

# Увеличение частоты инвертора

Олег Гнеушев

oleg.gneushev@epcos.com

Компания EPCOS разработала новый тип конденсаторов CeraLink для работы в звене постоянного тока, которые имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с конденсаторами, выполненными по традиционным технологиям. Применение таких конденсаторов в современных схемах с высокой частотой коммутации IGBT-модулей способно обеспечить инновационный уровень работы.

Современные силовые полупроводниковые ключи, используемые в источниках питания и инверторах, представлены двумя типами технологий, а именно: MOSFET и IGBT-модули. MOSFET могут работать при относительно высоких частотах переключения, значительно выше 30 кГц; в отличие от IGBT, они занимают большую площадь чип-поверхности. Новое поколение IGBT-модулей Infineon Technologies работает на частотах до 100 кГц. Оба типа ключей имеют примерно одинаковую величину потерь при переключении, но быстрые IGBT-модули значительно проще в производстве и зачастую более компактны, чем MOSFET, при этом IGBT с высокой частотой коммутации обеспечивают отличное соотношение цена/качество.

Схемы с высокой частотой переключения требуют минимальных значений ESR и ESL. Соответственно, пассивные компоненты — дроссели, и особенно конденсаторы, также должны развиваться в сторону работы на высоких частотах. Такие компоненты должны быть легкими, компактными, обладать низкими потерями и высокой эффективностью. Конденсаторы, выполненные по традиционным технологиям, лишь частично удовлетворяют этим требованиям. EPCOS CeraLink предлагает совершенно новый подход, а именно: сочетает выполнение двух функций одно-

временно — фильтрующего конденсатора звена постоянного тока и снабберного конденсатора.

## Новая конструкция преобразователя

Конденсатор EPCOS CeraLink был изготовлен в Центре разработки керамических компонентов в Дойчлансберге (Австрия). Ноу-хау, которые легли в основу этой передовой технологии, нарабатывались на протяжении многих лет в процессе производства пьезоэлектрических приводов — актюаторов. EPCOS CeraLink предоставляет все преимущества керамических конденсаторов, но при этом лишен их недостатков. Запатентованный многослойный компонент, основанный на антисегнетоэлектрическом эффекте керамического материала со специальными медными внутренними электродами, позволяет работать как со стандартными IGBT-модулями, так и с новыми типами высокочастотных IGBT-ключей, обеспечивая им минимальные потери. Это, естественно, относится и к схемам, построенным на MOSFET. Инновационные CeraLink конденсаторы сочетают в себе высокую емкость на единицу объема с очень низкими значениями ESR и ESL, обеспечивая таким образом значительное повышение эффективности, надежности и компактности для самых современных конструкций IGBT- и MOSFET-инверторов. Кроме того, конденсаторы CeraLink также доступны в низкопрофильном SMD-исполнении, что делает их пригодными в качестве интегрированных снабберов блоков питания. EPCOS CeraLink компоненты были адаптированы и продолжают оптимизироваться для инновационных конструкций специальных модулей IGBT в тесном сотрудничестве с компанией Infineon

Таблица 1. Оптимизированные параметры и свойства EPCOS CeraLink

Параметры	
Сопротивление изоляции	Типичное значение 1–10 ГОм, что обеспечивает низкий ток утечки, в том числе и при высокой температуре
ESL	<4 нГн, т. е. исключительно низкое
ESR	Типичное значение <4 мОм, т. е. исключительно низкое даже при небольшой емкости, что обеспечивает низкие потери
Рабочий температурный диапазон	–40...+125 °С (ограниченное время до +150 °С), подходят для модулей SiC
Преимущества	
Медные внутренние электроды	Очень низкие потери и экстремально высокий рабочий ток
Внутренние токовые шины	Оптимизировано для различных применений
Вариации выводных терминалов	Терминалы под пайку, терминалы для соединения типа Press Fit
Компактный корпус	Высота корпуса оптимизирована для широкого ряда полупроводниковых приборов
Прочная конструкция	Подходит для демпферных и силовых применений в промышленности и автоэлектронике
Совместимость	Специальные типы, интегрированные в силовые модули IGBT, MOSFET, SiC
Дополнительные преимущества	
Идеально подходят для использования в системах с быстрым нарастанием напряжения и высокочастотных системах	
Увеличение емкости при росте напряжения	
Зачастую не требуют систем охлаждения	
Идентификация каждого конденсатора благодаря QR-кодам	

Таблица 2. Различные варианты исполнения EPCOS CeraLink

Терминалы	Низкопрофильные (LP)	SMD	Под пайку	Под запрессовку
Емкость, мкФ	1	5	5/20	100
Номинальное напряжение, В	400	400	800/400	400
Размеры, мм (без клемм)	6,84×7,85×2,65	12,8×8,4×8,8	33×22×11,5	52,5×30,5×10,5

Таблица 3. Компоненты EPCOS и TDK для быстродействующих IGBT-модулей от Infineon Technologies

Компонент	Производитель	Количество
CeraLink 20 мкФ/400 В	EPCOS	1
Алюминиевые электролитические конденсаторы	EPCOS	3
MLCCs (керамические конденсаторы)	TDK	80
SMT-индукторы	EPCOS	7
PCEM T7921 дроссели для электромобилей с максимальным током 225 А	EPCOS	1
PTEM T6973 силовой трансформатор для электромобилей	EPCOS	1
GTEM T7509 трансформатор с затвором для электромобилей	EPCOS	4
STEM T7078 датчик тока для электромобилей	EPCOS	1

Technologies, что позволяет достичь наилучших результатов в плане производительности и энергоэффективности. Параметры и свойства конденсаторов были адаптированы как для автомобильной серии IGBT EASY от Infineon Technologies, так и для серий промышленного применения в плане экономичности и эффективности (табл. 1).

Первоначально конструкция конденсаторов была разработана специально для модулей Infineon EasyKit DC-DC на напряжение 400 В. В настоящее время EPCOS CeraLink доступны в нескольких вариантах исполнения. Диапазон

доступных емкостей 1–100 мкФ при номинальном напряжении 400 и 800 В постоянного тока. Терминалы различных конструкций приведены в таблице 2. Варианты исполнения LP и SMD предназначены для непосредственной интеграции в силовые полупроводниковые модули с учетом ограниченного пространства (таблица 2). Они могут быть соединены методом пайки, запрессовки или сварки.

В тесном сотрудничестве с EPCOS компания Infineon Technologies разработала DC/DC демонстрационную плату с выходной мощностью 2,7 кВт. Эта плата рассчитана на входные

напряжения 200–400 В DC — в зависимости от используемого аккумулятора; выходное постоянное напряжение 8–16 В. Такие параметры, как правило, применимы в стандартных системах автомобильной электроники. Кроме того, демоплата охватывает диапазон тока до 200 А.

**Почти 100 компонентов EPCOS и TDK**

Сейчас на рынке доступны DC/DC-преобразователи различных топологий, однако наиболее распространена полномостовая схема с переходом через нулевое напряжение (ZVT) на MOSFET. Компания Infineon Technologies переработала эту схему (рис. 1) на использование быстродействующих IGBT-модулей серии EASY, применив большое количество различных компонентов EPCOS и TDK (табл. 3).

Эта схема содержит около 100 компонентов EPCOS и TDK.

EPCOS CeraLink сочетает в себе высокую емкость на единицу объема, имеет низкие значения ESL и ESR и минимальный ток утечки, а следовательно, удовлетворяет всем требованиям высокоскоростных IGBT-модулей и MOSFET. Такая конфигурация компонентов позволяет выдерживать большие броски тока с высокой скоростью нарастания  $di/dt$  до 10 кА/мкс. Несмотря на это, пики напряжения ( $V = L \times di/dt$ ) при коммутации очень низкие благодаря низкой ESL конденсаторов CeraLink.

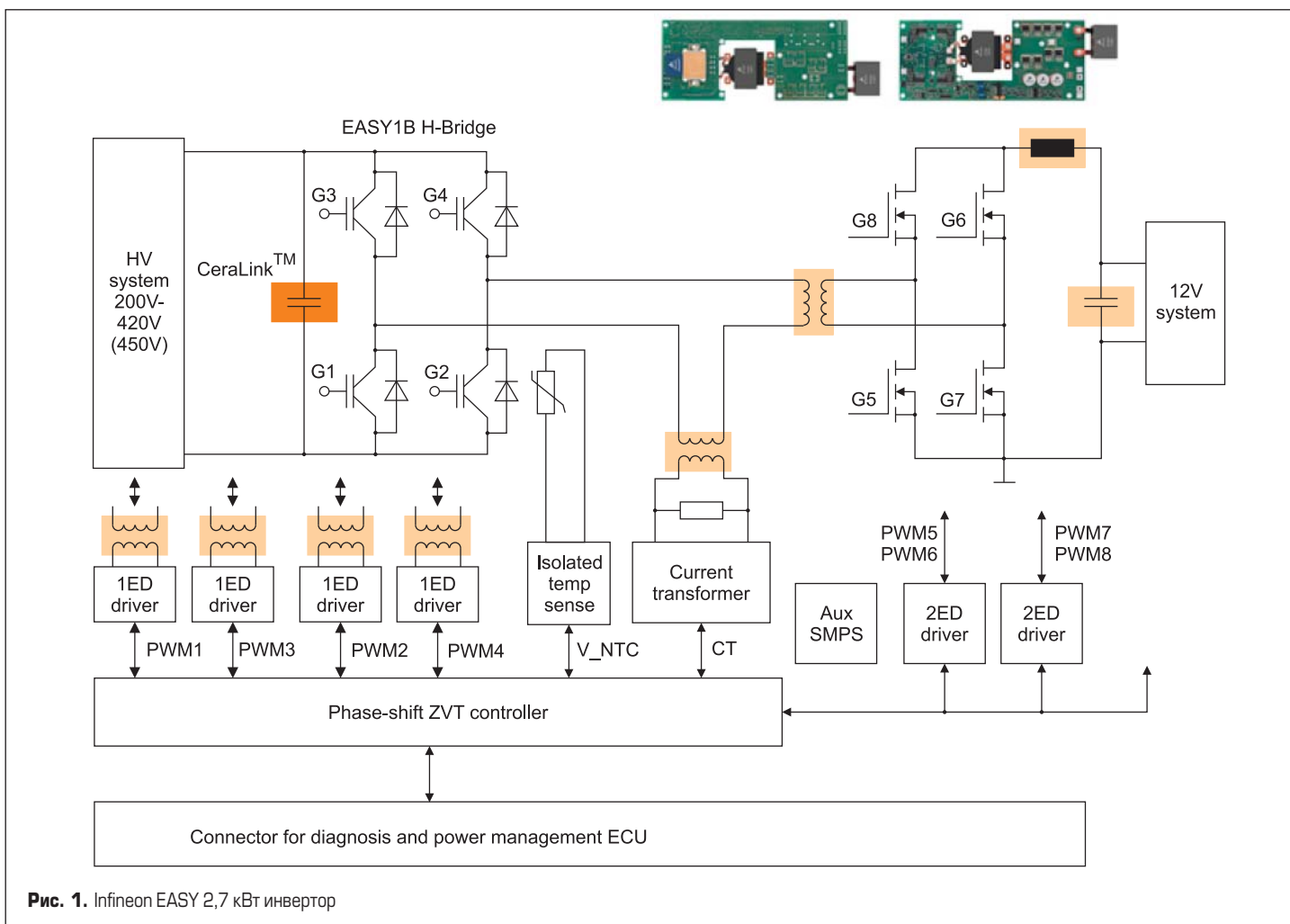
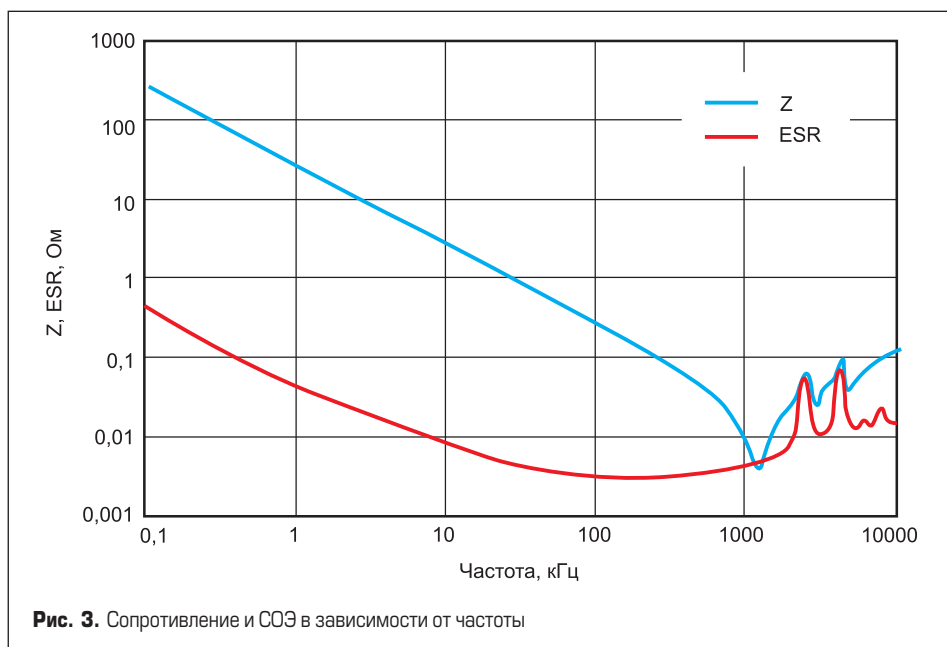
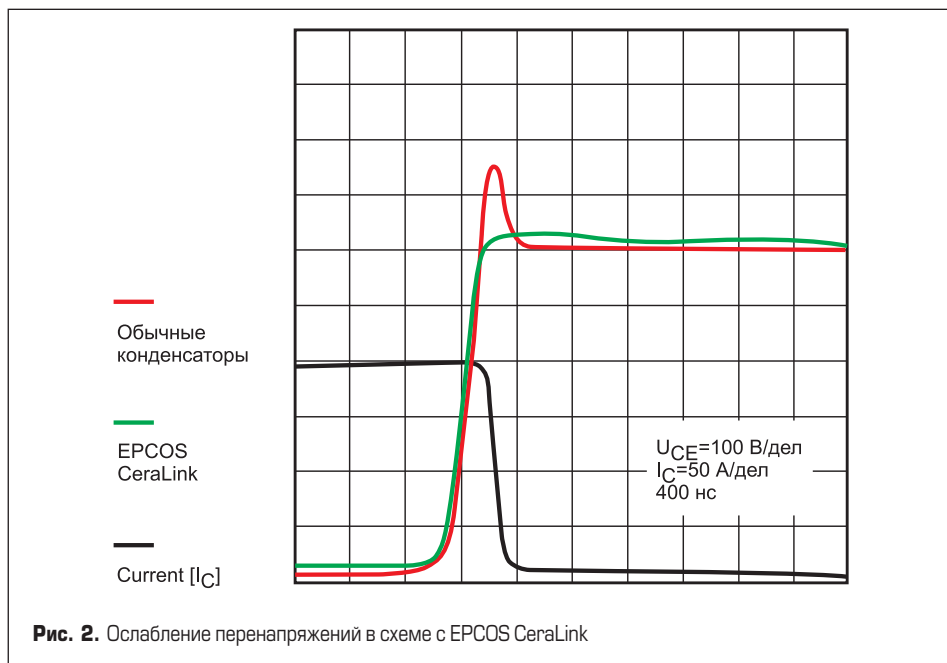


Рис. 1. Infineon EASY 2,7 кВт инвертор



Конечно, не только конденсатор обладает индуктивностью, в любом электрическом контуре существует паразитная индуктивность, включающая в себя внутреннюю индуктивность силовых модулей и токоведущих шин. Конденсаторы CeraLink благодаря своим компактным размерам позволяют снизить длину токовых шин, чем значительно уменьшают общую индуктивность контура. Такой дизайн позволяет снизить величину коммутационных перенапряжений, и, как правило, отпадает необходимость в снабберном конденсаторе.

На рис. 2 показана кривая напряжения при выключении IGBT как с EPCOS CeraLink, так и без него. Повышение напряжения, таким образом, минимально и находится на безопасных уровнях для IGBT. Данный график соответствует частоте переключения 100 кГц, это означает частоту пульсирующего тока конденсатора 200 кГц. Рис. 3 иллюстрирует зависимость полного сопротивления и ESR от частоты.

Благодаря низкому значению ESR, EPCOS CeraLink ослабляет пики перенапряжения весьма эффективно. Таким образом, как правило, нет необходимости в снабберном конденсаторе.

Емкости EPCOS CeraLink конденсатора обычно достаточно для применения в DC/DC-преобразователях, но может оказаться недостаточно, например, для работы двигателя. Это может быть исправлено путем параллельного подсоединения алюминиевых электролитических или пленочных конденсаторов, которые, благодаря их высокой емкости, будут обеспечивать низкочастотную составляющую тока, а EPCOS CeraLink будет обрабатывать высокочастотную составляющую.

Образцы конденсаторов CeraLink, адаптированные для модулей Infineon EASY, доступны в региональных офисах продаж. В настоящее время идет подготовка к серийному производству этих устройств на мощностях завода EPCOS, выпускающего пьезопроводы для систем впрыска топлива.