

СИЛОВЫЕ MOSFET КОМПАНИИ INFINEON

ГЕННАДИЙ КОВАЛЕВ, инженер

Эта статья не изобилует техническими подробностями – ее следует рассматривать, скорее, как краткий справочник по силовым MOSFET компании Infineon.

Вне всяких сомнений, компания Infineon, крупнейший производитель силовых MOSFET, не нуждается в представлении. Из всех компаний, присутствующих на российском рынке, именно у нее самая широкая производственная линейка MOSFET. Силовые MOSFET производства Infineon разделяются на следующие группы:

- *n*-канальные MOSFET группы CoolMOS, напряжение сток-исток: 500–950 В;
- MOSFET для автомобильной электроники, напряжение сток-исток: 20–600 В;
- *n*-канальные MOSFET, напряжение сток-исток: 12–300 В;
- *p*-канальные MOSFET, напряжение сток-исток: 12–250 В;
- *n*-канальные MOSFET, работающие в обедненном режиме, напряжение сток-исток: 60–600 В;
- комплементарные MOSFET, напряжение сток-исток: 60–600 В;
- карбидокремниевые (SiC) MOSFET CoolSiC.

Кратко опишем некоторые из этих групп. Технология производства ключей семейства CoolMOS стала, по сути, промышленным стандартом. Она отработана до мелочей – выпущены миллиарды ключей этого семейства. При испытаниях с суммарной наработкой 130 млн ч частота отказов не превысила 0,15 FIT. Напомним, что показатель FIT (Failure in Time) связан со средней наработкой на отказ MTTF следующим соотношением:

$$MTTF = 10^9 / FIT.$$

В группу CoolMOS входят MOSFET, оптимизированные не только под топологии с жестким переключением, но и под топологии с мягким переключением. Упрощенные схемы силовых каскадов этих топологий приведены на рисунках 1–4. На рисунке 1 представлены корректор коэффициента мощности (ККМ), а на рисунке 2 – квазирезонансный обратноходовой преобразователь. В обоих случаях происходит жесткая коммутация ключей. В мостовой резонансной схеме (см. рис. 3) и в полумостовом LLC-каскаде (см. рис. 4) осуществляется мягкая коммутация.

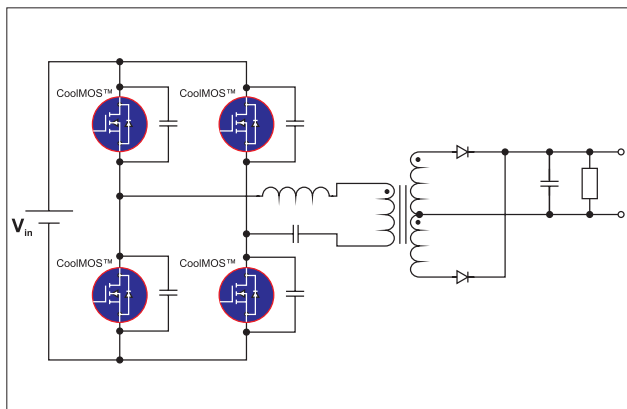


Рис. 3. Упрощенная схема мостового резонансного инвертора

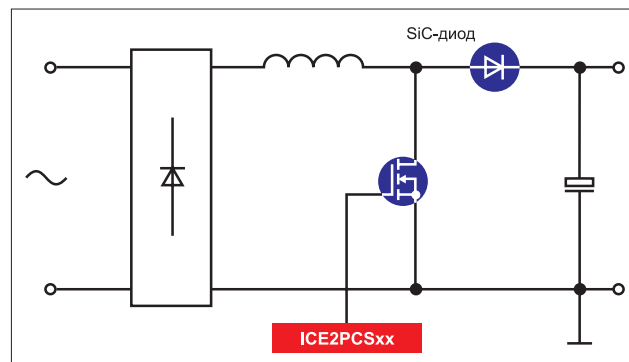


Рис. 1. Упрощенная схема корректора коэффициента мощности

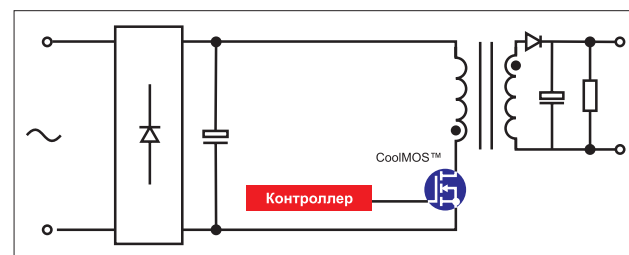


Рис. 2. Упрощенная схема квазирезонансного обратноходового преобразователя

Первые CoolMOS MOSFET появились в 2001 г. С тех пор их параметры значительно улучшились. В настоящее время в серию CoolMOS входят MOSFET со следующими значениями напряжения сток-исток (V_{DS}) и $R_{DS(ON)}$:

- 500 В, 190–3000 мОм;
- 600/650 В, 17–3400 мОм;
- 700 В, 360–2100 мОм;
- 800 В, 280–4500 мОм;
- 900/950 В, 120–3700 мОм.

В качестве примера сегодняшнего уровня CoolMOS MOSFET в таблице приведены некоторые основные параметры новинок компании. На рисунке 5 показан источник питания мощностью 800 Вт, построенный с использова-

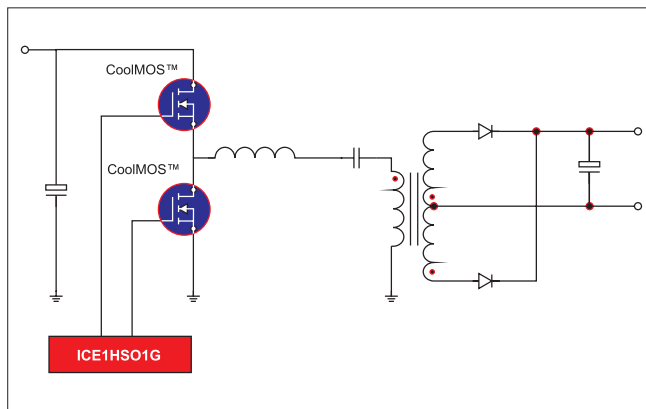


Рис. 4. Упрощенная схема полумостовом LLC-инвертора

Таблица. Некоторые основные параметры CoolMOS MOSFET серий C7 и GF7A

Параметр	MOSFET	
	IPD60R180C7	IPWS65RCFDA7X
V_{DS} , В	600	650
$R_{DS(on)}$, мОм	180	50
Суммарный заряд затвора, нКл	24	102
Длительный ток, А	22	45
Импульсный ток, А	45	211
Устойчивость dV/dt, В/нс	120	120
Задержка на отпирание, нс	9,3	34
Время нарастания, нс	7	12
Задержка на закрытие, нс	50	115
Время спада, нс	6	3
Корпус	DPAK	PG-TO 247-3

нием CoolMOS MOSFET на первичной стороне и OptiMOS MOSFET – на вторичной.

Ключи MOSFET для автомобильной электроники соответствуют стандарту AEC Q101. Их можно использовать во всех без исключения электронных системах автомобиля в разных силовых топологиях. Диапазон напряжения V_{DS} автомобильных MOSFET составляет 20–800 В. В эту группу входят два семейства OptiMOS с напряжением до 300 В и CoolMOS с напряжением 600–800 В. Помимо традиционных n -канальных MOSFET в состав группы входят p -канальные MOSFET с напряжением 20–150 В, сдвоенные n -канальные и p -канальные ключи в одном корпусе.

Минимальное сопротивление открытого канала низковольтных ключей с напряжением 20–40 В достигает 0,6 мОм (!); при этом максимальный длительный ток через них составляет 375 А. Такой результат достигнут в т. ч. благодаря инновационным технологиям корпусирования. Ток через ключи в больших корпусах D2PAK7P достигает 522 А.

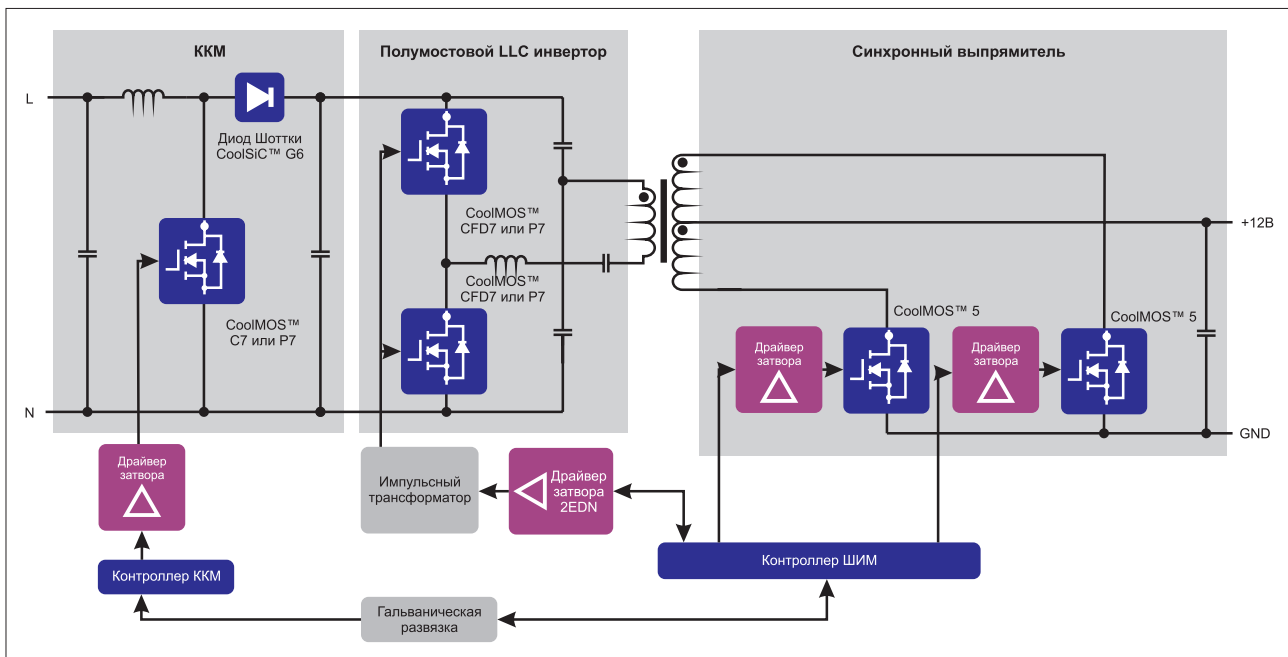


Рис. 5. Источник питания мощностью 800 Вт с использованием CoolMOS MOSFET

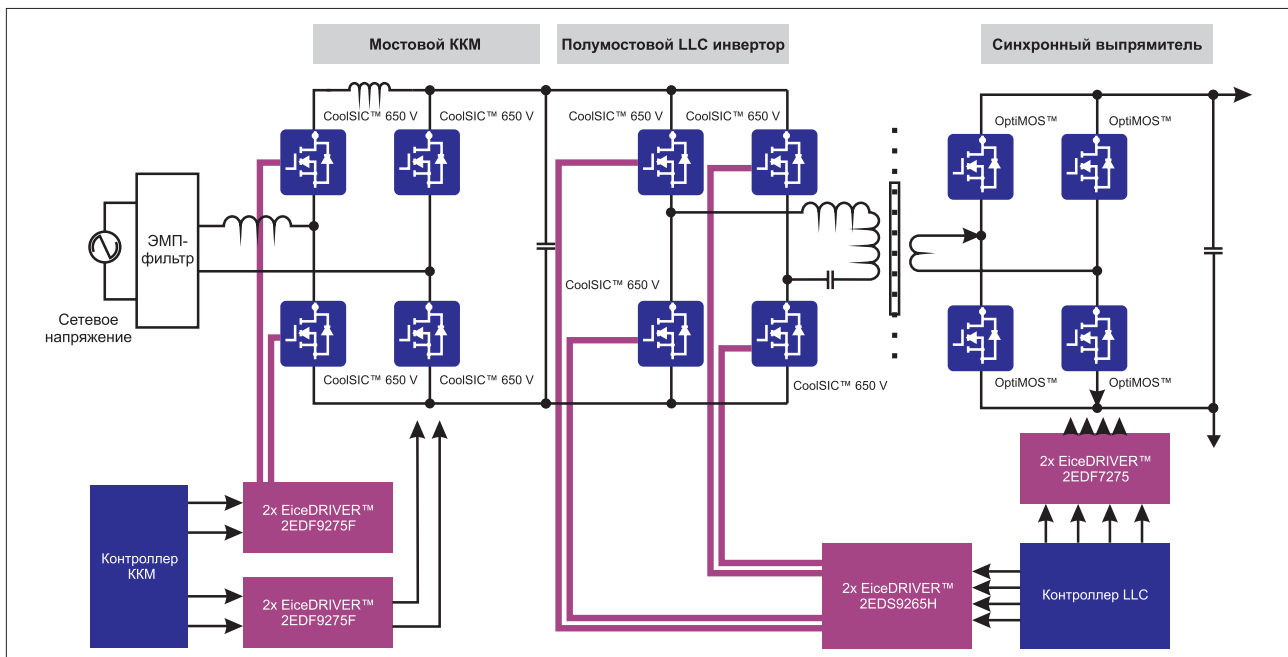


Рис. 6. Пример использования SiC FET

Сопротивление $R_{DS(ON)}$ ключей с напряжением 55/60 В находится в диапазоне 1,5–60 мОм, а максимальный коммутируемый длительный ток достигает 345 А. Благодаря корпусам SSO-8 (5×6 мм) и S3O8 (3×3 мм) удается вдвое уменьшить место, занимаемое на плате.

Диапазон напряжения ключей с сопротивлением 1,2–190 мОм составляет 75–100 В. Они коммутируют ток до 300 А и предназначены для бортовых 48-В цепей. На наш взгляд, разработчикам будут наиболее интересны новинки IAUS300N10S5N015T и AUS300N08S5 N012T. Оба ключа коммутируют длительный ток 300 А. У первого из них – относительно низкий суммарный заряд затвора 66 нКл, а у второго – малая величина $R_{DS(ON)}$ равная 1,2 мОм.

Следующий диапазон напряжений 120–300 В принадлежит MOSFET с $R_{DS(ON)}$ в диапазоне 4,8–430 мОм и максимальным коммутируемым током 4,3–180 А. У этих транзисторов – довольно низкий суммарный заряд затвора и, следовательно, неплохие динамические свойства. Эти ключи могут работать в цепях с рабочей частотой 100 кГц.

Большой интерес вызывает группа CoolSiC карбидокремниевых MOSFET. Ширина запрещенной зоны SiC больше, чем у кремния (Si), что позволяет создавать высоковольтные SiC MOSFET (SiCFET). Компания Infineon сполна воспользовалась этой возможностью, создав линейку 650-, 1200- и 1700-В SiCFET с недостижимыми для традиционных Si MOSFET параметрами. Например, заряд обратного восстановления внутреннего диода Q_{RR} SiCFET на 80% меньше, чем у MOSFET. Кроме того, значительно меньше и сопротивление $R_{DS(ON)}$. Использование SiCFET позволяет создать ККМ с КПД более 99%! Пример использования SiCFET приведен на рисунке 6.

При эксплуатации SiCFET следует иметь в виду, что их выходные характеристики не имеют явно выраженной точки перегиба между линейной областью и областью насыщения

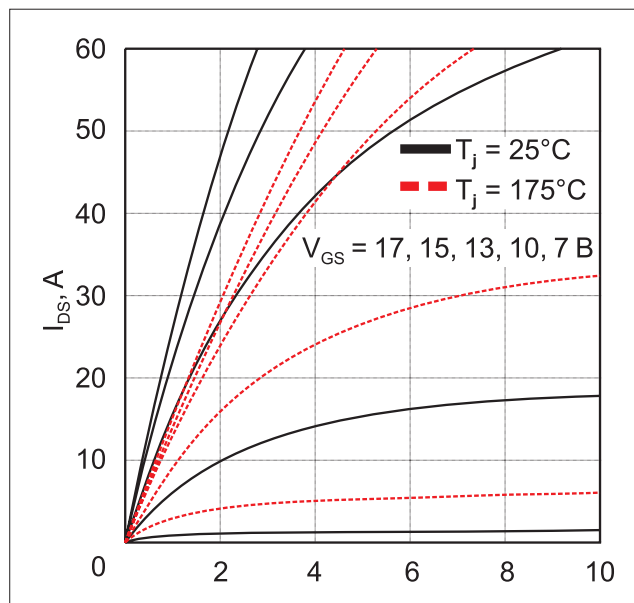


Рис. 7. Выходные характеристики SiCFET

(см. рис. 7) – они в большей мере походят на вольтамперную характеристику нелинейного сопротивления. Из этого обстоятельства следуют два вывода.

Во-первых, выходное напряжение драйвера затвора SiCFET должно быть выше, чем у MOSFET. Во-вторых, поскольку SiCFET, в отличие от IGBT или кремниевых MOSFET, не имеют резкого насыщения, они не ограничивают ток короткого замыкания, который достигает очень большой величины. С учетом этого обстоятельства компания Infineon предлагает к своим ключам SiCFET специально разработанные драйверы, которые избавит разработчиков от многих проблем. ◀