

SEMİKRON:

цифровые драйверы и адаптеры нового поколения

Устройство управления изолированными затворами IGBT/MOSFET — один из самых ответственных узлов силового каскада, от которого во многом зависит надежность и эффективность работы всей системы. Стремясь к максимальной унификации схемы и конструкции, многие ведущие производители драйверов пришли к идее универсального «ядра», предназначенного для решения широкого круга задач. Рынок требует непрерывного увеличения эффективности преобразования, что достигается, в частности, за счет параллельного и последовательного соединения модулей и инверторных ячеек. Это предъявляет высокие требования к качеству передачи сигнала и стабильности временных характеристик в широком диапазоне температур и в течение всего срока службы. Новые устройства управления изолированным затвором SKYPER12 и SKYPER 42LJ, реализующие концепцию «ядра», объединяют преимущества цифровой передачи данных и широкие функциональные возможности.

Андрей Колпаков

Andrey.Kolpakov@semikron.com

Цифровой принцип передачи данных

В «классических» IGBT-драйверах, широко используемых в силовой электронике, через изолирующий трансформатор передаются фронты импульсов, формируемые аналоговыми резонансными цепями. Восстановление нормальной длительности ШИМ-сигнала производится с помощью триггера. Временные характеристики подобной схемы зависят

от разброса номиналов аналоговых элементов, а также от их температурного и временного дрейфа.

В интеллектуальных силовых модулях SEMİKRON SKiP 4-го поколения, а также новых устройствах управления изолированными затворами IGBT применена цифровая схема передачи данных, принцип работы которой поясняется на рис. 1. В этом случае через трансформатор идет высокочастотный поток нулей и единиц. Сигнал включения и выключения затвора формируется пачками импульсов, проходящих в разных направлениях. Использование дифференциального канала приема-передачи позволяет повысить помехозащищенность системы. Цифровая схема не подвержена старению, ее параметры не зависят от разброса, температурного и временного дрейфа номиналов элементов.

Задающий генератор на программируемой логической матрице (FPGA) формирует ВЧ-импульсы, поступающие на дифференциальный передатчик с буферным мостовым MOSFET-усилителем (рис. 1а). Поток данных передается на выходные каскады драйвера через импульсный трансформатор, осуществляющий гальваническую развязку. Последовательность импульсов принимается дифференциальным приемником-компаратором и далее подается на формирователь сигналов управления затворами (рис. 1б), также реализованный на FPGA.

SKYPER 12: новая концепция «ядра»

Цифровой драйвер SKYPER 12 предназначен для управления полумостовыми модулями IGBT с рабочим напряжением 600, 1200, 1700 В и номинальным током до 600 А. Конструктивно устройство представляет собой «ядро», которое устанавливается на адаптерную плату, монтируемой непосредственно на мо-

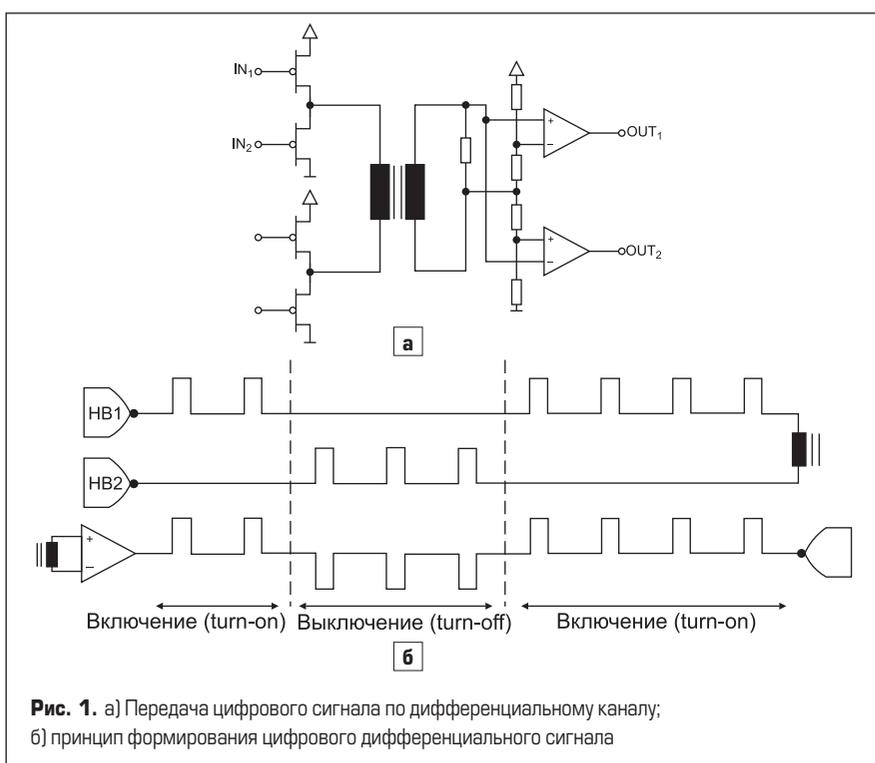


Рис. 1. а) Передача цифрового сигнала по дифференциальному каналу; б) принцип формирования цифрового дифференциального сигнала

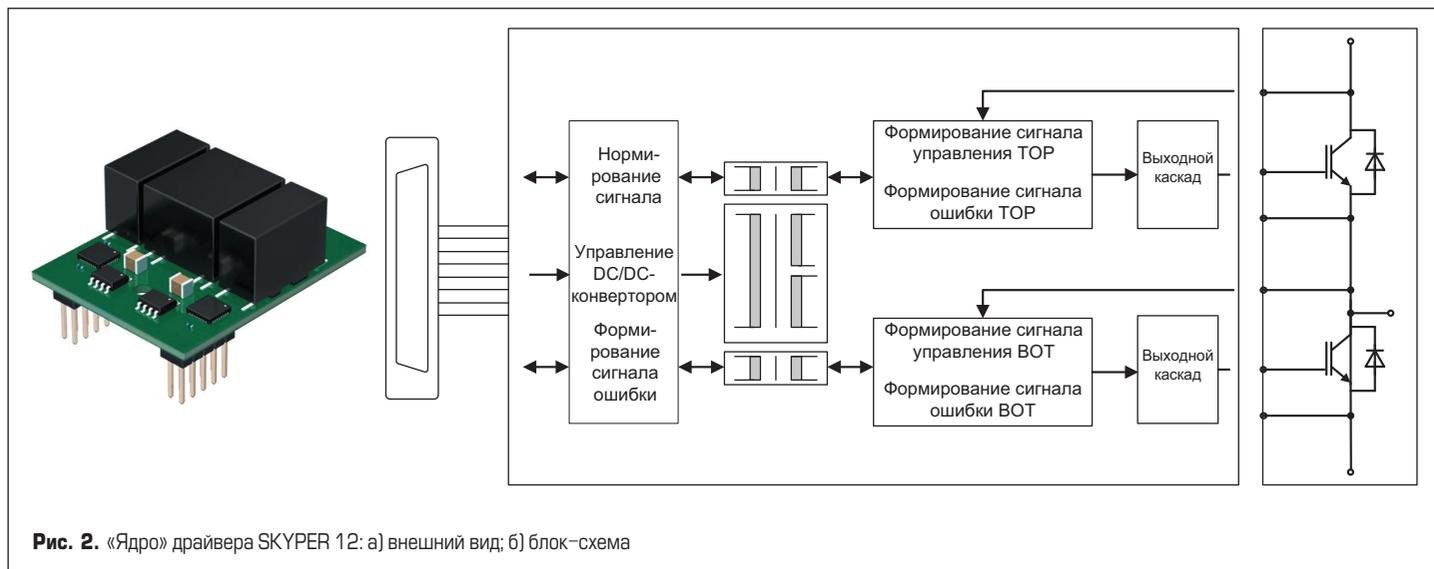


Рис. 2. «Ядро» драйвера SKYPER 12: а) внешний вид; б) блок-схема

дуле. Использование специализированной интегральной микросхемы (ASIC) позволило резко сократить номенклатуру необходимых компонентов и повысить наработку на отказ: параметр MTBF по стандарту SN 29500 превышает 8 млн ч при полной нагрузке.

Основные характеристики SKYPER 12:

- Возможность использования в 2L- и 3L-инверторах;
- цифровой принцип передачи данных, фазовая ошибка и джиттер не более 20 нс;
- средняя мощность: 1 Вт на канал;
- регулируемое «мертвое время»;
- встроенный цифровой фильтр;
- высокая помехозащищенность;
- канал для подключения термодатчика;
- защита от падения напряжения питания (UVP) в первичном и вторичном каскаде;
- динамическая защита от КЗ (DSCP) по напряжению насыщения V_{CEsat} режим плавного выключения (Soft-Off);
- встроенный источник питания выходного каскада.

Устройство имеет общий выход схемы неисправности nERROR_OUT, который принимает низкий логический уровень при любой ошибке системы. Он выполнен в виде открытого коллектора, что позволяет объединять выходы ERROR драйверов, работающих в системе, и блокировать все силовые ключи при возникновении неисправности в любом канале. Вход схемы неисправности nERROR_IN имеет низкий активный уровень, при его соединении с выходом nERROR_OUT формируется двунаправленный вывод (HALT).

Драйвер SKYPER 12 может быть адаптирован для использования в трехуровневых инверторах NPC и TNPC [2]. Алгоритм работы схемы защиты зависит от состояния входа MLI_SLCT. При наличии на нем низкого логического уровня (Low, по умолчанию) драйвер блокирует транзисторы IGBT при любой неисправности и формирует сигнал ошибки на выходе nERROR_OUT.

Если на вход MLI_SLCT подана логическая единица (High), устройство переходит в режим MLI. В случае короткого замыкания драйвер блокирует только тот IGBT, который вышел

из насыщения (режим DESAT активирован). Защита второго канала при этом не срабатывает, но сигнал ошибки формируется на выходе nERROR_OUT. Решение об отключении второго IGBT принимается управляющим контроллером.

Возможен следующий вариант управления трехуровневым инвертором (рис. 3) от SKYPER 12:

- один драйвер контролирует верхние ключи T1 и T2, второй — нижние ключи T3 и T4;
- мониторинг V_{CE} транзисторов T2 и T3 отключен;
- режим MLI задействован в обоих драйверах;
- для исключения всех возможных сценариев отказа используется режим активного ограничения и плавного отключения на всех IGBT (T1, T2, T3, T4).

В выходных каскадах SKYPER 12 предусмотрена возможность формирования сигнала

ошибки (перегрев, перегрузка по току) по входам TOP_nERR_In / BOT_nERR_IN и передачи его в первичный каскад.

Функции защиты SKYPER 12

Схема защиты SKYPER 12 способна блокировать IGBT при падении напряжения питания (UVLO) в первичном и вторичном каскаде, коротком замыкании нагрузки и подаче внешних сигналов неисправности (перегрев, перегрузка по току). При наступлении любого из этих событий выход nERROR_OUT принимает низкий уровень. После этого входные сигналы игнорируются, для сброса сигнала ошибки необходимо устранить неисправность и установить оба входа в состояние логического 0 (рис. 4).

Длительность «мертвого времени» t_{dt} SKYPER 12 может быть установлена в диапазоне от 2 мкс до 0, одновременное включение IGBT в полумосте запрещено функцией

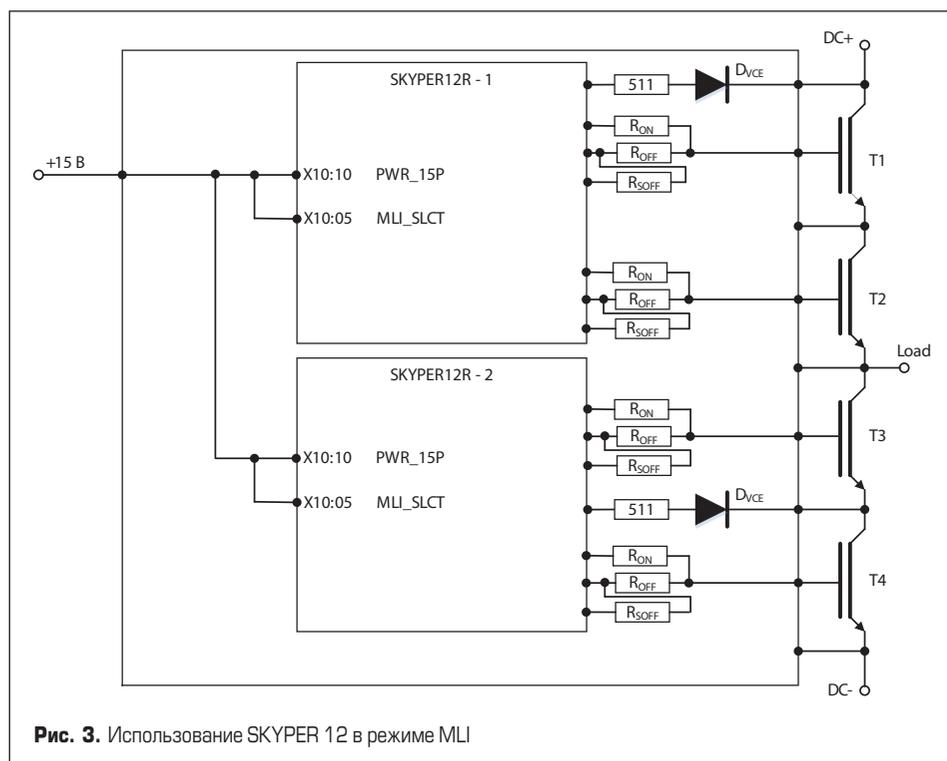
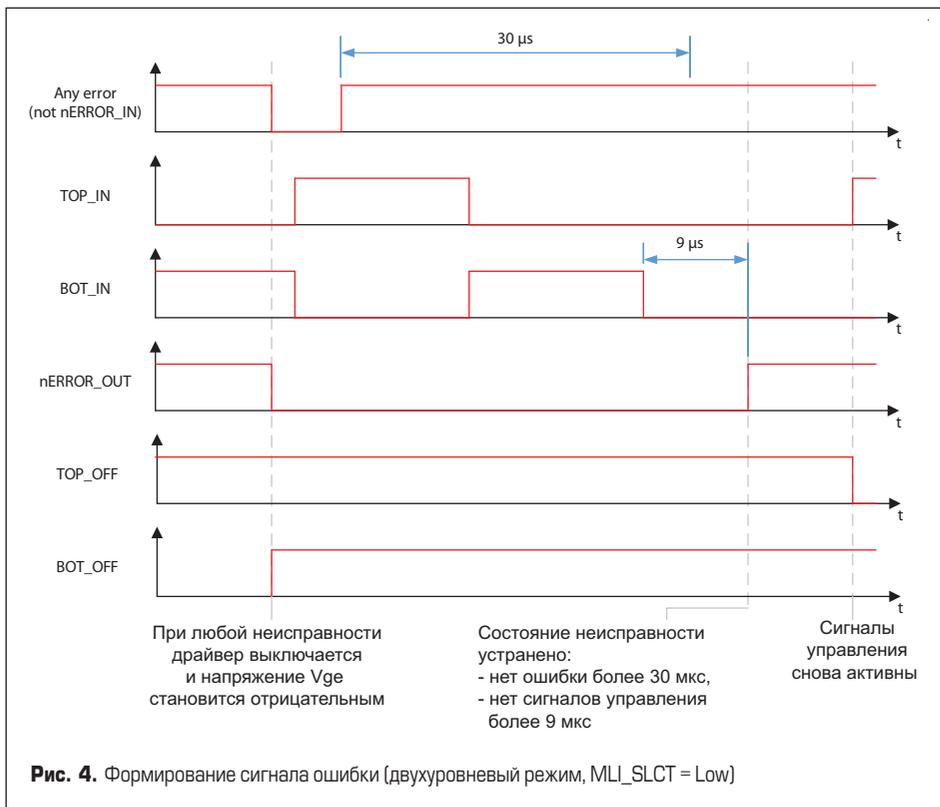


Рис. 3. Использование SKYPER 12 в режиме MLI



Interlock. При ее деактивации сигнал ошибки не формируется даже в том случае, если сигналы управления верхним и нижним IGBT перекрываются. В этом случае оба транзистора управляются независимо и могут включаться одновременно, что необходимо при работе трехуровневого инвертора.

Для повышения помехозащищенности в состав SKYPER 12 входит фильтр, подавляющий шумовые сигналы малой длительности. Время подавления пользователь выбирает по выводу FILTER_SLCT. При использовании цифрового режима (высокий уровень на входе FILTER_SLCT, время фильтрации 375 нс, джиттер —

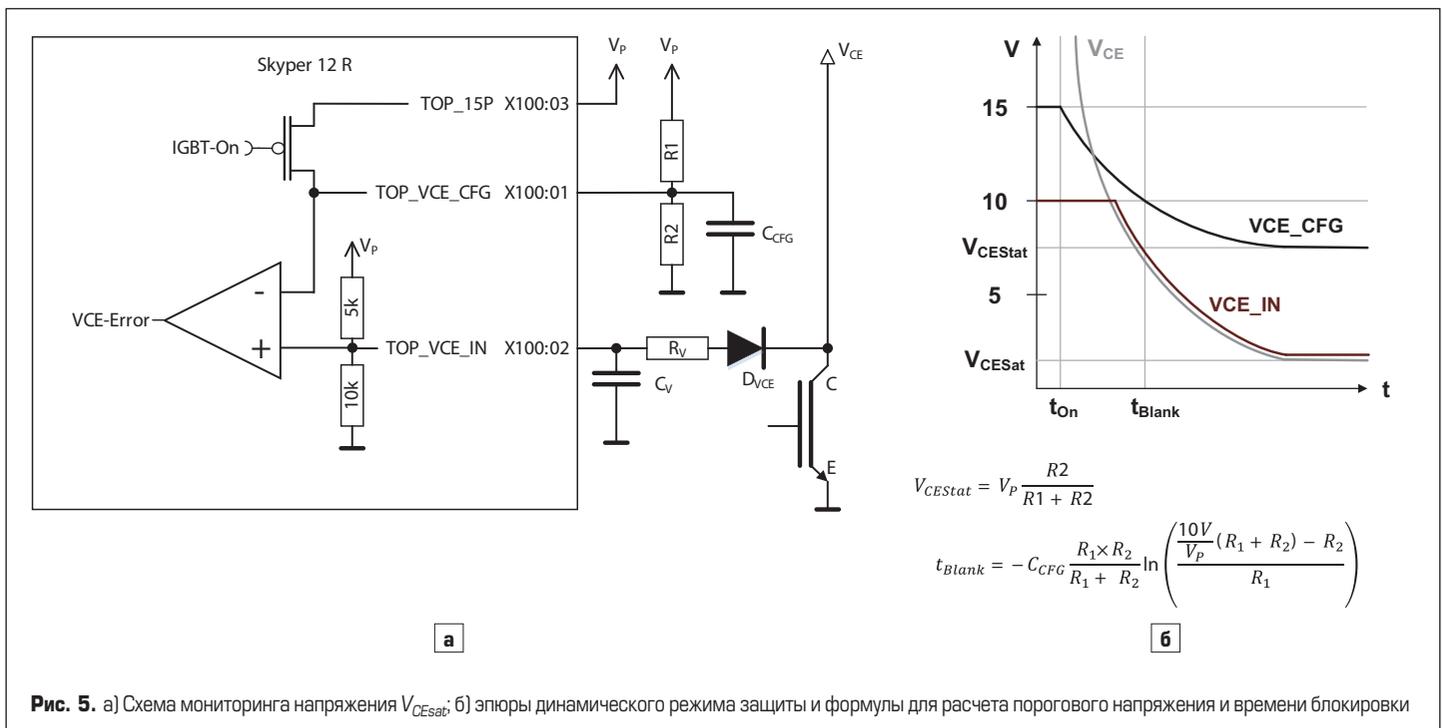
30 нс) устройство обеспечивает очень высокую стабильность временных характеристик в диапазоне рабочих температур. Доступен и аналоговый режим фильтрации (низкий уровень на входе FILTER_SLCT, время — 200 нс, джиттер — 2,5 нс), который может понадобиться в таких уникальных приложениях, как магнитно-резонансная томография.

Для предотвращения перехода IGBT в линейный режим служит функция UVP (Under Voltage Protection), блокирующая IGBT при снижении напряжения питания ниже порогового уровня 12,2–13,9 В. Состояние UVP отображается на выводе X10:03.

Защита IGBT от короткого замыкания производится традиционным методом мониторинга напряжения насыщения DESAT. В драйверах семейства SKYPER используется так называемый динамический режим контроля V_{CEsat} позволяющий сократить время реакции и снизить риск ложных срабатываний.

Как показано на рис. 5, после включения IGBT напряжение на его коллекторе начинает падать и примерно по такому же закону изменяется опорный сигнал. Динамический режим мониторинга работает следующим образом:

- В выключенном состоянии вывод V_{CE-CFG} привязан к потенциалу $V_p \Rightarrow$. Внешний конденсатор C_{CFG} заряжен до напряжения V_p .
 - При включении IGBT внутренний «подтягивающий» транзистор (IGBT on) блокируется, напряжение на опорном входе V_{CE_CFG} определяется внешним делителем (R_1 и R_2). Наличие конденсатора гарантирует, что опорное напряжение не опустится ниже V_{CE} (V_{CE_IN}) во время включения.
 - Максимальная величина опорного сигнала 9,5 В определяется компаратором.
 - Время блокировки срабатывания защиты t_{Blank} определяет задержку от начала включения до момента, когда V_{CE_CFG} пересекает порог 10 В.
 - После окончания t_{Blank} схема мониторинга V_{CE} блокирует IGBT при условии $V_{CE_IN} > V_{CE_CFG}$.
 - Напряжение на входе V_{CE_IN} равно V_{CE} плюс прямое падение на диоде D_{VCE} и резисторе R_V . Его величина ограничена на уровне 10 В внутренним делителем. Если V_{CE} превышает 10 В, диод переходит в заблокированное состояние.
- Драйвер SKYPER 12 позволяет реализовать функцию «активного ограничения» напряжения на коллекторе транзистора. Уровень ограничения определяется суммарным напряжением пробоя V_{Zener} цепочки импульсных стабилитронов (супрессоров) D_{CLmp} ,



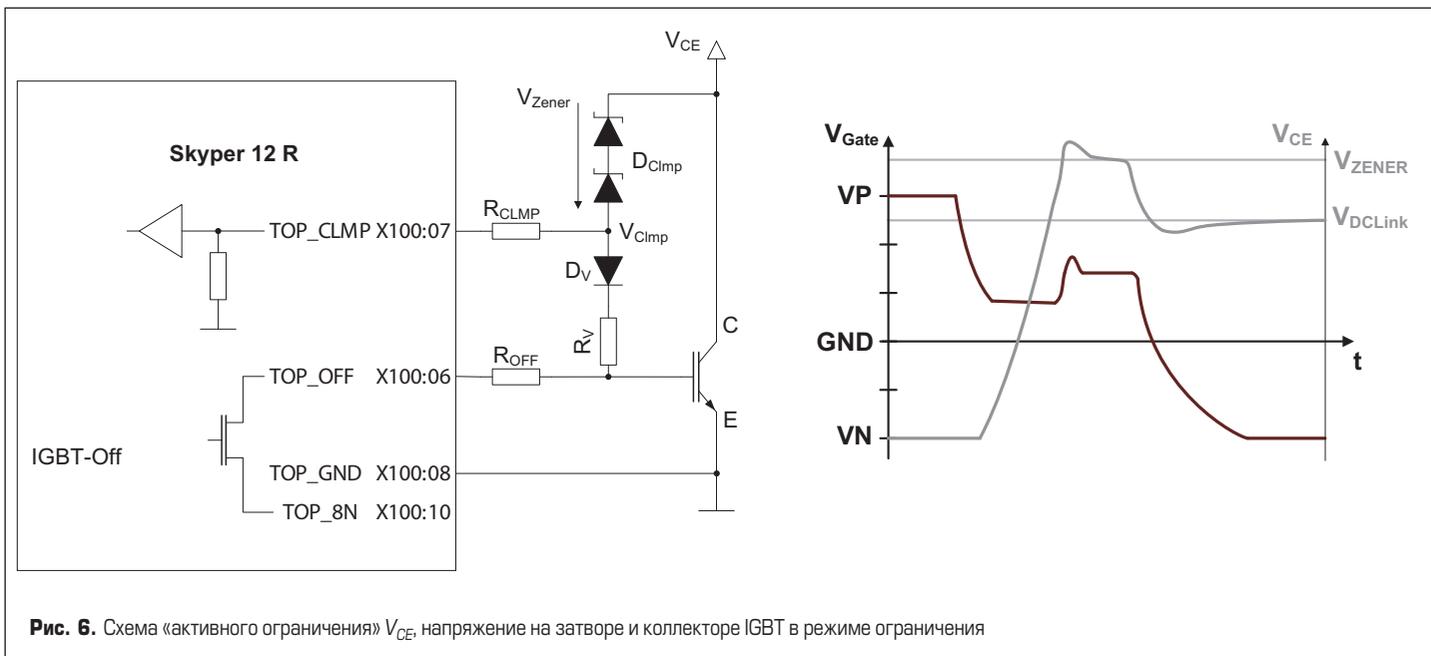


Рис. 6. Схема «активного ограничения» V_{CE} , напряжение на затворе и коллекторе IGBT в режиме ограничения

включенной между коллектором и затвором IGBT (рис. 6). Если величина V_{CE} превышает пороговое значение V_{Zener} стабилитроны переходят в проводящее состояние, напряжение на затворе возрастает до тех пор, пока транзистор не откроется и V_{CE} не упадет ниже заданного порога.

Важно понимать, что при этом IGBT переходит в линейный режим и рассеиваемая им мощность резко возрастает. Поэтому данную возможность ни в коем случае не следует использовать для подавления коммутационных перенапряжений, возникающих из-за плохой конструкции и высокой паразитной индуктивности DC-шины. Функция «активного ограничения» предназначена только для защиты транзистора от аварийных состояний.

При срабатывании цепи D_{CLMP} на входе CLMP драйвера появляется сигнал, показывающий, что режим ограничения активен и силовой каскад должен быть заблокирован для снижения уровня динамических потерь. Сопротивления R_{CLMP} и R_V нужно выбирать таким образом, чтобы сигнал на CLMP в режиме «активного ограничения» поднимался выше порогового значения (13 В). При рас-

чете их номиналов следует учитывать наличие внутреннего резистора утечки.

Для снижения уровня перенапряжения при прерывании тока КЗ используется функция плавного отключения STO (Soft Turn-Off), замедляющая скорость выключения IGBT (di/dt) за счет увеличения сопротивления R_{Goff} в цепи затвора. По умолчанию номинал резистора STO выбирают примерно в 10 раз больше номинальной величины R_{Goff} . Конкретное значение зависит от типа IGBT, но в большинстве случаев находится в диапазоне 30–50 Ом. Цель состоит в том, чтобы, не выходя за пределы допустимого времени КЗ (t_{sc} , указывается в спецификации IGBT), снизить амплитуду перенапряжения до безопасного уровня.

Плата адаптера Board 1 SKYPER 12

Разработанная SEMIKRON универсальная плата адаптера Board 1 SKYPER 12 предназначена для применения в стандартных двухуровневых IGBT-инверторах, а также трехуровневых преобразователях с фиксированной нейтралью (3L NPC). Максимальное напряжение DC-шины ограничено на уровне 1500 В для специального

исполнения драйвера SKYPER 12PV (1200 В для стандартного SKYPER 12). Предельная частота коммутации составляет 30 кГц, работа на более высоких частотах возможна с учетом требований по изоляции и соответствующих ограничений по рассеиваемой мощности.

Схема защиты драйвера SKYPER 12 R способна обнаруживать выход IGBT из насыщения в обоих плечах (TOP и BOT), а также контролировать состояние встроенного датчика температуры модуля (NTC). В случае перегрева (пороговая температура устанавливается пользователем) транзистор BOT IGBT немедленно отключается и драйвер выдает сигнал ошибки.

В двухуровневой конфигурации схемы выход из насыщения любого ключа приводит к блокировке обоих IGBT и выдаче сигнала ошибки. Драйвер формирует «мертвое время» t_{dt} для исключения сквозного тока, содержит цифровой фильтр по обоим каналам для подавления коротких шумовых импульсов и способен блокировать IGBT по внешнему сигналу. Все упомянутые функции настраиваются пользователем.

Варианты применения адаптера Board 1 SKYPER 12 в различных конфигурациях схем показаны на рис. 7. Устройство представляет

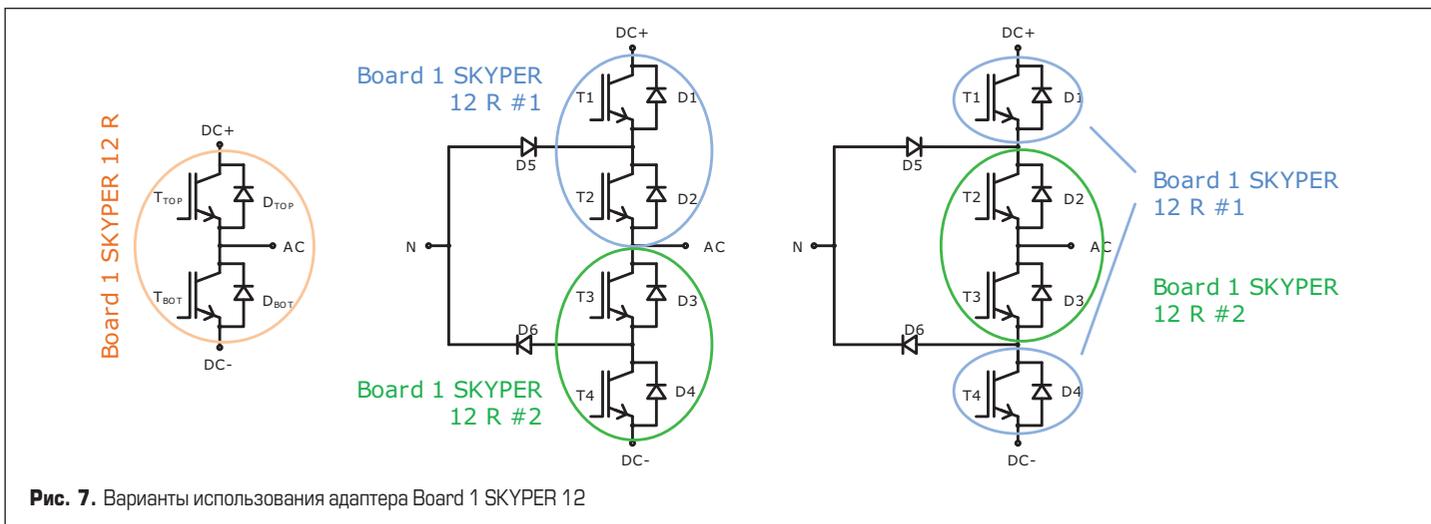


Рис. 7. Варианты использования адаптера Board 1 SKYPER 12



Рис. 8. Плата Board 1 SKYPER 12 с установленным драйвером (вид сверху)

собой печатную плату (артикул 45152801), на которой расположены коннекторы для подключения сигнальных выводов двух IGBT, драйвера SKYPER 12 R (или SKYPER 12 PV R), а также разъем пользовательского интерфейса (рис. 8).

На блок-схеме устройства (рис. 9) зеленым цветом выделен SKYPER 12R, устанавливаемый в коннектор на печатной плате (отмечена голубым цветом). На рисунке показан сигнальный разъем (Interface Control), клемники для подключения сигнальных выводов IGBT и контактные площадки для монтажа резисторов затвора и элементов схемы мониторинга V_{CE} .

В соответствии со спецификацией плата Board 1 SKYPER 12 предназначена для эксплуатации в следующих условиях:

- максимальное напряжение DC-шины $V_{DCmax} = 1500$ В (для исполнения SKYPER 12 PV R);
- максимальное линейное напряжение $V_{ACmax} = 1000$ В (rms);
- максимальная частота коммутации $f_{sw} = 30$ кГц;
- температура окружающей среды $T_a = 0...+40$ °C;
- CТИ (Comparative Tracking Index, индекс трекинга PCB) > 175.

Электрическая изоляция между пользовательским интерфейсом (первичный каскад) и высоковольтными цепями затворов осуществляется трансформатором, установленным на драйвере SKYPER 12 R. Длина пути тока утечки по плате (между первичным и вторичным каскадом) составляет 30 мм, изоляционные зазоры — не менее 18 мм.

Размеры платы 132×65,5 мм, высота при установленном SKYPER 12 — 30 мм. Для фиксации драйвера предусмотрены монтажные отверстия для опорных стоек с двойной защелкой.

Функции защиты Board 1 SKYPER 12

Защита от перегрева реализуется при подключении NTC-сенсора, входящего в состав модуля, к входу ERROR канала BOT драйвера. При достижении определенной температуры (задается резистором на плате) транзистор BOT IGBT выключается, сигнал ошибки передается на входной каскад драйвера.

Для защиты от КЗ используется традиционный метод мониторинга напряжения $V_{CE(sat)}$ IGBT. При выходе транзистора из насыщения (Desaturation) драйвер формирует сигнал ошибки и блокирует соответствующий

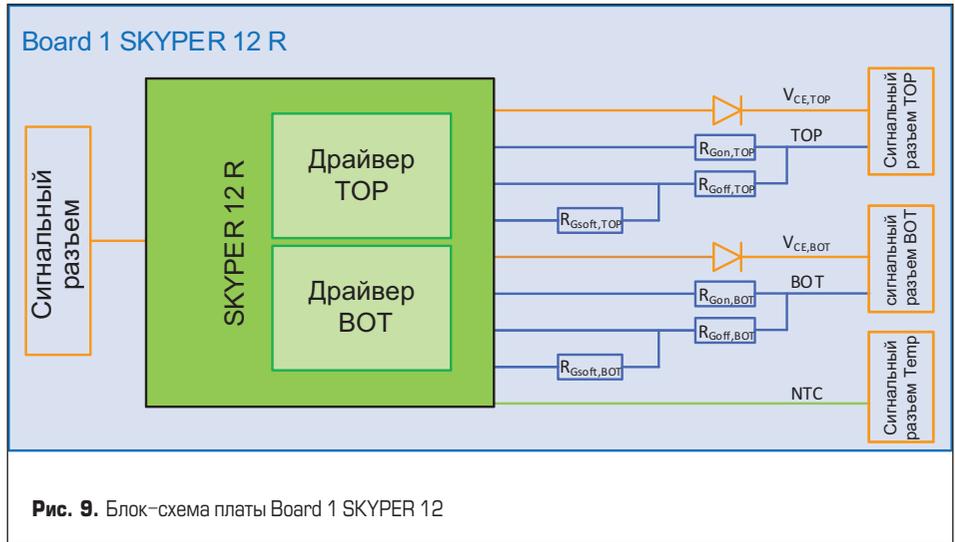


Рис. 9. Блок-схема платы Board 1 SKYPER 12

IGBT в режиме плавного отключения STO. Пороговое значение V_{CEsat} и время задержки t_{bl} задаются резистором R_{CE} и конденсатором C_{CE} в соответствии с руководством по применению SKYPER 12 R.

Адаптация адаптера к конкретным режимам работы IGBT осуществляется путем установки подборных элементов, показанных цветными рамками на рис. 10. Их функции и диапазоны возможных значений описаны далее.

Сопротивление R_{CE} (R111 для ключа TOP, R211 для ключа BOT: типоразмер 0805, по умолчанию — 15 кОм) и емкость C_{CE} (C110

для ключа, C210 для ключа BOT: типоразмер 0805, по умолчанию — 820 пФ) определяют режимы работы схемы защиты от КЗ.

В некоторых случаях для исключения ложных срабатываний схемы мониторинга напряжения насыщения рекомендуется установка емкости по входу V_{CE} . Для монтажа конденсаторов C111 и C211 предусмотрена контактная площадка под корпус 0805 (по умолчанию эти элементы отсутствуют).

При необходимости режим контроля V_{CE} может быть отключен установкой перемычки на место резистора R113 (TOP IGBT)

Таблица. Назначение резисторов R15, R16

R15	0 (перемычка)	Не установлен
R16	Не установлен	0 (перемычка)
Функция	В случае неисправности отключается соответствующий IGBT, сигнал ошибки передается на входной каскад. Сигнал ошибки поступает на входной коннектор, но второй канал драйвера при этом не отключается (решение об отключении второго IGBT принимается пользователем).	В случае неисправности отключается соответствующий IGBT, сигнал ошибки передается на входной каскад. Сигнал ошибки поступает на входной коннектор, второй канал драйвера также отключается (установка по умолчанию).

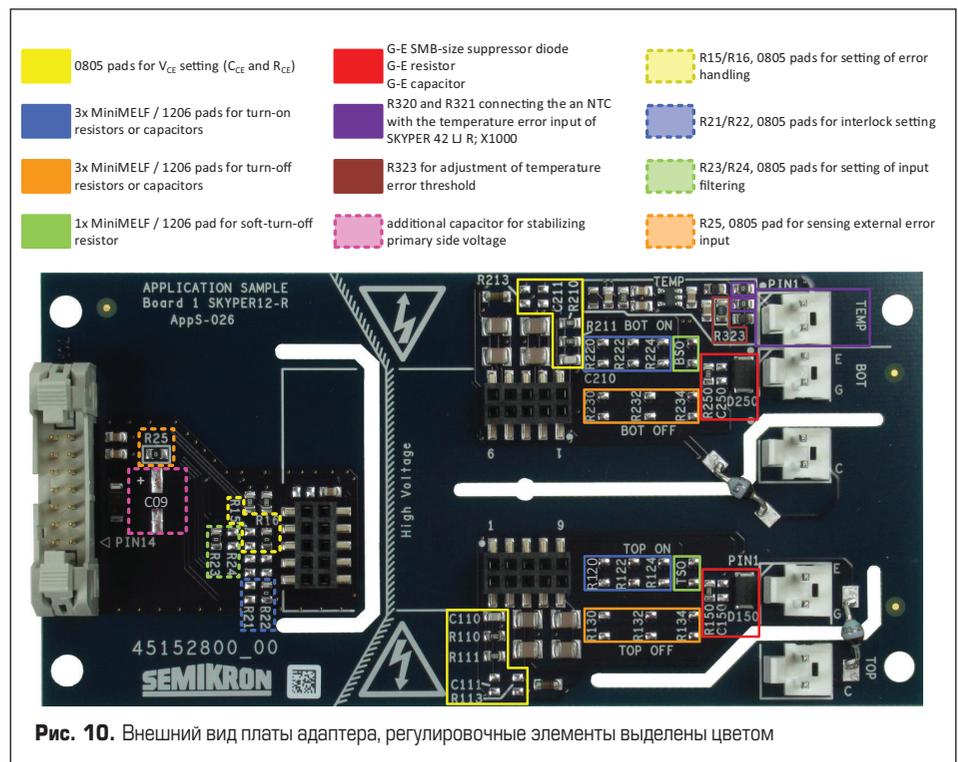


Рис. 10. Внешний вид платы адаптера, регулировочные элементы выделены цветом

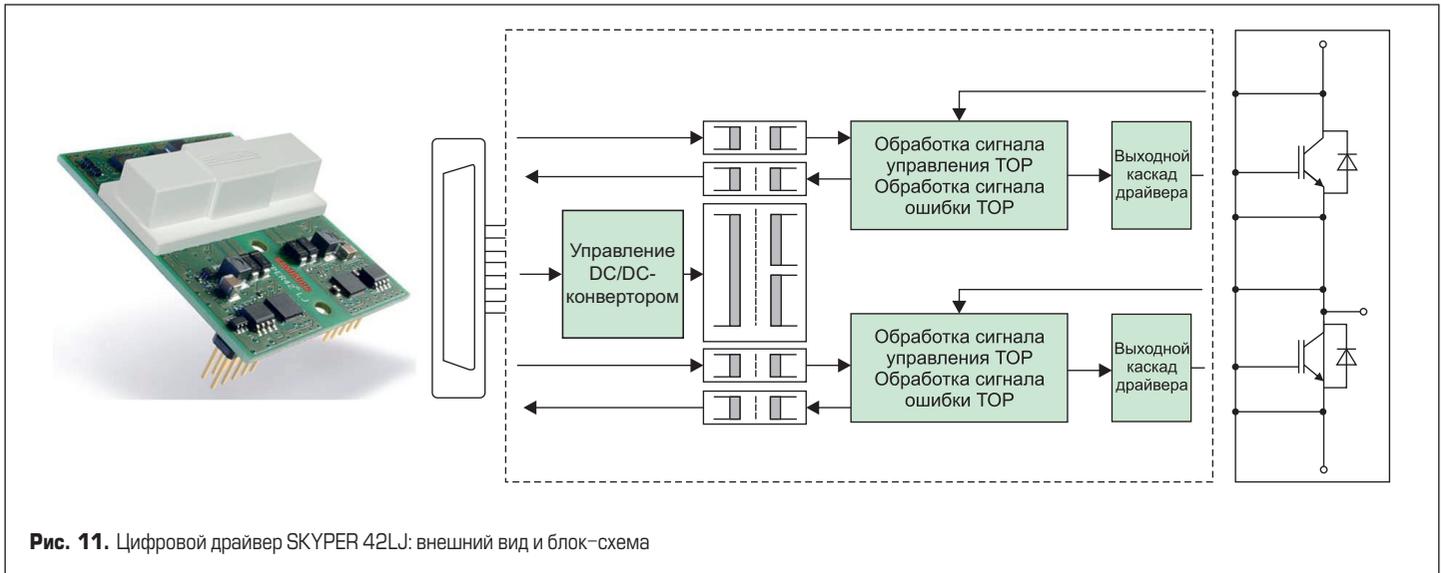


Рис. 11. Цифровой драйвер SKYPER 42LJ: внешний вид и блок-схема

и/или R213 (VOT IGBT). При установке сопротивлений R113/R213 подключение любых цепей к коллекторному потенциалу конкретного IGBT не допускается, это может привести к повреждению платы драйвера или транзистора.

Назначение резисторов R15–R16 (типоразмер 0805, выделены желтым пунктиром на рис. 10) описано в таблице. Эти элементы устанавливают связь по каналам контроля ошибки двух драйверов SKYPER 12 R. Любая другая комбинация (например, все сопротивления заменены перемычками или не подключены) может привести к отказу системы.

Резисторы R21 и R22 (типоразмер 0805, выделены синим пунктиром на рис. 10) предназначены для активации/деактивации функции Interlock. При установке перемычки на место R21 Interlock отключается, то есть оба IGBT в полумостовом каскаде могут быть открыты одновременно. При замене R22 перемычкой функция Interlock активна, «мертвое время» $t_{dt} = 2 \text{ мкс}$ (рекомендуемая установка по умолчанию).

С помощью сопротивлений R23 и R25 (типоразмер 0805, выделены зеленым пунктиром на рис. 10) можно выбрать цифровой или аналоговый режим фильтрации ШИМ-сигнала. Установка перемычки вместо R23 активирует цифровой фильтр, для включения аналогового режима перемычка устанавливается на место R22.

Розовым пунктиром на рис. 10 показано место для установки входного электролитического конденсатора (C09). Он может понадобиться, например, при использовании длинного сигнального кабеля с большой индуктивностью. Типовое значение C09 — 100 мкФ.

SKYPER 42LJ — цифровой драйвер со сверхнизким джиттером (LJ — Low Jitter)

Идеи, заложенные в проекте ядра SKYPER 42, были использованы при разработке менее мощного варианта SKYPER 42LJ. Основная задача в этом случае состояла в улучшении

временных характеристик за счет применения цифрового способа передачи данных.

На рис. 11 приведена структурная схема драйвера SKYPER 42LJ. От базовой версии он отличается использованием независимых каналов передачи контрольных импульсов, сигналов ошибки и управления источником питания выходных каскадов. Кроме того, SKYPER 42LJ способен блокировать коммутацию транзисторов при повышении напряжения на коллекторе до опасного уровня. При разработке версии 42LJ была проведена модернизация алгоритмов защиты, позволяющая применять данное устройство в составе трехуровневого инвертора (схема 3L NPC). Потребность в стандартном драйвере 3L NPC, для которого SEMIKRON выпускает серию стандартных модулей в различных корпусах [3], назрела давно.

Двухканальный драйвер SKYPER 42LJ предназначен для управления полумостовыми

модулями IGBT с рабочим напряжением 600, 1200 и 1700 В. При средней выходной мощности 3 Вт (на канал) устройство способно работать с силовыми ключами с током до 1000 А. Специализированная микросхема (ASIC) высокой степени интеграции осуществляет независимое управление изолированным источником питания выходных каскадов и формирование потока данных, что гарантирует прецизионную передачу сигнала при уровне джиттера $\pm 1,2 \text{ нс}$ и фазовой ошибке менее 20 нс во всем диапазоне рабочих температур (рис. 12). Подобные временные характеристики, а также стабилизация напряжения затвора обеспечивают симметричную работу параллельных силовых ключей без использования выравнивающих индуктивностей. Благодаря цифровому способу обработки данных параметры SKYPER 42LJ не зависят от разброса номиналов компонентов и не меняются в течение срока службы.

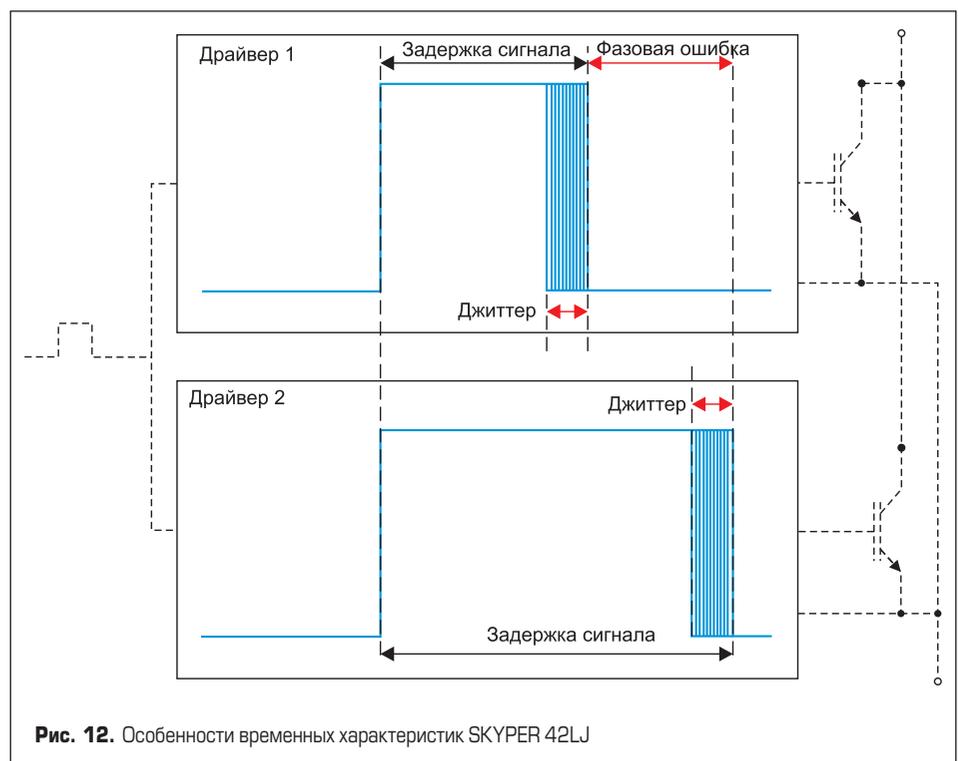
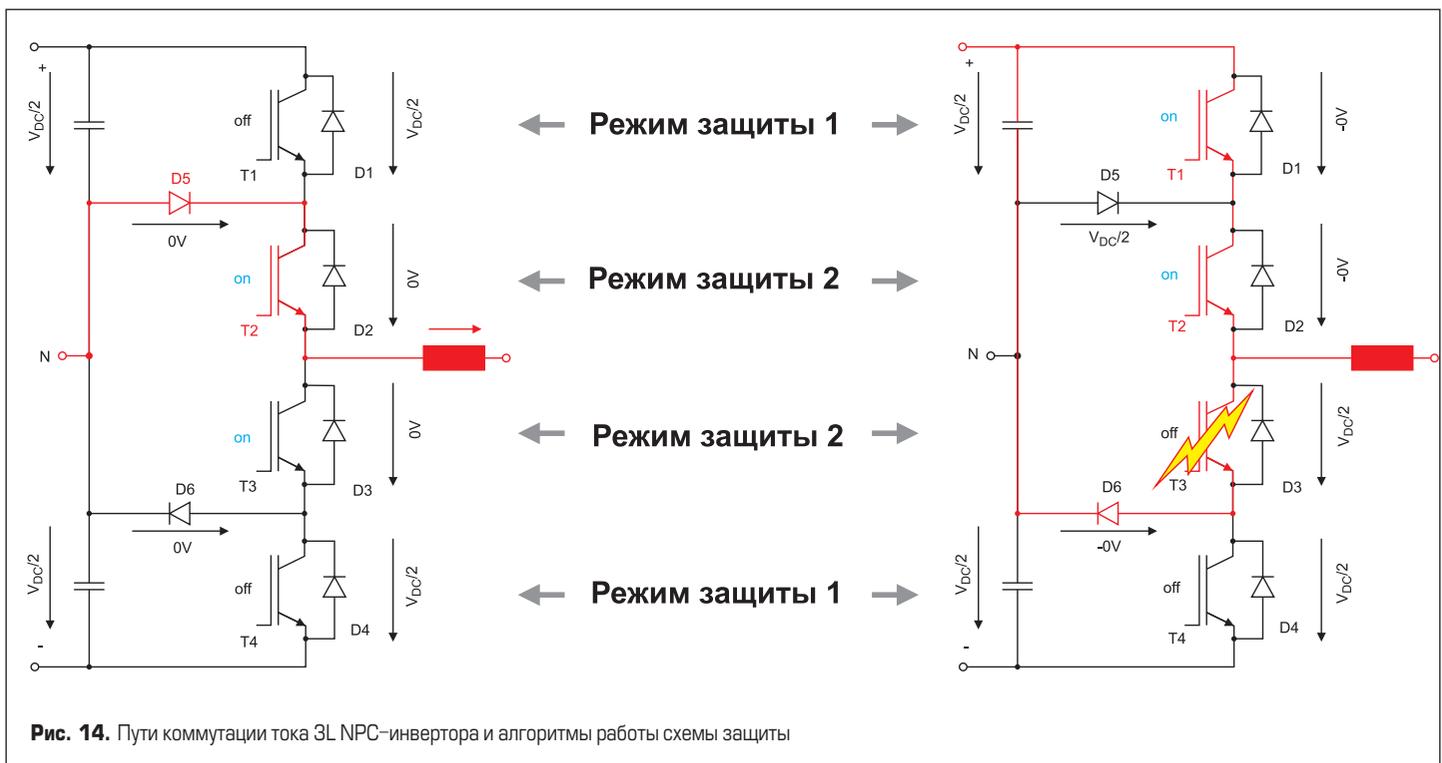
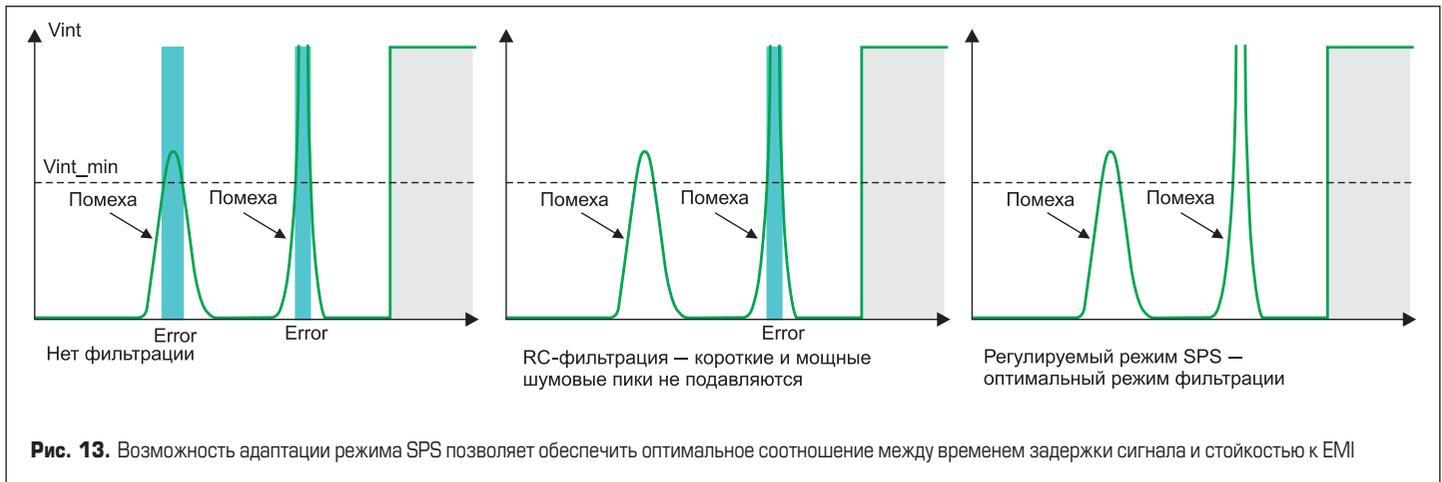


Рис. 12. Особенности временных характеристик SKYPER 42LJ

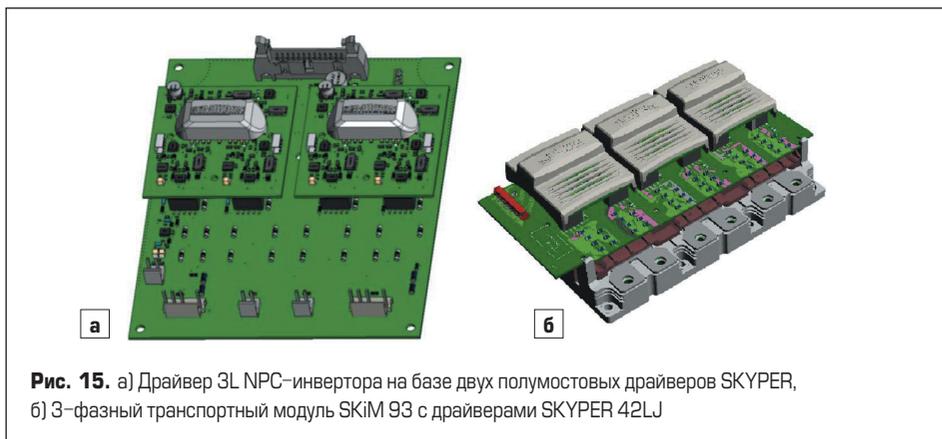


По сравнению с аналогичными устройствами управления других производителей драйверы SEMIKRON имеют несколько большее время задержки прохождения сигнала, что обусловлено наличием блока подавления коротких импульсов SPS (Short Pulse Suppression). Режим SPS позволяет исключить спорадическую высокочастотную коммутацию IGBT, ко-

торая может быть вызвана, например, сбоем центрального процессора или паразитными осцилляциями в контрольных цепях. Фильтр SPS действует и в обратном направлении, предотвращая проникновение коммутационных помех в канал управления. Он подавляет все сигналы длительностью менее 625 нс (300 нс для версии LJ) и создает соответствующую за-

держку, однако в большинстве практических применений это не влияет на управляемость и практически не вносит искажений в работу системы. У SKYPER 42LJ предусмотрена возможность регулирования времени подавления шумовых импульсов (рис. 13), что позволяет адаптировать ядро для конкретной задачи и обеспечить минимальное время задержки прохождения сигнала и высокую стойкость к электромагнитным помехам.

На рис. 14 показаны возможные пути коммутации тока в фазе трехуровневого инвертора. Как видно из схемы, стойка 3L NPC-преобразователя может рассматриваться как два последовательно соединенных полумоста IGBT. Однако при этом есть принципиальные различия в алгоритмах управления. Во-первых, существуют режимы, когда оба ключа в модуле открыты, поэтому функция InterLock в драйвере должна быть отключена. Кроме того, при перегрузке по току и выходе из насыщения (DESAT) IGBT следует закрывать не одновременно, а в строго определенной последовательности. При обнаружении



аварии транзисторы T1 и T4 должны блокироваться мгновенно (режим защиты 1). Если же состояние DESAT фиксируется для T2 или T3, эта информация должна по изолированному каналу транслироваться на управляющий контроллер, который будет отключать транзистор через некоторое время, определяемое режимом работы схемы (режим защиты 2). То же самое относится к многоуровневой схеме (MLI), состоящей из последовательного соединения однофазных ячеек [4].

Все описанные выше функции реализованы в схеме управления SKYPER 42LJ. Разделение каналов передачи контрольных импульсов и сигналов неисправности обеспечивает быструю реакцию в аварийных режимах в двух- и трехуровневых схемах и исключает перекрестную связь. Внешний вид устройства управления 3L NPC-инвертором показан на рис. 15а.

На базе ядра SKYPER 42LJ компанией SEMIKRON разработан трехфазный драйвер модуля SKiM 63/93 (рис. 15б), предназначенного для применения в тяговых приводах электрического и гибридного транспорта. Особенностью силовых ключей серии SKiM является использование технологии низкотемпературного спекания для установки кристаллов, что позволило обеспечить наивысшие показатели стойкости к термоциклированию и расширить температурный диапазон.

В схеме SKYPER 42LJ предусмотрена функция активного ограничения напряжения на коллекторе (Active Clamping). Активное ограничение достигается путем включения между коллектором и затвором цепочки из n импульсных стабилизаторов с напряжением пробоя V_Z . При превышении порогового

уровня, определяемого суммарной величиной $n \times V_Z$, транзистор открывается и переходит в линейное состояние, принимая на себя энергию перенапряжения.

Специалисты SEMIKRON не рекомендуют применять режим Active Clamping в низковольтных двухуровневых преобразователях. Кроме того, что IGBT в линейном режиме рассеивает большую энергию, использование такой схемы увеличивает риск возникновения дребезга в цепи затвора, что может привести к неуправляемой высокочастотной коммутации.

Однако в трехуровневом преобразователе сложно обеспечить идеальную планарность шин, поэтому распределенная индуктивность звена постоянного тока оказывается достаточно большой. Кроме того, при работе с плохими сетями режим Active Clamping может стать последним «рубежом обороны», способным спасти IGBT от внешней высоковольтной помехи. Поэтому у драйвера SKYPER 42LJ предусмотрена возможность активизации режима активного ограничения по входам CLMP TOP/VOT. Если сигнал на этих входах превышает пороговый уровень, схема защиты блокирует импульсы выключения затвора на время обнаружения состояния перенапряжения.

Заключение

Применение цифровых технологий в устройствах управления изолированными затворами MOSFET/IGBT позволяет существенно улучшить их временные характеристики и показатели надежности, расширить функциональные возможности. В новых драйверах SEMIKRON реализован принцип

передачи данных по дифференциальному каналу с помощью пакета высокочастотных импульсов. Благодаря этому удалось уменьшить разброс временных параметров, а также сделать их независимыми от изменения номиналов компонентов схемы в течение всего срока службы.

Среднее время наработки на отказ (MTBF) SKYPER 12 и SKYPER 42LJ составляет 8 млн ч, что существенно превышает средние показатели доступных на рынке схем управления затворами. Оптимизированная конструкция платы, использование уникального EMI-экрана и встроенный блок подавления шумовых импульсов гарантируют высокий уровень защиты от электромагнитных помех.

Цифровой способ передачи данных и возможность настройки алгоритма схемы защиты позволяют применять новые драйверы SEMIKRON как в обычных двухуровневых инверторах, так и в трехуровневых схемах.

Литература

1. Материалы сайта www.semikron.com
2. Колпаков А. Силовая электроника для солнечной энергетики и не только // Силовая электроника. 2019. № 3.
3. Колпаков А. Специализированные модули для 3-уровневых инверторов // Силовая электроника. 2010. № 1.
4. SKYPER 12, Technical Explanations. SEMIKRON International.
5. Board 1 SKYPER 12, Technical Explanations. SEMIKRON International.
6. SKYPER 42LJ, Technical Explanations. SEMIKRON International.