solutions из Японии и Великобритании. Незначительное удорожание компонента по сравнению с давно известными выводными решениями в SIP4 компенсируется экономией на производстве печатных плат, ускорением сборки с применением автоматизированных линий, а также миниатюризацией конечного изделия и смягчением требований к фильтрации и отводу тепла от компонентов устройства.

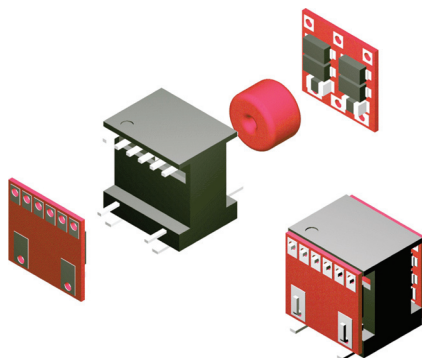


Рис. 4. Кубическая форма корпуса модулей MTU1 упрощает автоматизированную сборку, а его влагостойкость достигает уровня MSL1