

Драйверы СТ-Концепт

для силовых IGBT- и MOSFET-модулей на базе нового ядра SCALE-2

В статье дан краткий обзор драйверов для управления силовыми IGBT/MOSFET-модулями. Подробно описаны устройства серий SCALE и SCALE-2, выпускаемые компанией СТ-Концепт. Рассмотрены особенности нового драйверного ядра, построенного на наборе микросхем SCALE-2. Приведены основные характеристики и пример использования драйверов SCALE-2 для управления параллельным соединением IGBT-модулей.

Анатолий Бербенец

berben@efo.ru

Любому специалисту по силовой электронике знаком термин «драйвер». Так называют микросхему или модуль на печатной плате, управляющие полупроводниковым силовым модулем или дискретным полупроводниковым прибором (MOSFET, IGBT, биполярным транзистором, тиристором и т. п.) и выполняющие защитные и сервисные функции. Главной задачей, решаемой схемой управления затвором, например IGBT-транзистора, является согласование уровней импульсов, вырабатываемых контроллером (микропроцессором), с сигналами управления входами силовых ключей, которые, как правило, требуют некоторой мощности для включения/выключения. И мощность эта не может быть обеспечена мало-сигнальным по своей сути устройством типа микроконтроллер. В схемотехнике современные драйверы условно делятся на аналоговые (точнее, аналого-цифровые) и цифровые. Принципиально цифровой драйвер отличается от аналого-цифрового программно-управляемой логической частью, с помощью которой могут программироваться основные и защитные параметры. Наиболее известным, хотя и молодым, производителем универсальных цифровых драйверов является фирма InPower Systems, основанная в 2002 г. в Германии (Гамбург). Основным преимуществом цифровой архитектуры перед аналого-цифровой является меньшая цена и более точный, например, пусковой (start up) контроль. Аналого-цифровые драйверы, в свою очередь, имеют лучшие характеристики по быстродействию и более эффективную реализацию защитных функций в динамике — защита от короткого замыкания, динамическое ограничение управляющего напряжения, защита по du/dt и т. п. Но, вследствие меньшей универсализации схемотехники и как следствие — малой серий-

ности, цена аналого-цифровых драйверов выше. Драйверы управления IGBT выпускаются различными производителями: это Semikron (для IGBT 1200/1700 В), Floeth Electronic, International Rectifier, IXYS, SiLabs, MORNSUN, отечественные компании «Электровыпрямитель», «Электрум-АВ» и др. Ярким представителем, специализирующимся на выпуске аналого-цифровых IGBT-драйверов, является австрийская компания СТ-Concept Technologie AG [3], новинкам которой и посвящена данная статья.

СТ-Concept — мировой технологический лидер в секторе драйверов для IGBT (MOSFET) модулей среднего и большого диапазона мощностей с рабочими напряжениями 1200–6500 В. Компания имеет 20-летний опыт разработки и производства интеллектуальных IGBT-драйверов на базе известного ядра SCALE и предлагает самый широкий спектр этих компонентов для ведущих мировых производителей силовых IGBT-модулей: ABB, Infineon, Fuji Electric, IXYS, Hitachi, Mitsubishi и др. В 2007 г. СТ-Concept объявила о выпуске нового набора заказных (ASIC) микросхем — основы ядра, получившего название SCALE-2.

Что такое ядро драйвера? Драйвер plug&play

Ядро драйвера СТ-Concept — это модуль IGBT-драйвера на печатной плате, выполняющий основные три функции: гальваническая изоляция, защитные функции и встроенный DC/DC изолированный источник питания. Сердцем ядра драйверов является набор заказных микросхем, названный SCALE (Scalable, Compact, All purpose, Low cost, Easy to use). Набор включает в себя две заказные микросхемы: ИМС логического интерфейса драйвера (LDI) и ИМС интеллектуального

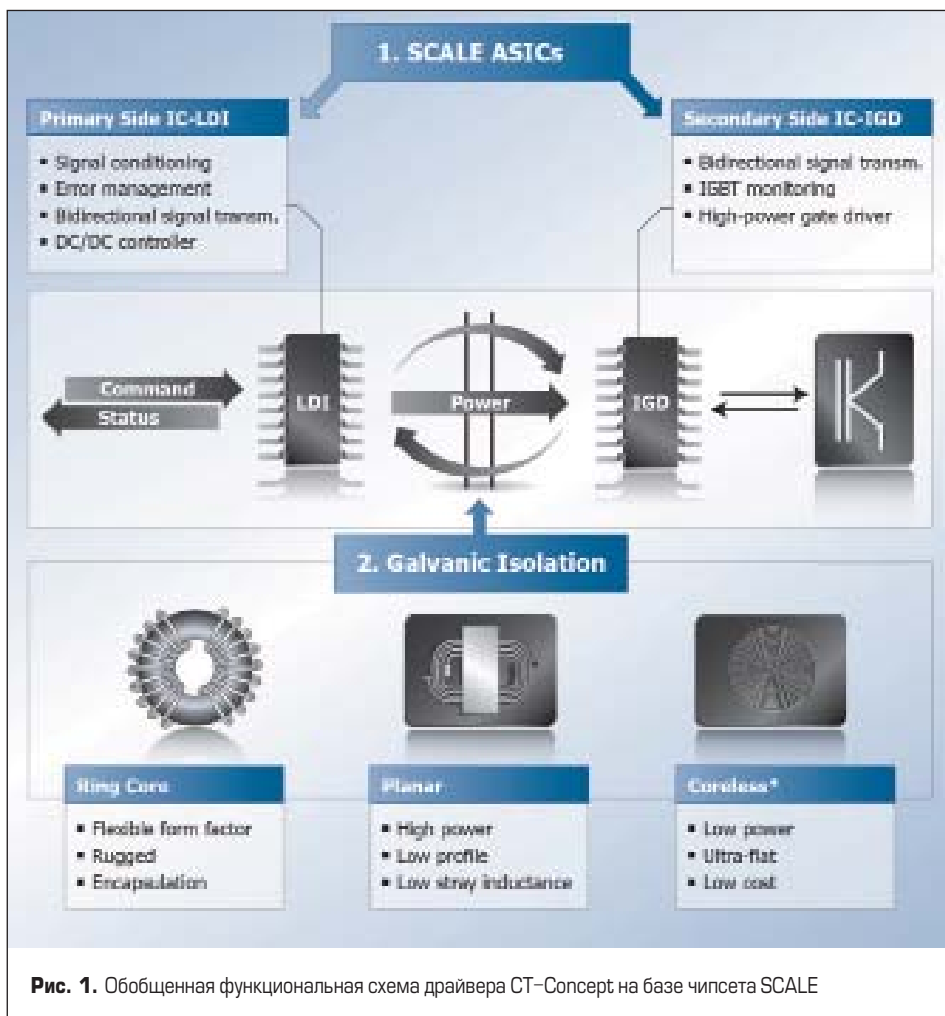


Рис. 2. Ядро драйвера SCALE-2 (1SC2060P)



Рис. 3. Plug&play-драйвер на основе ядра SCALE-2 для IGBT-модулей PrimePack

Рис. 1. Обобщенная функциональная схема драйвера CT-Concept на базе чипсета SCALE

драйвера затвора (IGD). Расположение этих микросхем в функциональной схеме драйвера показано на рис. 1.

Видно, что микросхема LDI работает на первичной стороне драйвера и обеспечивает обработку сигналов управления и ошибок, управляет двусторонней передачей сигналов и содержит схему контроллера DC/DC. В свою очередь ИМС IGD работает на вторичной стороне драйвера и выполняет функции двусторонней передачи сигналов, мониторинга силового IGBT-модуля и выполняет собственно управление затвором IGBT-модуля. Одна из важнейших функций драйвера — гальваническое разделение первичной и вторичной стороны — в драйверах CT-Concept выполнено по трансформаторной схеме. Причем используется три конструктивно-технологических способа реализации:

- трансформатор на кольцевом магнитном сердечнике;
- планарный трансформатор на низкопрофильном магнитном сердечнике;
- планарный трансформатор без магнитного сердечника (coreless).

Модуль драйверного ядра монтируется на печатную плату, содержащую дополнительные компоненты, необходимые для сопряжения с конкретными IGBT-модулями. Компоненты эти могут быть различными.

В результате получается так называемый plug&play-драйвер, который монтируется в свою очередь на IGBT-модуль. Компоненты

сопряжения — это резисторы затвора, схемы ограничения выбросов напряжения, схемы согласования интерфейсов, а также DC/DC источники питания (внешние для IGBT-модулей 4,5–6,5 кВ). Драйверные ядра CT-Concept пригодны также для управления силовыми MOSFET-транзисторами с частотой переключения до 500 кГц. Драйверные ядра выпускаются с напряжением изоляции 600–3300 В с числом каналов от 1 до 6. На рис. 2 и 3 показаны ядра драйвера нового поколения SCALE-2 (1SC2060P) и plug&play-драйвера 2SP0320T для 1200/1700В IGBT-модулей PrimePack Infineon.

Новое поколение драйверов с ядром SCALE-2, номенклатура plug&play драйверов

В набор SCALE-2 входит несколько модификаций ASIC-микросхемы интеллектуального драйвера IGD и заказной микросхемы LDI-логического интерфейса драйвера. Все микросхемы чипсета выполнены по КМОП-технологии. Чипсет SCALE-2 спроектирован специально для реализации следующих функций драйверов IGBT/MOSFET:

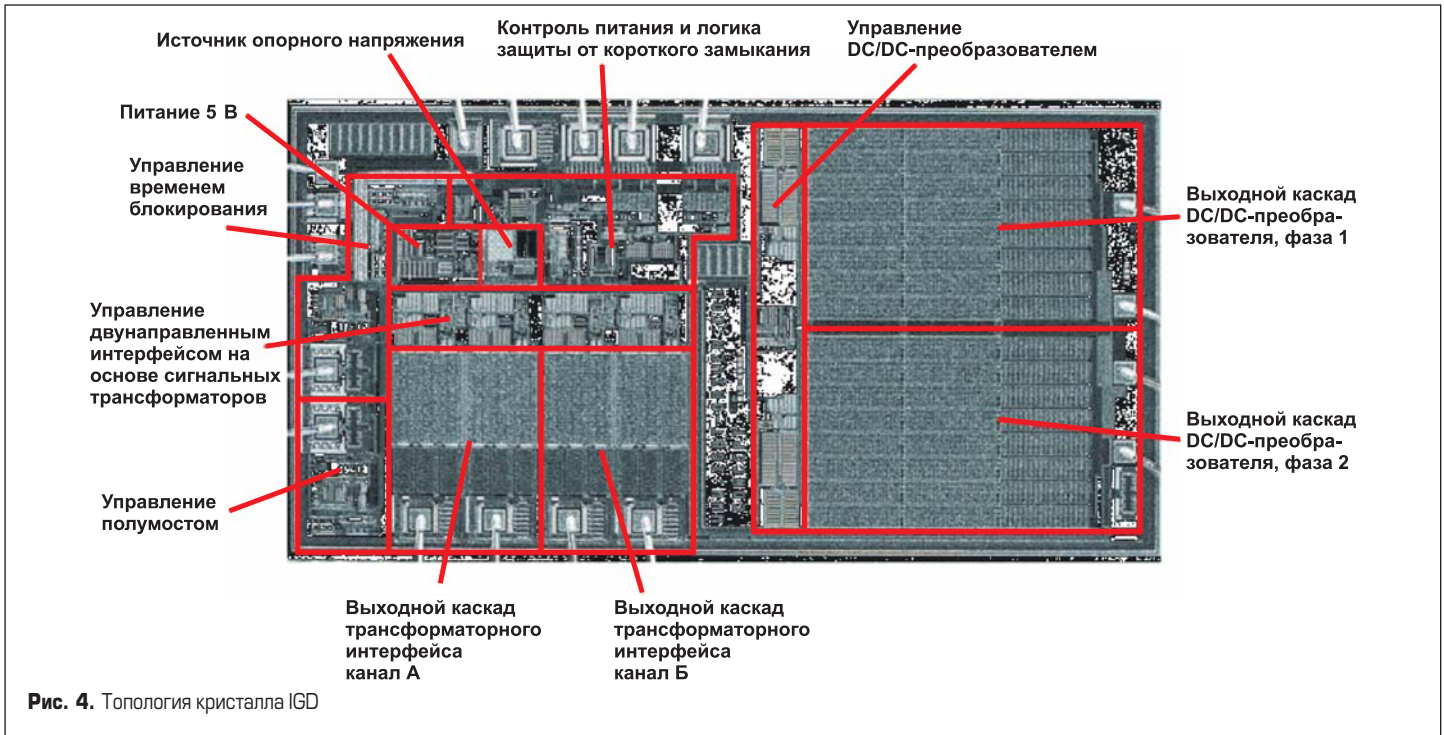
- возможность раздельного масштабирования (настройки) токов включения и выключения затворов;
- поддержка активного ограничения выходных напряжений силового транзистора в режиме выключения;

- совместимость со специфическими режимами управления инверторами на основе многоуровневых и параллельных топологий соединения силовых ключей;
- возможность опционального использования как недорогих электрических, так и оптоволоконных сигнальных интерфейсов;
- возможность управления начальными параметрами пуска (setup) и параметрами диагностики.

SCALE-2 ИМС интеллектуального драйвера затвора (IGD)

Для достижения требуемой функциональности, например двунаправленного интерфейса на основе сигнальных трансформаторов или оптоволоконного интерфейса, в разнообразной стандартной продукции применяются разные выводы для подключения к кристаллу. Заказная ИС драйвера затвора, топология которой приведена на рис. 4, также содержит частичномодифицируемую область, что позволяет реализовать дополнительную специфическую функциональность. Доступ к расширению функций управления предоставляет однократно программируемая металлическая маска. Частичномодифицируемая область образована такими заранее сконфигурированными ячейками, как аналоговые компараторы, логические элементы, простейшие приборы и контактные площадки.

При включении и удержании транзистора в открытом состоянии ИС драйвера форми-



рует стабилизированное на уровне +15 В напряжение затвор–эмиттер. Это достигается за счет регулировки эмиттерного потенциала на выводе Vee (рис. 5). При необходимости поддерживается установка специфических напряжений затвор–эмиттер.

ASIC содержит охваченную обратной связью схему управления скоростью нарастания и ограничения уровня напряжения коллектор–эмиттер при отключении IGBT-транзистора. Данная схема способствует ускорению процесса активного ограничения напряжения коллектор–эмиттер,

снижению потерь коммутации при отключении и улучшению способности к отключению при действии токов короткого замыкания. Основные свойства SCALE-2 микросхемы IGD:

- стабилизированное напряжение затвор–эмиттер;
- встроенный драйверный каскад на 8 А/0,8 Вт;
- простота масштабирования тока драйвера до 60 А/20 Вт с использованием внешнего транзистора;
- отдельные пути протекания для токов включения и выключения затвора силового IGBT;

- улучшенное активное ограничение напряжения коллектор–эмиттер при выключении;
- защита силового IGBT-транзистора от короткого замыкания;
- вход/выход аварийного сигнала на вторичной стороне;
- блокировка при недопустимом снижении напряжения питания;
- оптоволоконные интерфейсы;
- электрические интерфейсы сигнальных трансформаторов.

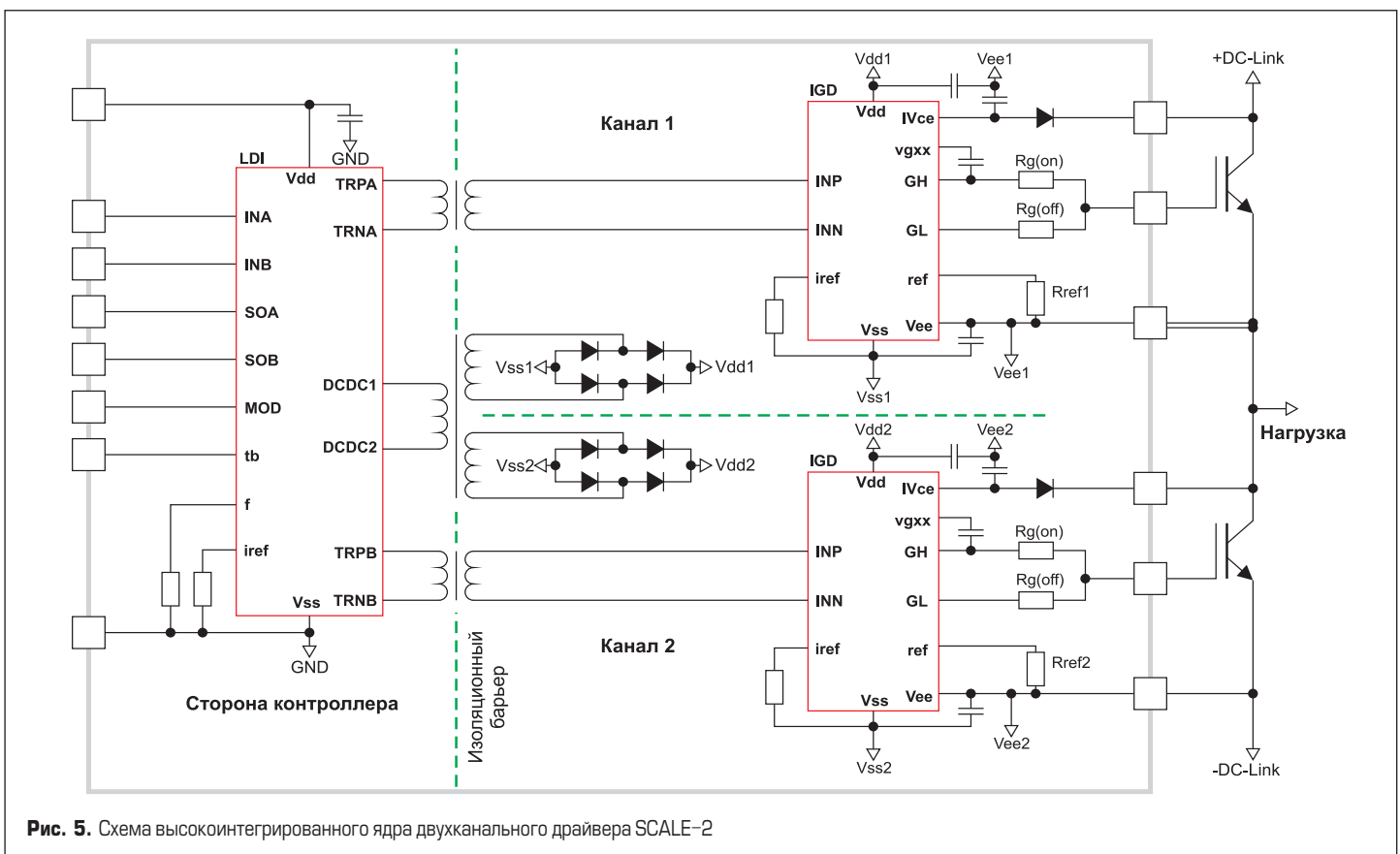


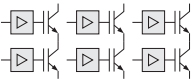


Таблица 1. Ядра драйверов CT-Concept

Тип	Выходная мощность, Вт/канал I	Ток затвора, А/канал	Напряжение изоляции, В	Частота max, кГц	Поколение SCALE	Характеристика топологии инвертора	
						Многоуровневая	Параллельная
 Одноканальные ядра драйверов							
1SD1548AI	15	48	1700	150	1	-	-
1SC2060P	20	60	1700	500	2	opt.	V
IGD515EI	5	15	1700/3300	100	-	V	-
IGD616	6	16	1700	150	1	-	-
 Двухканальные ядра драйверов							
2SC0108T	1	8	1200/1700	75	2	opt.	V
2SD106AI	1	6	1200/1700	100	1	-	-
2SD315AI	3	15	1700/2500/3300	100	1	-	-
2SD300C17	4	30	1200/1700	60	2	-	-
2SC0435T	4	35	1200/1700	100	2	V	V
2SC0650P	6	50	1700	150	2	opt.	V
IHD 260/660	1	6	1700	100	1	-	-
 6-канальные ядра драйверов							
6SD106EI	1	6	1200/1700	100	1	-	-

Данный режим отличается максимальной гибкостью и, следовательно, предпочтителен для использования в системах повышенной сложности с микроконтроллерным управлением. В режиме HALF-BRIDGE в качестве общего командного сигнала микросхема использует только один вход и генерирует два противофазных выходных сигнала. Выбор режима и регулировка паузы перекрытия выполняются в зависимости от требований применения с помощью одного резистора. По запросу клиента возможна реализация

еще одного режима работы, который предназначен для взаимоблокировки или взаимoisключения.

Логика работы защитных функций

После срабатывания любой из защит на первичной стороне драйвер переходит в состояние, в котором соответствующий канал оказывается отключенным в течение определенного интервала времени. Длительность этого интервала (время блокирования) задается с помощью одного внеш-

него резистора и при необходимости может быть установлена равной нулю. Основные характеристики, обеспечиваемые ИМС LDI:

- встроенная схема контроллера DC/DC-преобразователя;
- блокировка при недопустимом снижении напряжения питания;
- электрические интерфейсы сигнальных трансформаторов;
- выходы сигнализации об аварийных состояниях;
- совместимость с IGBT-транзисторами на напряжение до 3300 В;
- оснащение входов триггером Шмитта;
- интерфейс для логических уровней 3,3–15 В;
- совместимость со всеми семействами логических ИС;
- режимы DIRECT и HALF-BRIDGE;
- очень малая задержка по времени (<80 нс);
- очень малый джиттер (<±1 нс);
- отличная электромагнитная совместимость ($dv/dt > 100$ В/нс);
- совместимость с IGBT-транзисторами на напряжение до 6500 В при использовании оптоволоконного интерфейса;
- сигнальный оптоволоконный канал;
- подтверждение фронта сигнала;
- обратная связь по состоянию оптоволоконного канала.

Номенклатура ядер драйверов, производимых CT-Concept на основе наборов заказных микросхем SCALE/SCALE-2, приведена в таблице 1. В таблице 2 перечислены plug&play-драйверы на базе этих ядер. Результат сравнения основного набора характеристик IGBT-драйверов на базе чипсетов SCALE и SCALE-2 показан в таблице 3.

Таблица 2. Драйверы plug&play CT-Concept

Семейство драйверов	Напряжение изоляции, В	Тип сигнального интерфейса	Поколение SCALE	Характеристика топологии инвертора	
				Многоуровневая	Параллельная
EconoDUAL (Fuji, Infineon, Ixys)					
2SD316EI + DB01	1200/1700	Электрический	1	-	-
EconoPACK+ (Fuji, Infineon, Ixys)					
6SD312EI + EB01	1200/1700	Электрический	1	-	-
PrimePACK (Infineon)					
2SP0320T	1200/1700	Электрический	2	V	V
2SP0320V	1200/1700	Оптоволоконный	2	V	-
2SP0320S	1200/1700	Оптоволоконный	2	V	-
IHM/IHV 130 (ABB, Dynex, Fuji, Hitachi, Infineon, Mitsubishi, Powerex)					
2SB315A	1200/1700	Электрический	1	-	-
2SB315B	1200/1700	Оптоволоконный	1	-	-
1SD535F2	1200/1700/2500/3300	Оптоволоконный	1	V	-
1SD536F2	1200/1700/2500/3300	Оптоволоконный	1	V	-
1SD418F2	1700/2500/3300	Оптоволоконный	1	V	-
1SD312F2 + IS03116I	4500	Оптоволоконный	1	V	-
1SD210F2 + IS03116I	4500/6500	Оптоволоконный	1	V	-

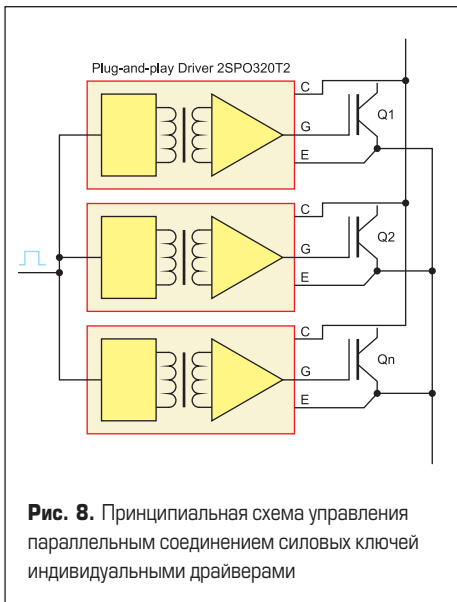


Рис. 8. Принципиальная схема управления параллельным соединением силовых ключей индивидуальными драйверами

Приведенный выше набор характеристик чипсета SCALE-2 определяет основные области применения драйверов на его основе:

- драйверы IGBT-транзисторов с малым разбросом времени задержки и дрейфом;
- коммутация на частотах до 750 кГц;
- параллельно и последовательно включенные IGBT-транзисторы.

SCALE-2 драйверы и управление параллельными и многоуровневыми топологиями инверторов

И, наконец, нельзя не отметить новые схемотехнические возможности, возникшие с появлением новых драйверов на основе ядер SCALE-2, а именно — управление параллельными и многоуровневыми топологиями силовых полупроводниковых приборов.

Традиционно параллельно включенные силовые ключи, например IGBT-модули в составе инверторов, управляются от одного общего мощного драйвера, дополненного затворными и эмиттерными резисторами для каждого IGBT. Помимо резисторов, некоторые новые модули, например серии PrimePack Infineon, требуют применения дополнительных индивидуальных каскадов для активного ограничения напряжения. Все это увеличивает количество навесных компонентов, особенно при значительном числе параллельно включенных силовых приборов. С другой стороны, потребность в силовых инверторах широкого диапазона мощностей требует и соответствующей номенклатуры мощных драйверов. С появлением SCALE-2 стало возможным альтернативное решение — каждый параллельно включенный IGBT-модуль управляется своим драйвером (рис. 8).

Малое время задержки (<80 нс), незначительный разброс этого параметра (<±4 нс), низкий джиттер (<±2 нс), быстродействующая защита и относительно невысокая стоимость новых драйверов позволяют создать конкурентное решение для инверторов большой мощности [1]. Для реализации этого принципа для полумостовых модулей PrimePack Infineon был разработан

Таблица 3. Сравнение недорогих двухканальных драйверов IGBT

Продукция	2SC0108T	2SD106AI
Технология	SCALE-2	SCALE
Напряжение затвор-эмиттер во время включения, В	Стабилизированное 15±0,45	Нестабилизированное
Напряжение затвор-эмиттер во время отключения, В	-7,5 (типичное значение)	-15 (типичное значение)
Минимальное сопротивление затвора, Ом	2,0	3,2
Пути для тока затвора	Отдельные	Совмещенные
Максимально-поддерживаемый заряд затвора, мкКл	6,3	6,3
Максимальная частота коммутации, кГц	75	75
Параметры целевых IGBT-транзисторов	50 А/1700 В (75 кГц) 250 А/1700 В (20 кГц) 450 А/1700 В (10 кГц) 600 А/1200 В (10 кГц)	250 А/1700 В (13 кГц) 450 А/1700 В (7 кГц) 450 А/1200 В (10 кГц)
Совместимость с логическими уровнями	3,3 В; 5 В; 15 В КМОП; TTL	5-15 В
Задержка распространения, нс	80	300/350
Разброс задержки распространения, нс	не более ±3,5 (режим DIRECT)	не более ±4,5 (режим DIRECT)
Поддержка параллельных IGBT	Есть	Нет
Поддержка многоуровневых преобразователей	Опционально	Нет
Регулировка паузы перекрытия, мкс	1-4, с помощью резистора	задается четырьмя компонентами
Режим DIRECT	доступен	доступен
Мониторинг питания	Включение/отключение, режим MOSFET	Включение/отключение
Пороговое напряжение мониторинга VCE	Регулируется	Регулируется
Задержка реагирования на аварийное состояние	<1 мкс	синхронно с командой
Количество выходов сигнализации об аварийных состояниях	2	2
Стойкость к dV _{ce} /dt, В/нс	>100	>100
Испытательное напряжение изоляции, В (rms)	4000	4000
100%-ное тестирование на совместимость с большими напряжениями	Да	Да
Оценочная относительная средняя наработка на отказ, %	175	100

plug&play SCALE-2 двухканальный драйвер 2SP0320T2 [2].

Заключение

Рассмотрено новое семейство драйверов CT-Concept на базе чипсета SCALE-2, которое характеризуется следующими особенностями:

- высокая степень интеграции и, как следствие, уменьшение количества навесных компонентов (до 80%) и стоимости драйверов (до \$10 на канал);
- короткое время запуска новых изделий и отличная адаптируемость;
- гибкое управление логикой работы защит;
- поддержка параллельных, 2-уровневых, 3-уровневых и многоуровневых топологий;
- надежность, длительный срок службы.

Литература

1. Rüedi H., Garcia O. Intelligent Paralleling // Bodo's Power Systems. 2009. № 3.
2. Pawel S., Thalheim J., Garcia O., Reckhard M. Prime (PACK) Time for SCALE-2 // Bodo's Power Systems. 2008. № 4.
3. www.igbt-driver.com