

Проектировщики систем

с применением SiC и GaN больше не работают вслепую

Появление технологий SiC и GaN привело к революционным изменениям в силовой электронной промышленности. Использование этих новых материалов позволяет значительно повысить эффективность всей преобразовательной системы, что было немислимо еще несколько лет назад.

В реальном мире не существует электронных ключей с идеальной коммутационной характеристикой, однако появляются новые классы полупроводников с большой шириной запрещенной зоны и чрезвычайно низкими динамическими потерями. Малые потери переключения в сочетании с большим значением dv/dt и возможностью работать на высоких частотах коммутации делают эти новые технологии одновременно и мечтой и кошмаром проектировщиков DC/DC-систем. Рассмотрим процесс разработки преобразователя мощности, например инвертора, контроллера привода двигателя или корректора коэффициента мощности (PFC), который делает эффективность источника питания выше 99%. С какими проблемами сталкиваются разработчики подобных изделий?

**Андреа Винчи
(Andrea Vinci)**

Том Невилл (Tom Neville)

**Перевод:
Евгений Карташов**

Выбор транзисторов с малыми потерями является только подножием своеобразной крутой горы, на которую им предстоит взобраться. Полностью изолированный драйвер затвора должен правильно управлять силовым каскадом и контролировать его работу, что в свою очередь создает ряд проблем, требующих решения, начиная от изоляции и заканчивая необходимостью защиты силового каскада от потенциальной опасности возникновения так называемого сквозного тока.

При проектировании высокочастотных конвертеров большая часть времени тратится на моделирование и подтверждение того, что все вероятные причины отказов рассмотрены и устранены. Опытный дизайнер печатных плат может колдовать с трассировкой PCB, однако паразитные эффекты все еще остаются, скрываясь «за углом». Это само по себе обеспечивает для команды проектировщиков возможность накопления опыта работы с новыми типами модулей, новыми схемами и топологиями систем. Действительно, переход на SiC- и GaN-приборы сопряжен с рядом серьезных проблем.

Общие вопросы

Описанный сценарий — это довольно распространенное явление при проектировании силовых систем. Рынок источников питания и PFC тесно связан с рынком фотооптических (PV) инверторов, а также с рынком электротранспорта (EV) и беспроводных зарядных устройств. Все эти приложения нуждаются в преимуществах технологий SiC и GaN.

Очевидно, что требования, предъявляемые к столь разным системам, сильно различаются. То, что инженеру важно знать о полупроводниковом ключе

с точки зрения электрического поля, — сопротивление открытого канала или блокирующее напряжение — заставляет двигаться в очень специфическом и узком диапазоне. Существуют общие проблемы, с которыми сталкиваются специалисты при разработке зарядного устройства батареи электромотоцикла мощностью 20 кВт на основе SiC с частотой коммутации 250 кГц или беспроводного резонансного преобразователя на базе GaN-транзисторов, работающих на частоте 6,78 МГц.

В обоих случаях инженер должен с высокой точностью знать уровень статических и динамических потерь. Это необходимо для определения уровня рассеиваемого тепла и количественного расчета охлаждающей системы. Разработчикам систем подобного рода приходится анализировать каталоги трансформаторов, индукторов и конденсаторов новых поколений, которыми они, возможно, никогда не пользовались ранее. Они также вынуждены думать о том, что проводники, находящиеся в пробниках, действуют как мини-антенны при анализе характеристик EMC. Дизайнеры начинают осознавать, что характеристики измерительных приборов, используемых прежде, оказываются недостаточными для решения современных задач.

Новые транзисторы тестируются на пробойное напряжение до тысяч вольт, при этом следует проверять их токи утечки, которые могут находиться на уровне фемтоампер (10^{-15} А). Годятся ли существующие источники питания, мультиметры и осциллографы для решения подобных задач?

Такие параметры MOSFET, как напряжения V_{gs} , V_{ds} и токи, необходимо измерять одновременно, кроме того, нужен прецизионный анализ наклона их характеристик. Можно ли использовать для этого

четырёхканальные осциллографы с внешним сигналом синхронизации? Сколько времени понадобится для последующей обработки сигналов и одновременного исследования их в автономном режиме, чтобы понять, как будет вести себя схема? Достаточно ли у них чувствительности для измерения порогового напряжения затвора? А осцилляции, которые видны на экране, — реальны они или создаются распределёнными параметрами выводов пробников?

Почти все пользователи SiC и GaN неизменно отмечают ряд болевых точек, связанных с измерениями:

- высокие значения dv/dt , di/dt и высокие частоты переключения, создающие проблемы ЭМИ;
- необходимость измерения малых напряжений на фоне высоких синфазных токов;
- большие уровни коммутационных перенапряжений;
- перекрестные помехи и другие проблемы, возникающие при проектировании PCB, анализ (в процентном соотношении) ошибок системы измерения.

Измерение V_{gs}

Серьезную проблему представляет измерение напряжения V_{gs} в полумостовой схеме, показанной на рис. 1.

В такой конфигурации при включении одного из SiC MOSFET возникает очень высокий перепад напряжения dv/dt в цепи «затвористок» (V_{gs}) комплементарного MOSFET, как показано на рис. 2. Конечно, понижать dv/dt нежелательно, поскольку благодаря высокой скорости коммутации эти приборы имеют такие низкие потери переключения. Поэтому данную задачу необходимо решить иначе, например в цепи драйвера с помощью активного двухступенчатого контроля сопротивления затвора транзистора в процессе переключения.

Кроме того, даже очень талантливый разработчик PCB должен убедиться, что шины и соединительные трассы имеют низкую распределённую индуктивность, чтобы минимизировать паразитные перенапряжения и осцилляции, создаваемые индуктивными контурами. Влияние этих элементов следует проанализировать путем одновременного измерения V_{gs} в верхнем и нижнем плече в реальной схеме. Это необходимо для определения времени задержки импульсов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и уменьшения мертвого времени с целью улучшения общих параметров системы. Далее следует измерить ток и два значения V_{ds} для нахождения полного уровня потерь.

Возможностей четырёхканального осциллографа недостаточно для этой задачи, и типовые 8-разрядные АЦП не обеспечивают нужного вертикального разрешения. Да и обычные синфазные щупы, используемые в большинстве лабораторий, тоже не годятся для подобных измерений. Недостаточны даже хорошие дифференциальные пробники, традиционно применяв-

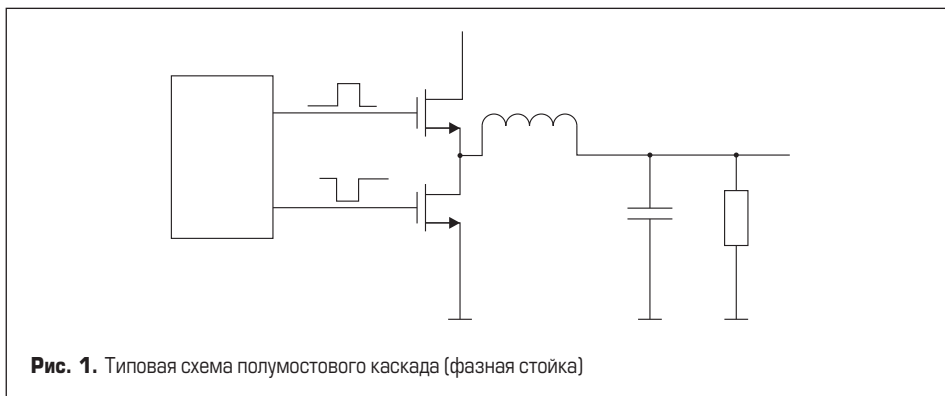


Рис. 1. Типовая схема полумостового каскада (фазная стойка)

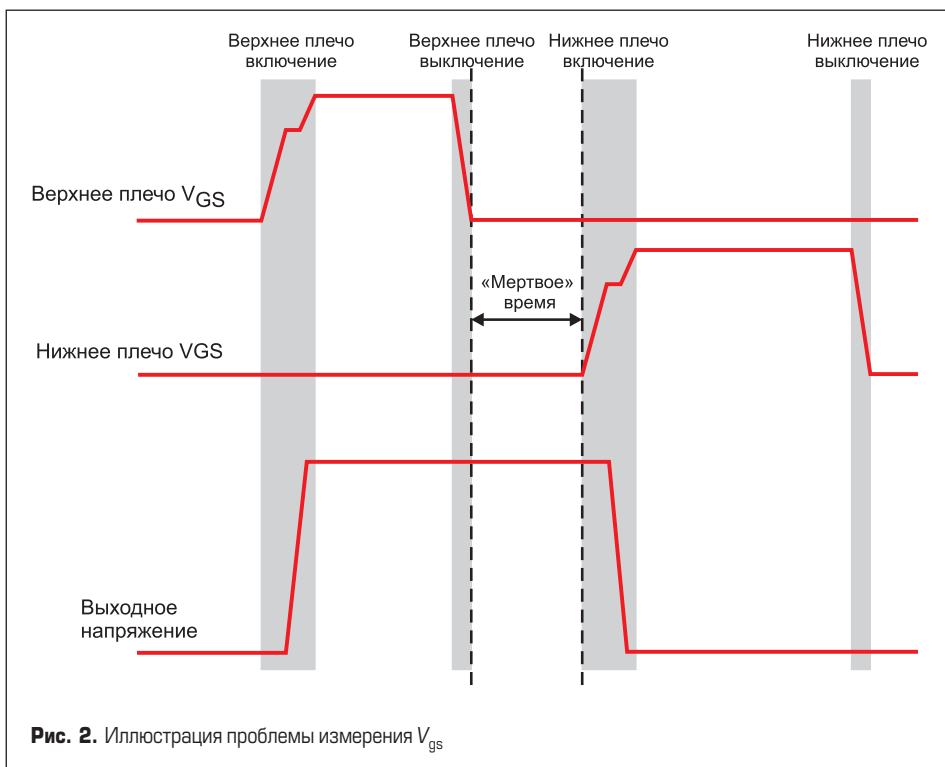


Рис. 2. Иллюстрация проблемы измерения V_{gs}

шиеся для измерений плавающих потенциалов в верхнем плече.

Типовой дифференциальный пробник содержит дифференциальный усилитель, соединенный с потенциалом «земли». Цепь за-

земления ограничивает диапазон синфазных напряжений и измеряемых частот, создает паразитные контуры и снижает коэффициент подавления синфазного сигнала. К счастью, вместе с появлением революционных

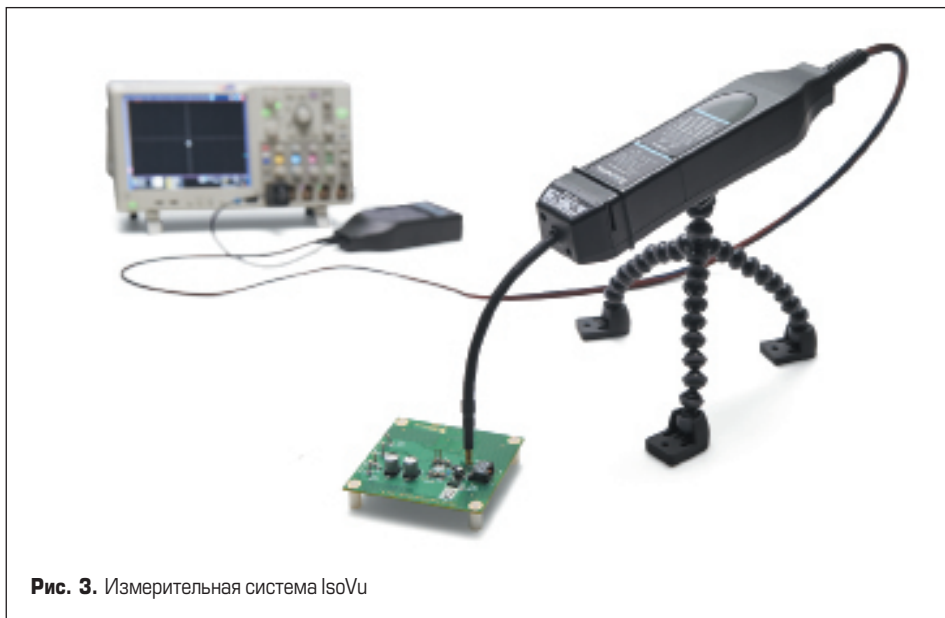


Рис. 3. Измерительная система IsoVu

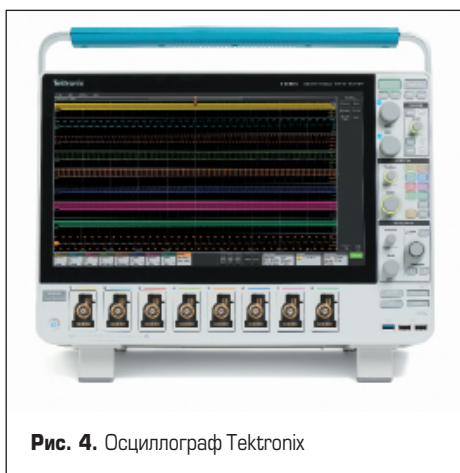


Рис. 4. Осциллограф Tektronix

широкозонных приборов произошла революция в части оборудования для измерений параметров силовых систем.

Новая измерительная техника

Типовая измерительная система, предназначенная для решения описанных выше задач, содержит осциллограф и дифференциальные пробники, обеспечивающие адекватную связь между тестируемым прибором (DUT) и осциллографом. Для его выбора критически важными параметрами являются диапазон частот, уровень собственных шумов, вертикальное разрешение, число каналов и возможности программного обеспечения. Выбор пробников также критичен, поскольку их характеристики могут стать

ограничивающим фактором для измерительной системы.

Когда необходимо дифференциальное измерение, обычные пробники часто не способны обеспечить корректное отображение сигнала из-за ограничений по коэффициенту подавления синфазных помех, частотному диапазону, временному отклику и наличию паразитных параметров внутренних проводников. Эти ограничения становятся более выраженными при тестировании силовых приборов SiC и GaN с очень большими скоростями переключения и высоким номинальным синфазным напряжением.

Поскольку проблема измерения таких сигналов связана с необходимостью заземления, то реальным решением служит метод, не зависящий от потенциала «земли» и, следовательно, более или менее невосприимчивый к воздействию высокого синфазного сигнала. Данным требованиям соответствует запатентованная измерительная система IsoVu от Tektronix, использующая волоконно-оптические кабели.

Прорывная технология IsoVu — единственное решение для измерения V_{gs} , обеспечивающее нужное сочетание широкого диапазона частот, большого синфазного напряжения и высокого коэффициента подавления синфазного сигнала. Она позволяет производить дифференциальные измерения, необходимые для тестирования новых устройств, созданных с применением широкозонных MOSFET. Система IsoVu гарантирует полную гальваническую изоляцию тестируемого прибора, электронно-оптический датчик используется для преобразования входного сигнала в оптически

модулированный, что обеспечивает электрическую развязку DUT и осциллографа.

Сенсорная головка, подключаемая к контрольной точке, полностью гальванически изолирована, ее питание обеспечивается по одному из оптических кабелей. Выводы пробника сконструированы таким образом, что они полностью экранированы по всей длине, а паразитные параметры минимизированы. Пробник не только обеспечивает значительные преимущества при тестировании силовых устройств, но и гарантирует соответствие строгим требованиям по EMI и ESD.

В отличие от электрических пробников, которые должны быть как можно короче, длина кабеля не является проблемой для измерительных систем с применением волоконной оптики. Возможность дистанционного измерения очень полезна, когда тестируемое устройство и осциллограф находятся на некотором расстоянии друг от друга.

Система IsoVu работает с большинством осциллографов Tektronix, но самое лучшее решение дает комбинация с новыми осциллографами серии MSO 5 с вертикальным разрешением 12 бит, имеющими до восьми аналоговых каналов в одном блоке и усовершенствованное программное обеспечение. Это сочетание позволяет разработчику полностью реализовать преимущества широкозонных приборов в силовых DC/DC-конвертерах, а также значительно улучшить характеристики трехфазных систем, источников питания, автомобильной электроники и многого другого.

Оригинал статьи опубликован на сайте www.Bodospower.com