

# CiPoS™ — новое семейство силовых драйверов

с интегрированным инвертором на 600 В/8 — 22 А

**В статье рассматриваются характеристики модулей CiPoS™, особенности их построения и применения.**

**Анатолий Юдин, к. т. н.**

info@otkcm.ru

В мае 2007 года компания Infineon Technologies AG объявила о начале производства нового семейства высокоинтегрированных силовых модулей с развитой логикой, содержащих почти все необходимые полупроводниковые компоненты, которые требуются для электронного управления электродвигателями с изменяемой скоростью вращения. Новые модули CiPoS™ (Control Integrated Power System) разработаны с целью повышения коэффициента полезного действия таких бытовых приборов, как стиральные машины и кондиционеры воздуха (увеличение КПД до 94%).

Использование двигателей с регулируемой частотой вращения для снижения энергопотребления та-

ких изделий, как посудомоечные и стиральные машины, кондиционеры и др., является ответом на ужесточение нормативных требований и на потребительский спрос. Одновременно проектирование интеллектуального электронного управления приводом делает использование таких двигателей предпочтительным с точки зрения производства, эффективности (КПД) и энергосбережения.

Новые модули CiPoS содержат трехфазный силовой инвертирующий каскад с драйвером затвора со структурой типа «кремний на диэлектрике» (SOI), бутстрепные диоды и конденсаторы, а также вспомогательные цепи в компактном полностью изолированном корпусе. Блок-схема новых модулей CiPoS™ представлена на рис. 1. Внешний вид модулей показан на рис. 2. Базируясь на передовых технологиях Infineon TrenchStop™ для IGBT и EmCon™ (управляемый эмиттер) для диодов, новые модули заменяют 23 дискретных компонента. Это помогает уменьшать затраты изготовителей различными способами, включая сокращение числа компонентов и цены логистики, уменьшение размеров печатных плат, упрощение компоновки и сборки, за счет повышения надежности и ограничения ЭМИ, а также за счет сокращения времени выхода на рынок. Например, при использовании модуля CiPoS™ в качестве основной системы управления в центробежном вентиляторе требуется всего девять дополни-

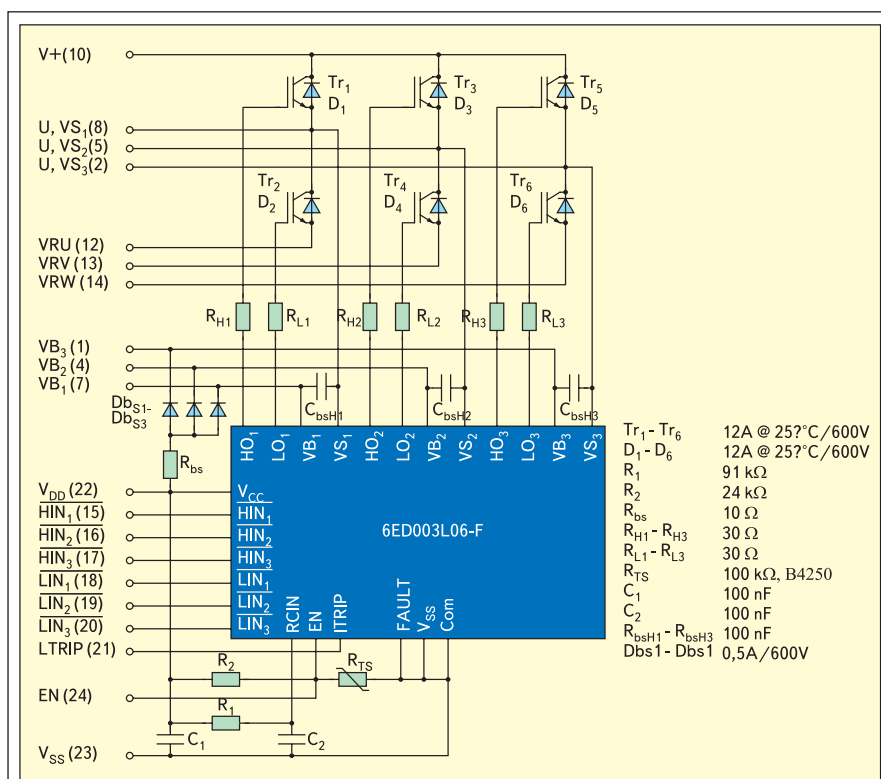


Рис. 1. Блок-схема модуля CiPoS™



Рис. 2. Внешний вид модулей CiPoS™

тельных компонентов и один микроконтроллер. Таким образом, модули CiPoS представляют собой готовое к использованию решение для приводов электродвигателей с номинальной мощностью до 3 кВт.

Основные характеристики модулей CiPoS™ следующие:

- полностью изолированный корпус;
- лучшее в классе тепловое сопротивление  $R_{th} = 3 \text{ K/Вт}$  для IKCS12F60AA;
- встроенные транзисторы TrenchStop IGBT с небольшим напряжением насыщения:  $V_{CEsat} = 1,5 \text{ В}$  при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- хорошие переключающие возможности:  $f_{sw} \leq 20 \text{ кГц}$ ;
- диод, оптимизированный по технологии EmCon™ для уменьшения ЭМИ;
- встроенные ограничительные (бутстреп-ные) диоды и конденсаторы;
- технология управления затвором типа «кремний на диэлектрике» (SOI) с допущением отрицательного переходного напряжения:  $-50 \leq V_s \leq 600 \text{ В}$ ;
- различные функции защиты (от температурного перегрева, перегрузки по току) и блокировка взаимной проводимости плеч инвертора;
- блокировка пониженного напряжения для всех каналов;
- соответствующая задержка на прохождение для всех каналов;
- открытый эмиттер для шунтового измерения тока;
- совместимость с RoHS.

Модули CiPoS™ обладают одним из самых низких сопротивлений «переход/корпус», что позволило увеличить выходной ток на 20%

по сравнению с другими аналогичными модулями. Например, тепловое сопротивление «переход/корпус» у IGBT в CiPoS™ модуле IKCS12F60AA составляет  $3,6 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$  и  $4,9 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$  — у диодов EmCon. При номинальном рабочем напряжении 15 В в результате низкого сопротивления выходной ток составляет 6 А по сравнению с 5 А у самого близкого конкурента. Это позволяет обеспечить более высокую выходную мощность в разработках с теплоотводящим радиатором эквивалентного размера по сравнению с альтернативными модулями или использовать теплоотводящий радиатор меньшего размера для той же самой мощности.

Связь модулей с микроконтроллером осуществляется через прямое подключение управляющих терминалов с использованием нагрузочных резисторов. Цикл управления с обратной связью может быть легко осуществлен за счет добавочного внешнего операционного усилителя. Типовая схема применения модулей CiPoS™ представлена на рис. 3.

В семейство модулей CiPoS™ будет входить не менее шести устройств. В настоящее время доступны образцы первых членов семейства (табл.), совместимые с модулями с однорядным расположением выводов. Они подходят для стиральных машин и других подобных приложений. Планируется, что семейство модулей CiPoS будет включать разное число IGBT (четыре или шесть), модули будут отличаться открытым или закрытым эмиттером и обладать различными особенностями.

Начало полномасштабного производства модулей планируется на третий квартал 2007 года. Кроме того, запланирован и выпуск моду-

Таблица

Семейство модулей CiPoS™				
Обозначение	$V_{CEsat}$ тип, В	$V_f$ тип, В	$E_{off}$ тип, мДж	$E_{on}$ тип, мДж
IKCS08F60AA*	1,85	1,6	0,15	0,19
IKCS12F60AA	1,85	1,6	0,22	0,29
IKCS17F60AA*	1,85	1,6	0,42	0,7
IKCS22F60AA	1,85	1,6	0,65	1,05
* В разработке				

лей в версии двухрядного корпуса для приложений HVAC с более высокой мощностью.

Рассмотрим некоторые особенности построения модулей CiPoS™ компании Infineon. Конфигурация их системы (рис. 1) состоит из трех полумостов с TrenchStop IGBT-транзисторами, шунтированных быстрыми диодами EmCon™, и трехфазного драйвера затвора SOI. Для фиксации верхнего уровня питания имеются ограничительные диоды и встроенный конденсатор емкостью 100 нФ. Для адаптации к условиям работы используются датчик температуры и пассивные компоненты. Теплоотвод полностью изолирован. Расстояние по поверхности между выводами 2,8 мм.

Устройства IKCS12F60AA и IKCS12F60AB (см. табл. 1) предназначены для использования во всех приложениях, рассчитанных на управление выходной мощностью до 1 кВт, что характерно для стиральных машин и кондиционеров воздуха. Во многих разработках также найдется применение для устройства IKCS22F60AA, которое обеспечивает выходную мощность до 3 кВт.

Кристаллы IGBT-транзисторов, входящих в состав IKCS12F60AA, идентичны кристаллам транзистора ICP06N60T. Они изготавливают-

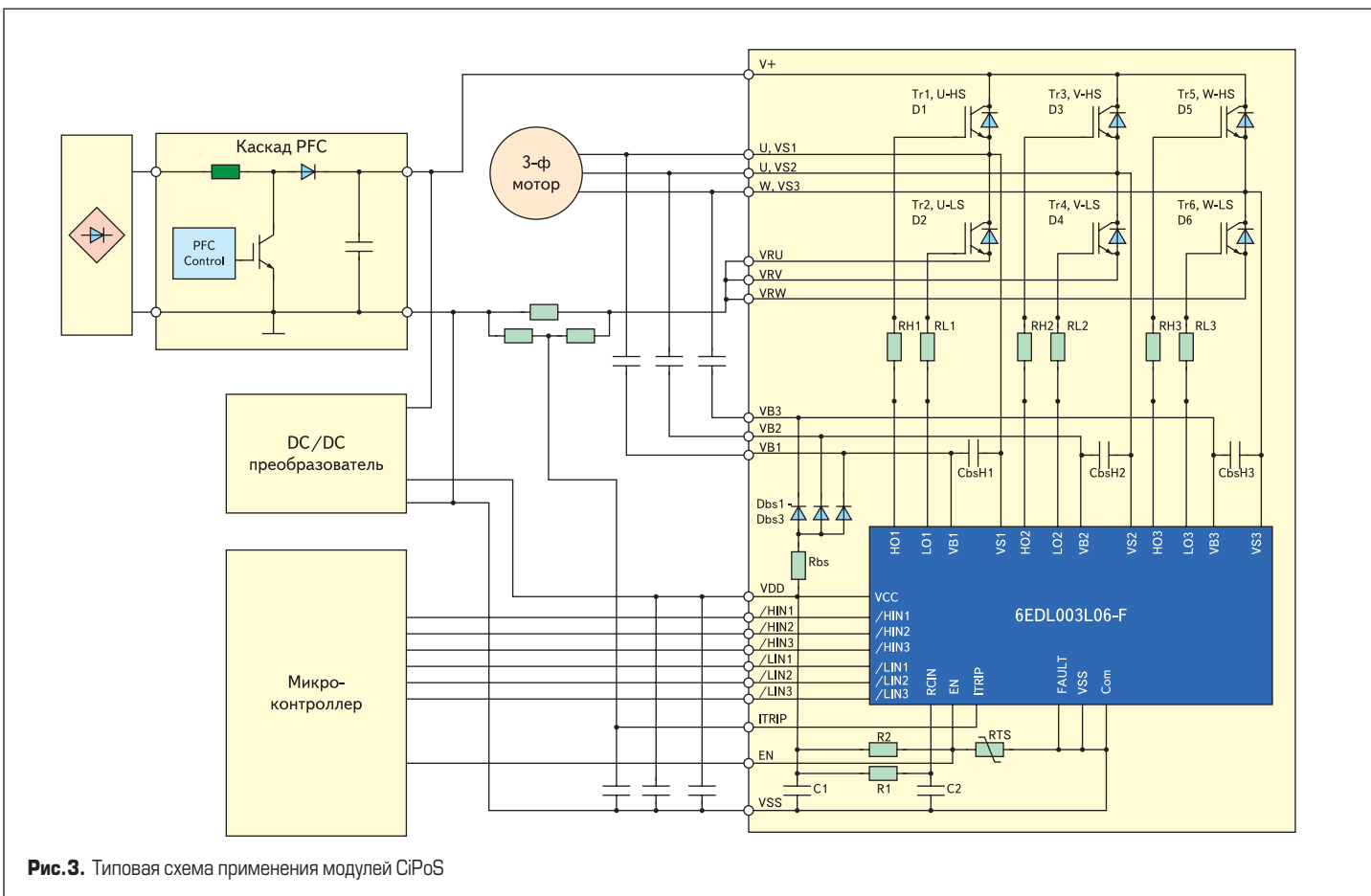


Рис.3. Типовая схема применения модулей CiPoS

ся по технологии TrenchStop™. Это самая новейшая технология без прокола базы (NPT), которая особенно приспособлена для бытовых приложений управления. IGBT в модулях CiPoS™ рассчитаны на максимальную температуру перехода  $T_J = 150^\circ\text{C}$ .

В случае короткого замыкания выделяется большое количество теплоты, которая почти полностью рассеивается кремниевым кристаллом. TrenchStop IGBT-транзистор на 600 В способен выдерживать короткое замыкание в течение  $t_{SC} = 5$  мкс при  $T_J = 150^\circ\text{C}$ ,  $V_{GE} = 15$  В и  $V_{CC} = 400$  В. При других условиях это время может быть другим.

Чаще всего разрушение кристалла вследствие короткого замыкания происходит в трех случаях:

- Разрушение во время выключения из-за защелкивания, которое связано с избыточным нагревом устройства.
- Разрушение в процессе прохождения импульса тока (токовый режим разрушения), который не связан с температурой устройства. До сих пор этот режим разрушения не до конца изучен, а чтобы его избежать, принимаются известные конструкционные меры.
- Разрушение после успешного выключения (энергетическое разрушение) из-за выхода устройства из-под теплового контроля в результате рассеянной энергии в пределах импульса. Очевидно, этот режим разрушения в значительной степени зависит от температуры устройства до короткого замыкания.

Для 600-вольтовых транзисторов TrenchStop IGBT может наблюдаться исключительно режим разрушения третьего вида, что демонстрирует надежную и свободную от защелок конструкцию устройства. Следует заметить, что современные методы обнаружения короткого замыкания достаточно быстродействующие и позволяют обнаружить и устранить его в пределах 5 мкс.

Диодная технология оптимизирована для поддержки IGBT-транзистора в диапазоне частоты переключений от 5 до 16 кГц. Комбинация технологий EmCon и Trenchstop обеспечивает минимум полных потерь в верхней части диапазона частоты переключений.

Подробнее рассмотрим секцию управления. Входные сигналы совместимы как с TTL, так и с КМОП логикой. Логические уровни могут снижаться до 3,3 В. Максимальное входное напряжение внутренне ограничивается 10,5 В. Однако рекомендуемый диапазон входного напряжения — до 5 В. Входы управления LIN и HIN находятся в активном низком состоянии. Они все имеют внутреннюю нагрузочную структуру с номинальным значением нагрузочного резистора порядка 70 кОм. Интегрированные нагрузочные резисторы предназначены для нагрузки внутренней структуры и обеспечения надежного состояния CiPoS™ при управлении внешними микросхемами. Поэтому, вероятно, необходима и внешняя нагрузочная схема. Однако необходимо проверять, не вызывают ли подсоединенные устройства типа микроконтроллеров сигнал

включения в течение исключений типа сигнала сброса. Например, у микроконтроллеров Infineon XC866 в течение сброса контакты ввода-вывода сконфигурированы как входы и поэтому CiPoS™ способен нагрузить его выводы. В условиях сильных электромагнитных помех вблизи входных контактов рекомендуется размещать RC-фильтр.

Входной противомеховый фильтр подавляет короткие импульсы и защищает управляемый IGBT от чрезмерных потерь переключения. Типовое значение постоянной времени противомехового фильтра  $t_{FILIN}$  составляет 270 нс. Это означает, что для правильной обработки изменения состояния в течение этого периода времени входной сигнал должен оставаться на постоянном уровне.

Выключение верхней стороны IGBT происходит, когда сигнал с высоким уровнем на выводах /HIN длится более  $t_{FILINI} = 200$  нс. Иначе изменение в состоянии входного сигнала /HIN будет пропущено. Полный импульс передается, если он длится дольше, чем  $t_{HIN} = 350$  нс. Однако рекомендуемая минимальная длительность импульса составляет 1 мкс. При этом в большинстве случаев не требуется использование дополнительного внешнего RC-фильтра.

Время запаздывания между выключением транзистора верхнего уровня после включения транзистора нижнего уровня устанавливается принудительно. Драйвер внутри корпуса CiPoS™ генерирует типовое время запаздывания DT = 325 нс. Это помогает предотвращать короткое замыкание IGBT из-за работы затвора с перекрытием напряжения на его выводах. Однако интегрированные IGBT имеют определенные значения времени задержки включения и выключения. Они не симметричны. Типовое время задержки выключения для IKCS12F60AA  $t_{d(off)}$  составляет 400 нс, а типовое время задержки включения  $t_{d(on)}$  равно 20 нс. Также надо учитывать время спада и нарастания напряжения IGBT. Для IKCS12F60AA типовое время спада  $t_f$  составляет 70 нс, а время нарастания  $t_r$  — 20 нс. Суммарное время задержки выключения IGBT  $t_{d(off)} + t_f = 400$  нс + 70 нс = 470 нс. Соответствующая задержка его включения  $t_{d(on)} + t_r = 20$  нс + 20 нс = 40 нс. Разность между ними составляет 430 нс, что превышает время задержки, генерируемое микросхемой драйва (DT = 325 нс). Таким образом, время задержки, сгенерированное микросхемой драйвера, будет недостаточным, чтобы избежать короткого замыкания во всех возможных состояниях полумоста. С ростом номинального тока IGBT все указанные интервалы времени увеличиваются. Поэтому разность между задержкой выключения и включения для IKCS22F60AA будет больше. Это означает, что время задержки должно устанавливаться микроконтроллером. Чтобы избежать короткого замыкания ветви полумоста, для IKCS12F60XX рекомендуется устанавливать время задержки как минимум в 1 мкс.

Автоматическая установка начальной рабочей точки системы в определенное состояние является распространенным методом накач-

ки заряда от низкого потенциала до высокого уровня. По этой методике питающее напряжение для плавающих затворов секций верхнего уровня полумостов может быть легко установлено с использованием фиксирующих (бутстрепных) конденсаторов  $C_{bsH1...3}$ , диодов  $D_{bs1...3}$  и ограничительного резистора  $R_{bs}$  (рис. 1). Номинальное значение встроенных сопротивлений  $R_{bs}$  (10 Ом) и емкостей  $C_{bsH1...3}$  (100 нФ). Методика расчета величины емкости фиксирующих емкостей приведена в документе [1]. Для большинства используемых частот переключения рекомендуемая величина внешних бутстрепных емкостей, подключаемых параллельно внутренним конденсаторам  $C_{bsH1...3}$ , составляет 4,7 мкФ (рис. 3).

Основной особенностью модулей CiPoS является высокая степень защиты от перегрузки по току. Она реализуется на основе считывания напряжения с внешнего шунтового сопротивления  $R_{SH+}$  подключаемого к выводам VRU, VRV, VRW и Vss (рис. 3). Модуль CiPoS™ останавливает работу, как только уровень напряжения  $V_{IT, TH+}$  в штырьке ITRIP становится выше типового значения 0,45 В. Этому напряжению соответствует уровень тока  $I_{ITRIP} = V_{IT, TH+}/R_{SH+}$ .

Запускается внутренний компаратор, и блокировочный триггер переходит в установленное состояние. Этот триггер отключает все выходы секций транзисторов нижнего и верхнего уровня. После запуска компаратора защиты от перегрузки начинается зарядка RC-цепи. Повторный запуск работы CiPoS™ осуществляется приблизительно через 5 мс.

Очень низкий порог компаратора ITRIP позволяет подавать считываемый сигнал непосредственно на штырек вывода ITRIP. Благодаря этому не требуется дополнительный делитель напряжения. Вместо него используется RC-фильтр, который уменьшает выбросы напряжения в считываемом сигнале. Уровень срабатывания 0,45 В достаточно низок, чтобы подключить вывод RC-фильтра непосредственно к выводу ITRIP. Напряжение на выводе ITRIP ограничено на уровне 10,5 В внутренним диодом Зенера.

Диапазон питающего напряжения модулей имеет максимальное значение 20 В. При напряжении питания выше этого значения внутреннего фиксирующая схема ограничит данный параметр до 20 В. Необходимо принимать меры конструкционного характера, при которых напряжение питания не может быть выше 20 В, потому что запуск внутреннего ограничителя вызывает локальные потери, которые могут привести к разрушению устройства. Повышенные значения напряжения питания могут носить лишь временный характер. Рекомендуемый диапазон напряжения питания — до 17,5 В, так как ограничительная схема имеет достаточно широкую границу предела ограничения.

Переход модулей CiPoS™ от ждущего режима к нормальной работе осуществляется, когда питающее напряжение на штырьке вывода  $V_{CC}$  становится выше 12 В. CiPoS™ работает в нормальном режиме до питающего напряжения 10,3 В как для напряжения накач-

ки, так и для напряжения питания нижнего уровня. Это важно для защиты IGBT от слишком низкого напряжения затвора, которое может вызвать повреждение IGBT из-за чрезмерных потерь.

Защита от температурного перегрева реализована с использованием резистора  $R_{TS}$  с отрицательным температурным коэффициентом (NTC). Защита находится полностью внутри SiPoS™. Сигнал с делителя напряжения запускает компаратор, когда напряжение достигает значения  $V_{EN,th-} = 1,32$  В. Эта точка представляет температуру 125 °С в месте расположения резистора NTC, которая является также максимальной рабочей температурой затвора микросхемы драйвера. Резистор NTC расположен на печатной плате SiPoS™. Внимание: сигнал делителя доступен в версии модуля с суффиксом AA. Версия, название которой заканчивается символами AB, содержит идентичную схему, но без сигнала на выводе.

Положительный действующий порог компаратора равен напряжению  $V_{EN,th+} (2,1$  В), что соответствует температуре приблизительно 110 °С. Это означает, что SiPoS™ должен сначала остыть, а уж потом начать повторный запуск. Это нужно, чтобы защитить от температурного перегрева затвор микросхемы драйвера. Однако теплозащита должна также защитить от перегрева и силовые полупро-

водниковые устройства. Поэтому необходимо иметь хорошую тепловую связь силовых полупроводников с NTC. Для этого достаточно использовать радиатор, который охватывает всю нижнюю сторону SiPoS™. Это приведет к хорошему теплообмену непосредственно через радиатор. Тогда время реакции NTC составит приблизительно 150 с.

Схема с NTC зависит от питающего напряжения SiPoS™, потому что его изменение при неизменной температуре приводит к изменению напряжения сигнала с делителя напряжения. Это означает, что температура запуска защиты от перегрева тоже может изменяться при нестабильном напряжении питания. Типовое сопротивление NTC составляет 100 кОм при 25 °С, а его В-константа равна 4250 К.

Для шунтирования высокочастотных токов, возникающих в импульсном режиме инвертора, рекомендуется использовать блокировочный конденсатор. Конденсатор должен быть расположен как можно ближе к выводам V+ и Vss. Это позволяет уменьшить паразитные индуктивности в тракте постоянного тока верхнего уровня, а также в трактах эмиттеров. Кроме того, это позволяет снизить влияние ЭМИ модуля SiPoS™ на устройства, расположенные близко от него.

Конструкция и материалы, используемые для производства модулей SiPoS™, обеспе-

чивают низкие характеристики теплового сопротивления. Тепловое сопротивление «переход-корпус» одного IGBT составляет  $R_{thJC} = 3,6$  К/Вт, а одного диода –  $R_{thJCD} = 4,9$  К/Вт. Все силовые транзисторы и диоды, расположенные в корпусе модуля, изолированы друг от друга. Напряжение изоляции составляет  $V_{ISOL} = 2500$  В.

Выходной постоянный ток, обеспечиваемый модулями SiPoS™, при 25 °С на 20% больше, чем у самого близкого аналога, и на 30% больше для IGBT при 100 °С. Выходной постоянный ток зависит от выходной характеристики IGBT и его теплового сопротивления  $R_{thJC}$ . Высокие характеристики модулей SiPoS™ определяются его очень высокой электрической и тепловой эффективностью.

## Литература

1. Frank W. IKCS12F60AA — Technical Description, AN-Cipos-1, Application Note, V 1.0. Jan. 2007.
2. Turkes P. Thermal Performance of the IKCS22F60AA, AN-Cipos-2, Application Note, V 1.0. March 2007.
3. IKCS12F60AA / IKCS12F60AB, Data Sheet, Preliminary. March 2007.
4. IKCS22F60AA, Data Sheet, Preliminary. March 2007.