

Почему GaN для космических проектов DC-DC

David Reusch, доктор философии. VPT Inc., 2021



Инженеры силовой электроники постоянно работают над конструкциями с более высокой эффективностью и более высокой удельной мощностью, сохраняя при этом высокую надёжность и минимизируя затраты. Достижения в методах проектирования и улучшенные технологии компонентов позволяют инженерам последовательно достигать этих целей. Силовые полупроводники лежат в основе этих конструкций, и их усовершенствования жизненно важны для повышения производительности. В этом космическом блоге EPC мы продемонстрируем, как силовые полупроводники на основе GaN позволяют внедрять инновации в жёстких радиационных условиях космических приложений.

Силовые полупроводники на основе GaN предлагают разработчикам на рынке высокой надёжности внезапное и значительное улучшение электрических характеристик по сравнению с их предшественниками на кремниевых силовых полевых МОП-транзисторах. В таблице 1 сравниваются характеристики силовых полупроводниковых устройств с радиационной стойкостью на основе GaN и Si, важные для разработчиков схем с точки зрения повышения эффективности и плотности мощности преобразователя.

Таблица 1: Сравнение характеристик силовых полупроводниковых устройств с радиационной стойкостью на основе GaN и Si

	200 V GaN FBG20N18B	200 V Si MOSFET	Сравнение технологий
V_{DS} (В)	200	200	Такой же
$R_{DS(ON)}$ (МОм)	26	28	Похожий
Площадь устройства (мм ²)	23	237	10-кратное уменьшение
Q_G (нКл)	6	240	40-кратное уменьшение
Q_{GD} (нКл)	2	60	30-кратное уменьшение
Q_{GS} (нКл)	2	70	35-кратное уменьшение
C_{OSS} (пФ) при $V_{DS}=50V$	300	900	3-кратное уменьшение
C_{OSS} (пФ) при $V_{DS}=1V$	950	10000	10-кратное уменьшение
Q_{RR} (нКл)	0	11700	Бесконечное сокращение
V_{SD} (В)	1,75	1,2	Увеличение в 1,5 раза

Хотя сравнения в таблице 1 ясно показывают преимущества новой технологии силовых полупроводников, трудно оценить, как это отразится на реальных характеристиках схемы, когда силовой полупроводник является частью более крупной системы. Мы объясним теоретическое влияние этих характеристик устройства на производительность преобразователя, используя схему коммутации силовых полупроводников на рис. 1, и опишем влияние на инновационную конструкцию реального изделия – преобразователя постоянного тока VPT SGRB10028S, показанного на рис. 2. Преобразователь SGRB10028S имеет вход 100 В, регулируемый одиночный выход от 12 до 28 В, выходную мощность до 400 Вт и КПД выше 96%. Преобразователь SGRB использует топологию схемы полного моста с фазовым сдвигом с GaN транзисторами, используемыми как для первичных устройств, так и для вторичных синхронных выпрямителей.

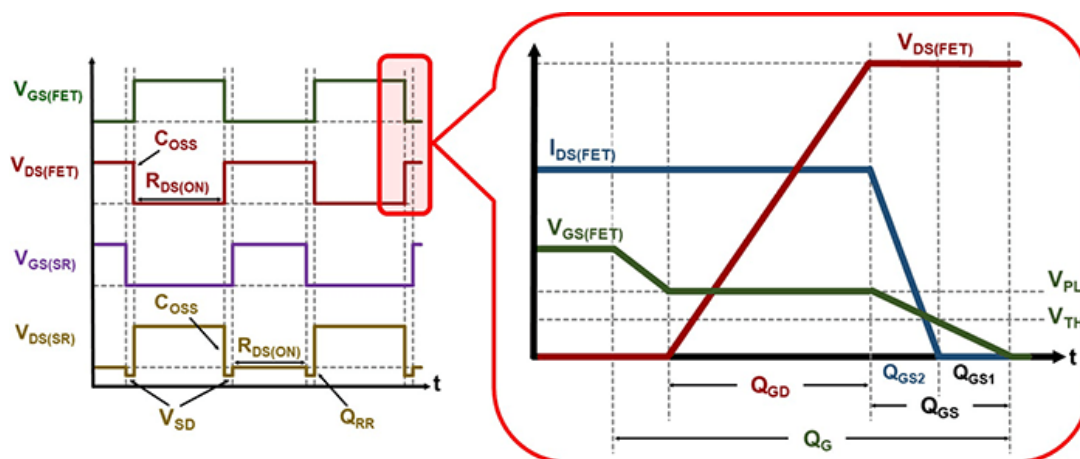


Рис. 1: Идеальные формы сигналов и механизмы потерь синхронного преобразователя с жёстким переключением

Начнём с первой записи в таблице 1. Напряжение V_{DS} , максимальное напряжение сток-исток силового полупроводника. Напряжение V_{DS} , показанное на рис. 1, включая «звон» напряжения на стоке, вызванный в основном паразитными индуктивностями в цепи, должно быть достаточно большим, чтобы обеспечить достаточный запас. Большая часть максимального напряжения сток-исток зависит от пиков индуктивности рассеяния изолирующего трансформатора и проектных входных и выходных напряжений. Таким образом, для конструкций как на GaN транзисторах, так и на Si транзисторах напряжения и, следовательно, максимальное напряжение сток-исток будут одинаковыми.

$R_{DS(ON)}$, или сопротивление сток-исток устройства в открытом состоянии, определяет потери проводимости. В рассматриваемом проекте, для обеспечения большой мощности требуется большой ток, и выбираются транзисторы с наименьшим сопротивлением в открытом состоянии, как на основе GaN (26 мОм), так и на основе Si (28 мОм). Хотя сопротивление в открытом состоянии одинаково, площадь кристаллов и пространство на печатной плате, необходимое для силовых транзисторов, сильно различаются. Площадь GaN транзистора составляет примерно одну десятую размера Si транзистора. В конструкции, показанной на рис. 2, силовой GaN транзистор занимает примерно 5-10% пространства на плате с одной стороны конструкции; если бы разработчику пришлось использовать Si MOSFET, который в 10 раз больше, занимаемое пространство на плате увеличилось бы до более чем 50%. Это сильно повлияет на дизайн других компонентов, в частности, магнитных, заставляя уменьшать их размеры и ограничивая использование интегрированных магнитных элементов, что увеличивает потери и снижает эффективность преобразователя. Преимущества, подобные этому, не показаны в таблице 1 и на рис. 1, но оказывают значительное влияние на производительность системы.

По мере уменьшения размера устройства потери должны пропорционально уменьшаться, чтобы не стать тепловым узким местом в конструкции. Характеристики транзисторов, приведённые в остальной части таблицы 1 характеризуют потери, связанные с переключением.

Q_G , заряд затвора, – это общая сумма заряда, необходимая для включения транзистора (см. рис. 1). Для GaN транзистора Q_G в 40 раз ниже, чем у Si транзистора, что приводит к более низким потерям возбуждения затвора. Еще одно преимущество более низких потерь управления затвором – снижение мощности вспомогательного источника питания, который часто занимает значительное пространство на плате и имеет значительные потери мощности.

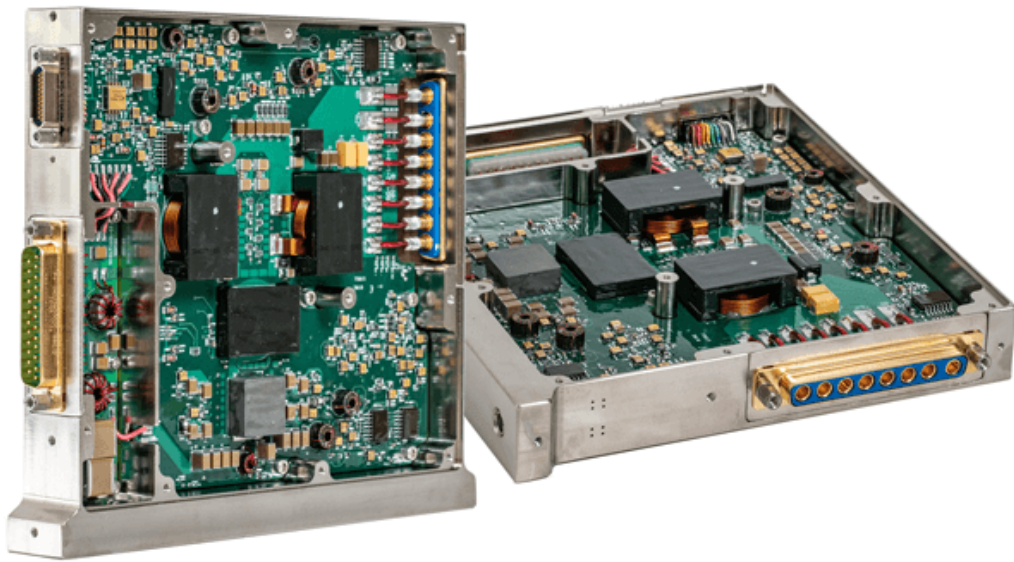
Q_{GD} , заряд затвор-сток, часто называемый зарядом Миллера, представляет собой величину заряда во время коммутации напряжения, (см. рис. 1). Для GaN транзистора Q_{GD} в 30 раз ниже, чем у Si транзистора, что приводит к более низким потерям при коммутационных изменениях напряжения на стоке.

Q_{GS} , заряд затвор-исток, представляет собой заряд, необходимый для достижения порогового напряжения затвора (Q_{GS1}) и нарастания напряжения до плато Миллера (Q_{GS2}) (см. рис. 1). Для GaN транзистора Q_{GS} в 35 раз меньше, чем у Si-устройства, что приводит к более низким коммутационным потерям по току, которые возникают за время накопления заряда Q_{GS2} (см. рис. 1).

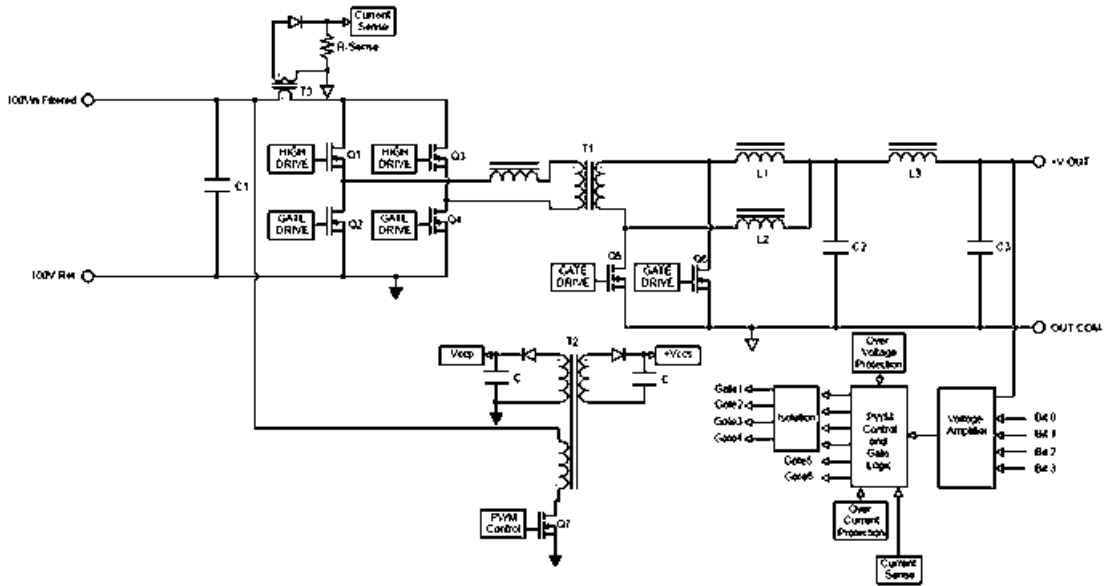
C_{OSS} , выходная ёмкость, является суммой емкостей сток-исток и затвор-сток. Выходная ёмкость должна быть разряжена или мягко коммутирована во время каждого цикла переключения. Для устройства на основе GaN C_{OSS} в 3–10 раз ниже, чем для устройства на основе Si, соответственно для высокого (50 В) и низкого (1 В) блокирующих напряжений. В приложениях с жёстким переключением потери в выходной ёмкости пропорциональны V_{DS}^2 , и более важное значение имеет состояние выходной ёмкости с более высоким напряжением блокировки. В приложениях с мягким переключением, где мягкое переключение обычно достигается по отношению к V_{DS} , большее значение выходной ёмкости, которое возникает при более низких напряжениях блокировки, имеет большее значение. Независимо от топологии конструкции, транзистор на основе GaN имеет более низкие C_{OSS} потери.

Q_{RR} , заряд обратного восстановления, представляет собой заряд, накопленный в диоде полевого МОП-транзистора, который необходимо разрядить до того, как полевой МОП-транзистор сможет блокировать напряжение, и является основным источником потерь в синхронном выпрямителе (SR). Для устройства на основе GaN, которое не имеет неосновных носителей и нулевое Q_{RR} , потери при обратном восстановлении бесконечно ниже, чем для устройства на основе Si.

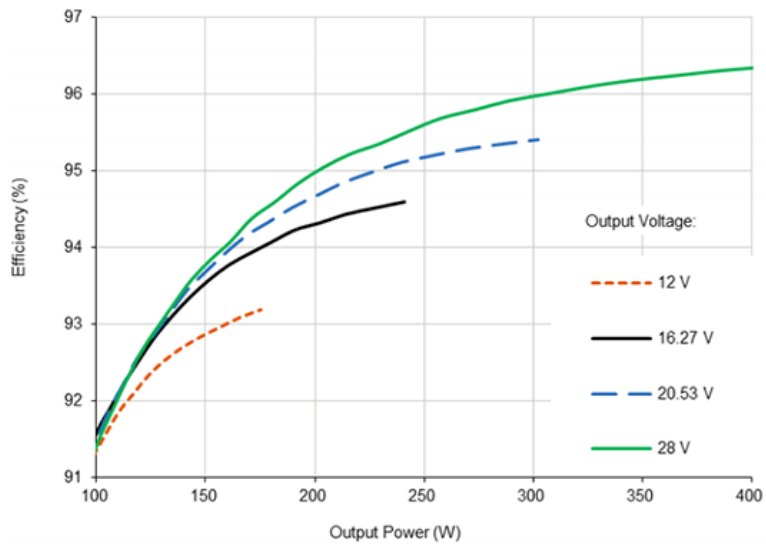
V_{SD} , прямое напряжение исток-сток, также известное как прямое напряжение на диоде полевого МОП-транзистора, представляет собой напряжение на выключенном транзисторе синхронного выпрямителя, когда он должен проводить ток, обычно это короткое мертвое время, прежде чем устройство управления подаст команду на его включение, как показано на рис. 1. Для транзистора на основе GaN потери прямой проводимости в 1,5 раза выше, чем для транзистора на основе Si. Детальное взвешивание каждого из этих механизмов потерь зависит от приложения и выходит за рамки этого обсуждения, но независимо от приложения транзисторы GaN имеют значительно более низкие заряды / ёмкости и связанные с ними потери по сравнению с Si MOSFET. Для конструкции, показанной на рис. 2, потери мощности на GaN полупроводниках уменьшаются в достаточно большой степени, так что, занимая только 1/10 площади, занимаемой Si полевыми МОП транзисторами, транзисторы на основе GaN не являются тепловым узким местом системы. Такое не достижимо без превосходного силового полупроводника.



a)



b)



c)

Рис. 2: DC-DC преобразователь SGRB10028S (VPT) (a), схема (b), зависимости КПД (c)

Сочетание передовых силовых полупроводников на основе GaN и современных методов проектирования обеспечивает новый уровень производительности в высоконадежных космических конструкциях, как показано на рис. 2. Серия SGRB (VPT) была разработана специально для космических телекоммуникаций, где высокая эффективность, низкий уровень шума и приемлемая радиационная стойкость обязательны. Серия преобразователей SGRB была разработана с использованием передовой технологии на основе GaN для обеспечения увеличения эффективности источника питания, которое приводит к уменьшению размера, веса и стоимости системы. Серия преобразователей постоянного тока SGRB на основе GaN была удостоена награды Platinum от компании Military & Aerospace Electronics Innovators, которая является высшей наградой. Эта награда присуждается компаниям в авиационно-космической и оборонной электронной промышленности, которые внесли новаторский вклад и инновационные решения при решении задач проектирования.

Источник: [Why GaN for DC-DC Space Designs](#)