

# Драйверы на все случаи жизни

Главной задачей, решаемой драйвером, или устройством управления затвором, является обеспечение перезаряда емкостей затвора в переходных режимах. Динамические токи затвора в мощных модулях могут достигать десятков ампер, обеспечение таких токов является основной сложностью при разработке схемы драйвера. Кроме того, драйвер должен выдерживать перепады напряжения, значительно превышающие предельные характеристики транзисторов. В данной статье речь пойдет о драйверах, производимых фирмой SEMIKRON и рассчитанных на работу с модулями IGBT средней и высокой мощности.

Андрей Колпаков

Andrey.Kolpakov@semikron.com

В производственной программе фирмы SEMIKRON имеются модули MOSFET с напряжением 100 и 200 В и током до 450 А, а также модули IGBT с напряжением 600, 1200 и 1700 В, рассчитанные на ток до 2400 А. Компания предлагает также широкую гамму драйверов, согласованных по параметрам и конструктивному исполнению со всеми выпускаемыми силовыми ключевыми компонентами. В последних версиях программы SemiSel [5], предназначенной для автоматического расчета режимов и выбора элементов, в процессе работы для каждого типа модуля предлагается соответствующий драйвер. Таким образом реализуется один из ключевых пунктов идеологии SEMIKRON — предложение комплексного решения для разработки и производства силовых преобразовательных устройств.

В таблице приведены типы и краткие характеристики выпускаемых фирмой устройств управления изолированным затвором MOSFET/IGBT.

Основные особенности драйверов семейства SKHI SEMIKRON:

- высокая стойкость к переходным перенапряжениям  $dV/dt$  (до 75 кВ/мкс);

- низкий уровень помех, наводимых на схему управления;
- высокое напряжение изоляции (до 4 кВ);
- высокий выходной ток (до 30 А);

Таблица. Драйверы MOSFET/IGBT SEMIKRON

Тип	Схема	$V_{CE\ max}$ , В	$V_{GE}$ , В	$I_{max}$ , А	$Q_g$ , мкК	$F_{max}$ , кГц	Напряжение изоляции, кВ	$dV/dt_{max}$ , кВ/мкс
SKHI 10/12	Single	1200	+15/-8	8	9,6	100	2,5	75
SKHI 10/17	Single	1700	+15/-8	8	9,6	100	4	75
SKHI 21A	HB	1200	+15/0	8	4	50	2,5	50
SKHI 22A/B	HB	1200	+15/-7	8	4	50	2,5	50
SKHI 22A/B/H4	HB	1700	+15/-7	8	4	50	4	50
SKHI 23/12	HB	1200	+15/-8	8	4,8	100	2,5	75
SKHI 23/17	HB	1700	+15/-8	8	4,8	100	4	75
SKHI 24	HB	1700	+15/-8	15	5	50	4	50
SKHI 26W/F	HB	1600	+15/-8	8	10	100	4	75
SKHI 27W/F	HB	1700	+15/-8	30	30	10	4	75
SKSI 20/45	HB	4500	+15/-12	30	30	25	6	75
SKHI 61	6-pack	900	+15/-6,5	2	1	50	2,5	15
SKHI 71	7-pack	900	+15/-6,5	2	1	50	2,5	15
SKHIBS 01	7-pack	1200	+15/-8	1,5	0,75	20	2,5	15
SKAI 100	Brake	1200	+15/-8	1,5	-	-	2,5	50

В таблице использованы следующие обозначения:

Single — одиночный драйвер;

HB — драйвер полумоста;

Brake — драйвер тормозного транзистора;

6-pack — драйвер 3-фазного моста;

7-pack — драйвер 3-фазного моста и тормозного транзистора;

$V_{CE\ max}$  — максимальное напряжение «коллектор — эмиттер»;

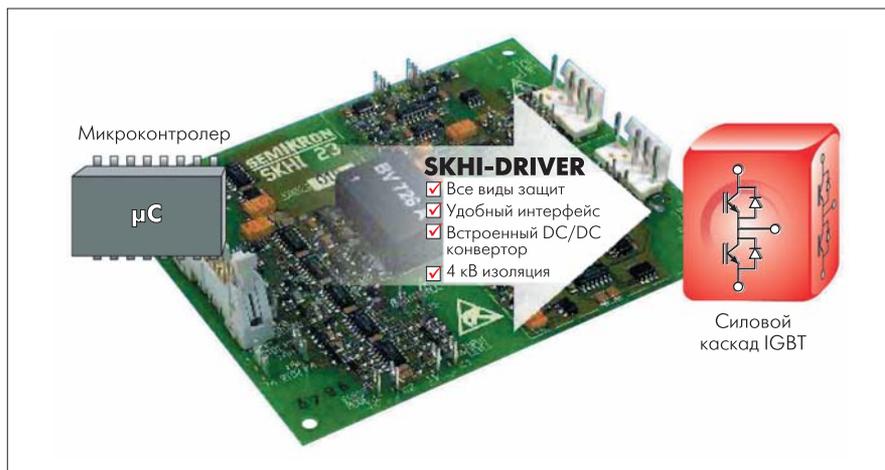
$V_{GE}$  — напряжение управления;

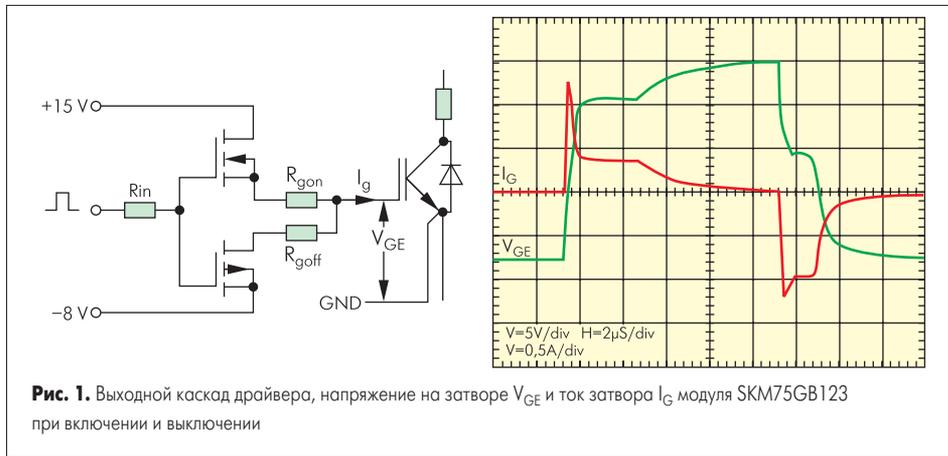
$Q_g$  — максимальный заряд затвора управляемого транзистора;

$I_{max}$  — максимальный выходной ток драйвера;

$F_{max}$  — максимальная рабочая частота;

$dV/dt_{max}$  — максимальная скорость нарастания напряжения при выключении транзистора.

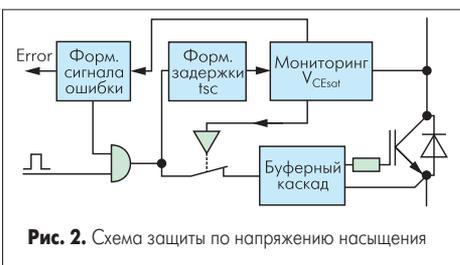




- возможность регулирования времени задержки переключения  $t_{dt}$ , уровня напряжения срабатывания защиты DESAT, сопротивлений цепи затвора  $R_{Gon/off}$ ;
- встроенные изолированные источники питания;
- возможность подключения волоконно-оптической линии связи (SKHI26F, SKHI27F);
- уровень входных сигналов TTL/CMOS.

Транзисторы MOSFET и IGBT являются приборами, управляемыми напряжением, ток затвора в статических режимах у них практически отсутствует. Однако токи включения-выключения данных элементов могут достигать значительных величин из-за наличия паразитных емкостей затвора. Основное влияние на динамические свойства транзистора оказывает входная емкость «затвор — эмиттер»  $C_{ies}$  и емкость обратной связи «коллектор — затвор»  $C_{oes}$ , называемая также емкостью Миллера. Их величины существенно изменяются в зависимости от напряжения «коллектор — эмиттер» и при расчетах обычно используется значение суммарного заряда затвора  $Q_g$ , приводимое в технических характеристиках.

На рис. 1 показан типовой выходной каскад драйвера SEMIKRON с разделенными цепями включения-выключения затвора, а также напряжение на затворе  $V_{GE}$  и ток затвора  $I_g$  модуля SKM75GB123 при включении и выключении. Разделение режимов переключения (на схеме показаны резисторы затвора  $R_{gon}$  и  $R_{goff}$ ) необходимо для минимизации потерь переключения и снижения уровня переходных перенапряжений. Пик тока при включении достигает в данном случае 1,3 А, время включения составляет примерно 200 нс. Ток и время  $t_{sw}$  переключения в общем случае связаны известным соотношением:  $Q_g = I_g \cdot t_{sw}$ . Значения тока и времени включения определяются величиной импеданса цепи управления (сумма  $R_{gon}$  и выходного сопротивления драйвера) и входной емкостью транзистора.



После включения транзистора схема управления должна поддерживать на затворе постоянное напряжение, необходимое для получения минимального напряжения насыщения  $V_{CEsat}$ , то есть минимальных потерь проводимости.

Кроме управления переключением силового модуля второй по значимости функцией драйвера является защита от аварийных режимов. Драйверы SKHI осуществляют следующие защитные и сервисные функции:

- защиту от сквозного тока и формирование времени задержки переключения транзисторов полумоста  $t_{dt}$ ;
- фильтрацию коротких импульсов;
- нормирование фронтов входных сигналов;
- защиту от падения напряжения источников питания (UVLO);
- защиту от перегрузки по току и короткого замыкания;
- защиту от перегрева (SKAI 100).

Наиболее опасными и распространенными аварийными ситуациями, приводящими к токовым перегрузкам, являются короткое замыкание нагрузки, пробой нагрузки на корпус и одновременное включение транзисторов полумоста из-за сбоя в схеме управления.

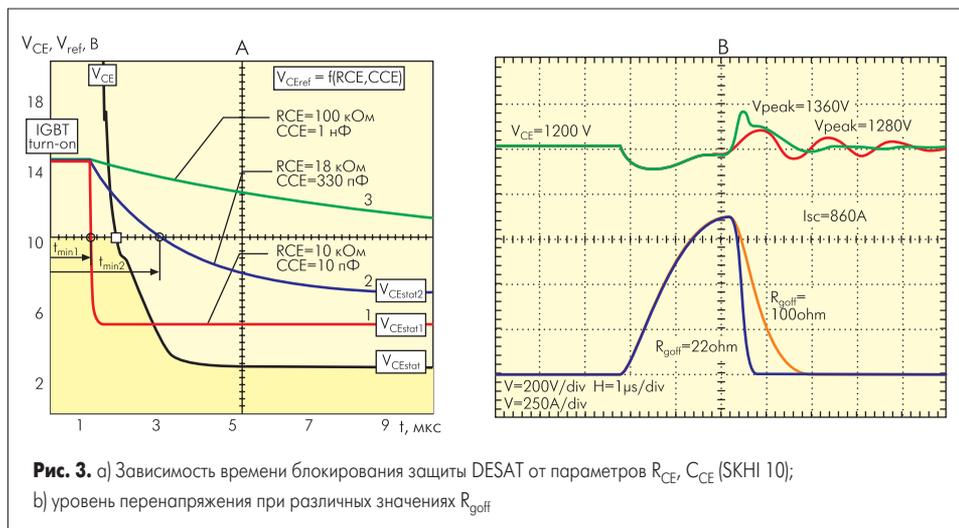
Чтобы определить состояние перегрузки и принять адекватные меры, требуется некоторое время. Задержка срабатывания схемы защиты необходима и для исключения ложных срабатываний, но время анализа ситуации должно быть безопасным, не приводящим к перегреву или пробую силового кристалла. Для современных IGBT интервал вре-

мени, в течение которого они способны выдерживать режим КЗ, как правило, не превышает 10 мкс. Чтобы максимально быстро отреагировать на возникновение перегрузки и исключить лишние потери мощности, в драйверах SEMIKRON используется мониторинг напряжения насыщения  $V_{CEsat}$ . Напряжение насыщения зависит от тока коллектора, данная зависимость приводится в технических характеристиках транзисторов и модулей и используется для настройки схемы защиты.

Структура блока мониторинга напряжения насыщения приведена на рис. 2. Измерение напряжения насыщения  $V_{CEsat}$  и анализ состояния перегрузки начинаются только после подачи на затвор отпирающего напряжения, в противном случае высокое напряжение на коллекторе закрытого транзистора будет воспринято как неисправность. Блок формирования задержки  $t_{sc}$  вырабатывает импульс, блокирующий схему анализа неисправности на 3–5 мкс после подачи импульса управления затвором. Если по истечении этого времени уровень напряжения насыщения окажется выше заданного порога, напряжение управления отключается и формируется сигнал ошибки ERROR.

Защита от выхода транзистора из насыщения DESAT (от англ. Desaturation) с помощью мониторинга напряжения  $V_{CEsat}$  является достаточно распространенной. Использование напряжения «коллектор — эмиттер» открытого транзистора в качестве сигнала перегрузки имеет много достоинств: этот способ является достаточно быстродействующим, не подверженным воздействию электромагнитных помех (как в случае индукционных датчиков тока), он не приводит к дополнительным потерям мощности (в отличие от схем защиты с использованием резистивных шунтов).

При использовании данного типа защиты от перегрузки ее необходимо блокировать в течение некоторого времени (в англоязычной литературе — blanking time) после подачи отпирающего напряжения на затвор транзистора. Дело в том, что между моментом включения транзистора и его входом в насыщение существует задержка, равная сумме времени задержки включения  $t_{don}$  и времени включения  $t_r$ . Все это время на коллекторе



присутствует достаточно высокое напряжение, которое может быть воспринято схемой защиты, как перегрузка по току. Необходимое время запрета зависит от типа транзистора, так же как и требуемый уровень  $V_{CEsat}$  при котором должно произойти отключение транзистора и который определяется по графику зависимости  $V_{CE} = f(I_C)$ .

Для возможности «адаптации» схемы защиты к параметрам конкретного силового модуля в драйверах SKHI используются подстроечные элементы  $R_{CE}$ ,  $C_{CE}$ . Графики, приведенные на рис. 3, показывают, как меняется опорное напряжение схемы защиты  $V_{CEref}$  драйвера SKHI 10 в зависимости от номиналов  $R_{CE}$ ,  $C_{CE}$ . Для снижения вероятности ложного срабатывания защиты в драйверах SEMKRON опорное напряжение не постоянно, оно изменяется по экспоненциальному закону с постоянной времени  $\tau = 0,5 \text{ мкс} \dots 1 \text{ мс}$ , определяемой номиналом  $C_{CE}$ . В установленном состоянии опорное напряжение принимает значение  $V_{CEstat} = 5 \dots 10 \text{ В}$ , которое задается с помощью  $R_{CE}$ . Минимальное время запрета срабатывания защиты ( $t_{min}$  на рис. 3) является функцией опорного напряжения  $V_{CEstat}$  и постоянной времени  $\tau$ . На рисунке также показан график напряжения «коллектор — эмиттер» при открывании, скорость спада которого в свою очередь зависит от параметров транзистора и импеданса цепи управления затвором  $R_{gon}$ .

Стоит также остановиться на особенностях режима SSD, реализованного в некоторых драйверах SEMKRON. Режим плавного отключения транзисторов при срабатывании защиты (в англоязычной литературе он называется SSD — Soft Shut Down, или Soft Turn-off) является совершенно необходимым в тех случаях, когда из-за наличия распределенных индуктивностей силовых шин уровень перенапряжения при мгновенном отключении транзисторов может быть недопустимо высоким. Значение перенапряжения  $\Delta V$  определяется величиной индуктивности шины  $L_s$  и скоростью изменения тока при отключении  $di/dt$ :  $\Delta V = L_s \times di/dt$ . Режим SSD позволяет уменьшить величину перенапряжения за счет снижения скорости выключения, что достигается, как правило, использованием дополнительного резистора затвора  $R_{goff}$ . Графики, приведенные на рис. 3b, демонстрируют, что при увеличении резистора затвора  $R_{goff}$  в режиме срабатывания защиты с 22 до 100 Ом уровень перенапряжения падает с 1360 до 1280 В. Как показывает нижняя эпюра на рисунке, ток короткого замыкания в обоих случаях  $I_{sc} = 860 \text{ А}$ , однако при увеличении резистора затвора становится больше и время выключения, что неизбежно ведет к росту потерь.

Ток при отключении транзистора всегда превышает пороговое значение тока срабатывания защиты из-за наличия задержки, кроме времени задержки он зависит от величины суммарной паразитной индуктивности в цепи, где произошло короткое замыкание, и типа кристалла IGBT. Для транзисторов с гомогенной структурой (в частности, NPT IGBT) ток короткого замыкания  $I_{sc}$  может

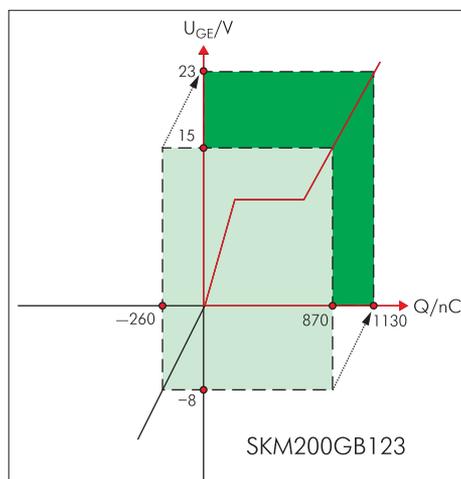
достигать значения  $I_{sc} = 8 \times I_{Cnom}$ , где  $I_{Cnom}$  — номинальный ток коллектора (для стандартных эпитаксиальных IGBT  $I_{sc} \approx 10 \times I_{Cnom}$ ). Естественно, что при отключении столь высоких токов с большой скоростью уровень перенапряжения может превысить допустимое значение, что может привести как к пробоему транзистора, так и к ложному открыванию транзистора в неработающем плече из-за наличия емкости Миллера.

Платой за режим SSD являются повышенные потери при аварийном отключении. В новейших сериях 126 и 128 модулей SEMITRANS используются кристаллы Trench и SPT IGBT, имеющие свойство «самоограничения» тока КЗ на уровне, не превышающем 6-кратного значения номинального тока. Для этих модулей режим SSD не рекомендуется, мгновенное отключение считается для них безопасным. Естественно, что это справедливо только для случаев, когда топология силовых соединений выполнена корректно и значения индуктивностей шин не превышают допустимых значений.

### Расчет параметров драйверов

Для правильного выбора и применения драйвера необходимо провести предварительный расчет ряда параметров, важнейшими из которых являются максимальная рабочая частота, ток потребления или рассеиваемая мощность, номиналы резисторов затвора.

Мощность, рассеиваемая схемой управления затвором, является функцией частоты коммутации и энергии, необходимой для перезаряда затвора. Значение энергии определяется как произведение приращения напряжения на заряд затвора (площадь прямоугольника на рис. 4):  $E = \Delta Q \times U$ . Например, для модуля SKM200GB123, характеристики затвора которого показаны на рисунке, энергия, необходимая на один период коммутации:  $E = (870 \text{ нК} - (-260 \text{ нК})) \times (15 \text{ В} - (-8 \text{ В})) = 25,99 \text{ мДж}$ .



**Рис. 4.** Характеристики затвора модуля SKM200GB123: первый квадрант — данные, приводимые в технических характеристиках, светлая область — энергия, необходимая для переключения затвора при напряжении +15/-8 В, темная область является смещением светлой в область положительных значений для облегчения расчета

Мощность, рассеиваемая драйвером, определяется исходя из частоты переключений:  $P = E \times f_{sw} = \Delta Q \times \Delta U \times f_{sw}$ . Средний выходной ток драйвера  $I_{out_{av}}$  рассчитывается на основе значения мощности:  $I_{out_{av}} = P/\Delta U$ . Естественно, что для расчета суммарного потребляемого тока к значению  $I_{out_{av}}$  надо добавить ток покоя драйвера.

Полученные выражения позволяют определить значение допустимого заряда затвора управляемого транзистора  $\Delta Q = I_{out_{av}}/f_{sw}$ . Зная величину заряда затвора транзистора и выходной ток драйвера, можно рассчитать максимальную рабочую частоту:  $f_{swmax} = I_{out_{av}}/\Delta Q$ . Например, для модуля SKM200GB123 и драйвера SKHI23  $f_{swmax} = 50 \text{ мА}/1130 \text{ нК} = 44 \text{ кГц}$ .

Время переключения транзистора зависит от его входных емкостей и тока управления. Изменяя значения резисторов затвора  $R_{Gon}/R_{Goff}$ , можно регулировать время переключения. При этом соответственно будет меняться не только энергия переключения, но и величина перенапряжения при выключении. Поэтому в технических характеристиках на драйверы SEMKRON указывается минимальное значение резисторов затвора и их рекомендуемые величины для модулей разного типа.

### Структура драйверов SEMKRON

Особенности и принципы действия драйверов SEMKRON можно рассмотреть на примере устройств управления интеллектуальными силовыми модулями SKiiP, поскольку в данных модулях все функции управления и защиты реализованы наиболее полно. На рис. 5 показана структурная схема полумостового драйвера модуля SKiiP.

Драйверы интеллектуальных модулей SEMKRON выполняют все функции, необходимые для безопасной работы модуля, производя постоянный мониторинг выходного тока, напряжения силовой шины питания и температуры модуля. Они имеют аналоговые выходы, сигналы на которых пропорциональны току, температуре модуля и напряжению силовой шины питания. Эти сигналы поступают на управляющий процессор и могут быть использованы для анализа состояния системы.

Для гальванической развязки входных цепей в драйверах SEMKRON используются импульсные трансформаторы. Изоляция выполняется в соответствии с требованиями стандарта EN50178. Напряжение изоляции конкретного модуля зависит от предельного рабочего напряжения.

В драйверах модулей SKiiP реализована идеология защиты, названная OCP (Over Current Protection), при которой анализируются два сигнала: сигнал датчика тока фазы и напряжение насыщения  $V_{CEsat}$ . Устройства защиты SKiiP различают два пороговых значения тока — ток перегрузки (100%  $I_c$ ), начиная с которого производится анализ неисправности, и ток КЗ ( $\approx 120\% I_c$ ), при котором происходит отключение. После возникновения состояния перегрузки напряжение на затворе снижается, что приводит к ограничению

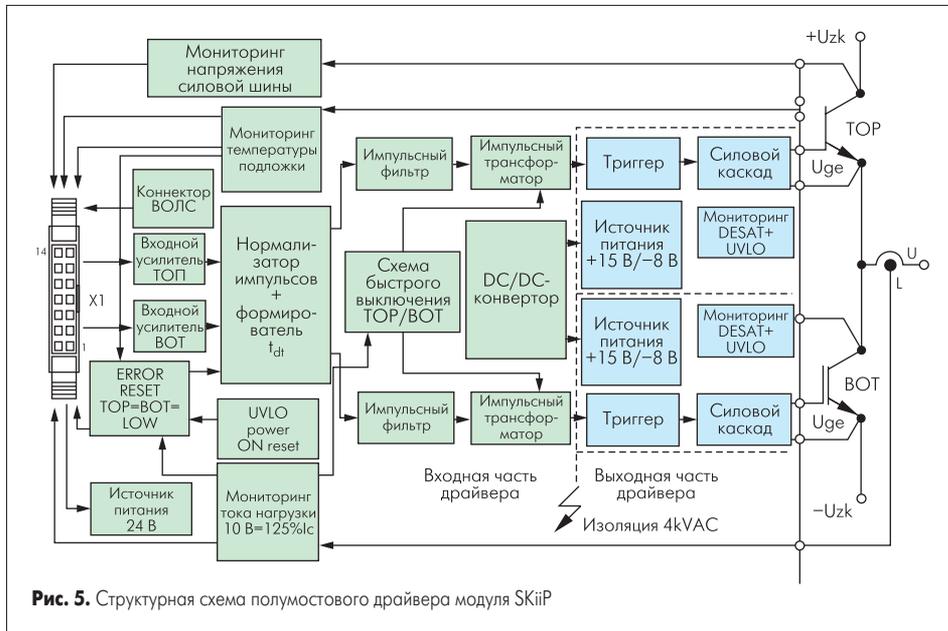


Рис. 5. Структурная схема полумостового драйвера модуля SKiiP

тока коллектора. Затем, если состояние перегрузки не прекращается в течение 3–5 мкс, напряжение на затворе снижается до нуля. При этом снижение напряжения на затворе производится по определенному закону для уменьшения значения  $di/dt$  и снижения переходного перенапряжения при выключении. Траектория выключения выбирается так, чтобы напряжение на коллекторе силового транзистора никогда не превышало предельного значения  $V_{CES}$ .

Встроенная схема формирования времени задержки переключения (формирователь  $t_{dt}$ ) исключает одновременное открывание транзисторов полумоста и блокирует переключение полумоста на время  $t_{dt}$ , необходимое для окончания переходных процессов и исключения сквозного тока. Это время зависит от конкретного типа примененных силовых кристаллов и может регулироваться внешним резистором.

Наличие тепловой защиты не может гарантировать, что мощный кристалл не выйдет из строя ни при каких условиях. Из-за малой тепловой инерции кристалла его температура может намного превысить температуру керамической подложки, на которой установлен термодатчик, при резком увеличении мощности потерь. Это может произойти, например, при сбое контроллера и повышении частоты коммутации или из-за появления дребезга в цепи управления. Драйверы SKiiP предотвращают дребезг благодаря наличию импульсных фильтров, не пропускающих импульсы с длительностью менее 500 нс.

Импульсные фильтры вместе с импульсными изолирующими трансформаторами выполняют еще одну очень важную функцию. Высокие скорости переключения и большие значения наведенного перенапряжения  $dV/dt$  могут приводить к сбоям в работе контроллера. Такая ситуация часто наблюдается при использовании оптической гальванической развязки, так как оптический барьер имеет сравнительно большую переходную емкость, через которую пики напряжения могут проникать в схему управления. Импульсные трансформаторы гораздо менее

чувствительны к шумам, чем оптопары, а импульсные фильтры драйверов SKiiP подавляют шумовые сигналы как в прямом направлении, так и в обратном, не позволяя пикам наведенного напряжения воздействовать на работу управляющих контроллеров. В изолированных источниках питания, встроенных в драйверы SEMIKRON, также используются импульсные трансформаторы с низким значением проходной емкости для уменьшения уровня переходных помех. Следует отметить также, что импульсные трансформаторы по сравнению с оптопарами имеют гораздо более высокую стабильность параметров при работе в условиях высоких перепадов напряжения.

Схема контроля UVLO следит за всеми напряжениями, которые подаются на модуль или вырабатываются встроенным DC/DC-конвертером. При уменьшении любого из них ниже заданного порога отключаются силовые транзисторы и выдается сигнал неисправности.

Для сброса сигнала неисправности необходимо, чтобы исчезла причина, вызвавшая неисправность, и все логические входы модуля находились в состоянии логического

нуля в течение времени  $t_{RESET}$  указанного в технических характеристиках.

Структурная схема драйвера тормозного транзистора (чоппера) модуля SKiiP приведена на рис. 6. В режиме динамического торможения двигателя двухпозиционный контроллер с гистерезисной характеристикой регулирования вырабатывает сигналы включения и выключения тормозного транзистора в зависимости от напряжения на шине питания. Минимальное время нахождения тормозного транзистора во включенном режиме — 30 мкс. Значения напряжений, при которых происходит коммутация тормозного транзистора в модулях SKiiP, приведены на рисунке.

Модуль имеет внешний вход управления чоппером, который может использоваться, например, для разряда накопительных конденсаторов. Приоритет имеет встроенная схема управления, максимальная частота коммутации — 5 кГц. Драйвер управления чоппером осуществляет описанные выше защитные функции, кроме того, он имеет функцию защиты от перенапряжений в цепи питания 15 В.

Включение чоппера возможно в случае, если не сработала защелка схемы защиты. При срабатывании защиты выход ERROR (открытый коллектор оптопары) имеет высокий логический уровень. Для сброса схемы защелки необходимо отсутствие любой неисправности и наличие сигнала сброса RESET в течение не менее 300 мс. Защелка сбрасывается также и при отключении питания.

Для питания драйвера служит встроенный DC/DC-конвертер, питающийся от нестабилизированного напряжения 24 В (20–30 В) или стабилизированного 15 В. При наличии на входе RESET логической единицы конвертер отключается.

**Краткие характеристики драйверов SEMIKRON**

**SKAI 100**

Драйвер чоппера тормозного транзистора (см. рис. 7) с регулируемым порогом включения, начальное значение уровня включения — 400 В. Драйвер имеет встроенную автоколебательную схему управления тормоз-

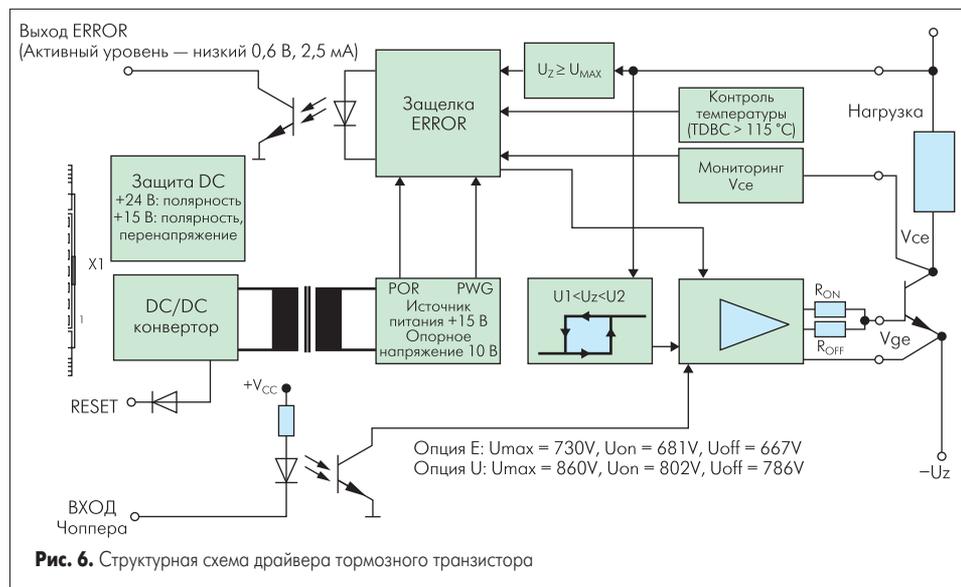
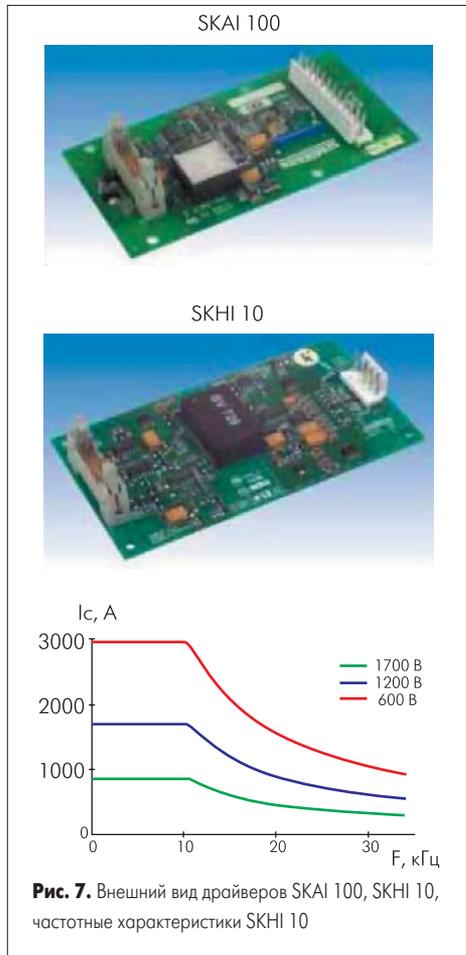


Рис. 6. Структурная схема драйвера тормозного транзистора



ным каскадом, включаемую внешним логическим сигналом.

Основные особенности:

- исполнение — печатная плата;
- напряжение питания — 15 В, 24 В;
- защита DESAT;
- защита UVLO;
- защита от перегрева;
- уровень входного сигнала TTL/CMOS;
- встроенный изолированный DC/DC-конвертер.

**SKHI 10**

Драйвер одиночного модуля с напряжением 1200/1700 В. Драйвер имеет возможность выбора логического уровня сигнала срабатывания защиты и подбора сопротивления затвора  $R_{gon/off}$ .

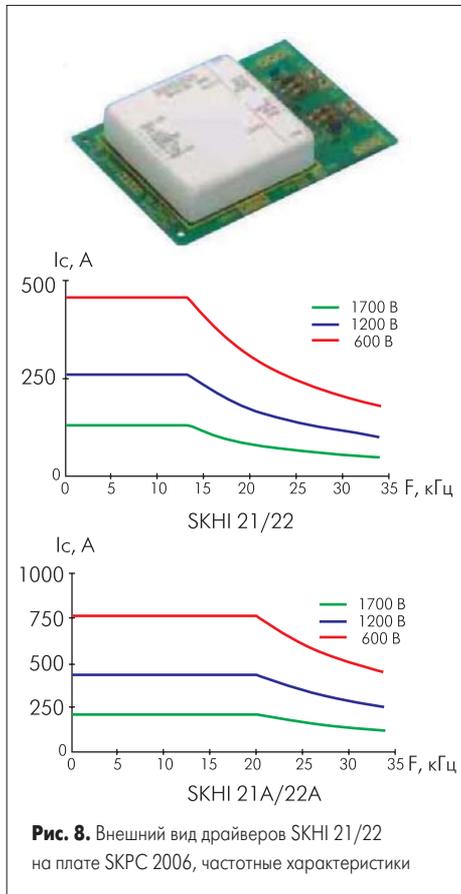
Основные особенности:

- исполнение — печатная плата;
- напряжение питания — 15 В;
- уровень входного сигнала TTL/CMOS;
- двуполярный сигнал управления затвором  $V_{Gon/off} = 15/-8$  В;
- защита DESAT;
- защита UVLO;
- режим SSD;
- встроенный изолированный DC/DC-конвертер.

**Примечание:** на графиках (рис. 7–10) показана зависимость максимального тока коллектора управляемого модуля от частоты переключений.

**SKHI 21/22, 21A/22A/B**

Драйверы полумостового модуля IGBT с напряжением 1200/1700 В (SKHI 22) или MOSFET (SKHI 21). Драйверы в исполнении 21A/22A имеют увеличенную выходную



мощность (см. рис. 8), в исполнении 22В предусмотрена возможность регулирования времени задержки переключения транзисторов полумоста ( $t_{dt}$ ).

Основные особенности:

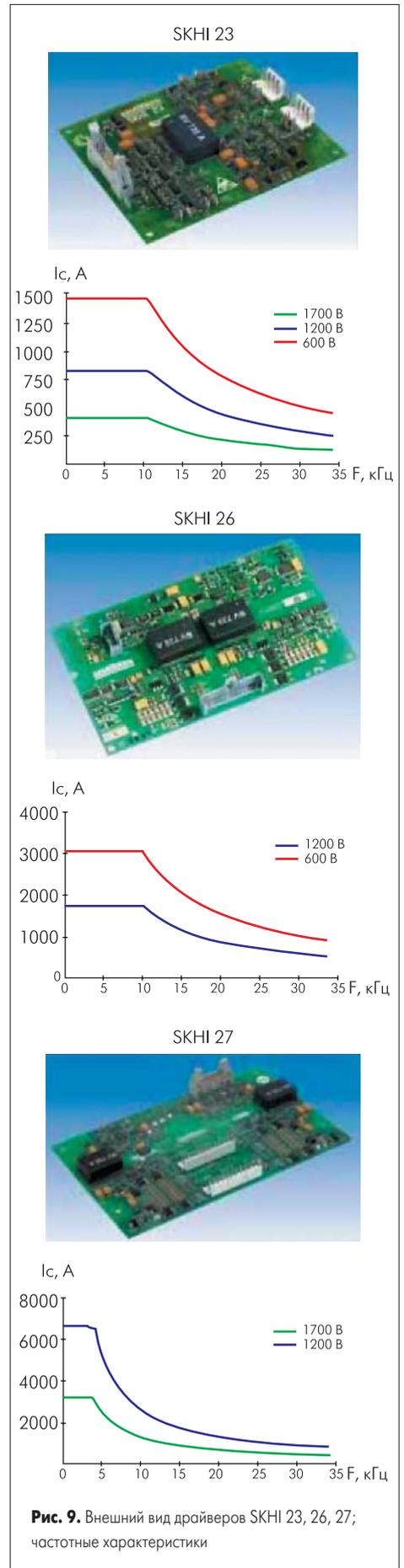
- исполнение — интегральный модуль (имеется печатная плата SKPC2006);
- напряжение питания — 15 В;
- уровень входного сигнала CMOS;
- двуполярный сигнал управления затвором:  $V_{Gon/off} = 15/-15$  В (SKHI 22),  $V_{Gon/off} = 15/-8$  В (SKHI 22A), однополярный сигнал управления затвором:  $V_{Gon/off} = 15/0$  В (SKHI 21);
- защита DESAT;
- защита UVLO;
- отключаемый запрет одновременного включения транзисторов полумоста;
- встроенный изолированный DC/DC-конвертер.

**SKHI 23**

Драйвер полумостового модуля IGBT (см. рис. 9) с напряжением 1200/1700 В. Драйвер имеет возможность выбора логического уровня сигнала срабатывания защиты, подбора сопротивления затвора  $R_{gon/off}$  и регулирования времени задержки переключения транзисторов полумоста ( $t_{dt}$ ).

Основные особенности:

- исполнение — печатная плата;
- напряжение питания — 15 В;
- уровень входного сигнала TTL/CMOS;
- двуполярный сигнал управления затвором:  $V_{Gon/off} = 15/-8$  В;
- защита DESAT;
- защита UVLO;
- запрет одновременного включения транзисторов полумоста;
- встроенный изолированный DC/DC-конвертер.



**SKHI 26/27**

Мощный драйвер для управления полумостовым модулем IGBT с напряжением 1200 В. В исполнении F имеется разъем для подключения волоконно-оптического кабеля для подачи сигналов управления.

Основные особенности:

- исполнение — печатная плата;
- напряжение питания — 15 В;
- уровень входного сигнала CMOS;
- двуполярный сигнал управления затвором:  $V_{Gon/off} = 15/-8$  В;
- защита DESAT;
- защита UVLO;
- запрет одновременного включения транзисторов полумоста;
- встроенный изолированный DC/DC-конвертер.

#### SKHI 61/71

Драйвер (см. рис. 10) с оптической изоляцией контрольных сигналов для управления 3-фазными модулями IGBT с напряжением 1200 В: MiniSKiiP, SEMITRANS. Драйверы имеют возможность регулирования времени задержки переключения транзисторов полумоста ( $t_{dt}$ ). Драйвер в исполнении SKHI 71 содержит встроенный каскад управления тормозным транзистором.

Основные особенности:

- исполнение — интегральный модуль;
- напряжение питания — 15 В;
- уровень входного сигнала TTL/CMOS;
- двуполярный сигнал управления затвором:  $V_{Gon/off} = 15/-6,5$  В;
- защита DESAT;
- защита UVLO;

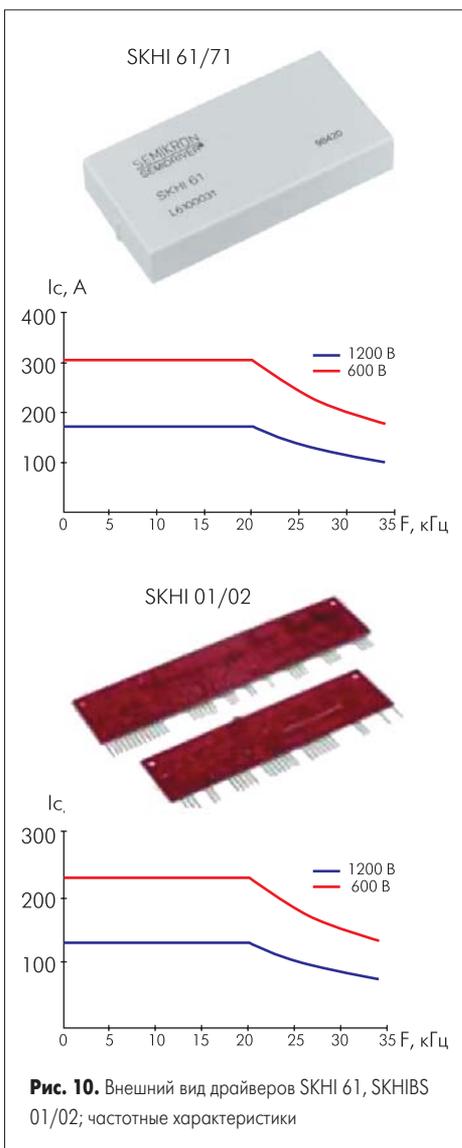


Рис. 10. Внешний вид драйверов SKHI 61, SKHIBS 01/02; частотные характеристики



Рис. 11. Внешний вид драйвера SKSI 20/45, внешний вид преобразователя тягового привода

- запрет одновременного включения транзисторов полумоста;
- встроенный изолированный DC/DC-конвертер.

#### SKHIBS 01/02

Драйвер с оптической изоляцией контрольных сигналов для управления 3-фазными модулями IGBT с тормозным каскадом: MiniSKiiP, SEMITRANS. В исполнении SKHIBS 02 имеется встроенный индукционный датчик тока. Для работы драйверов SKHIBS 01/02 необходим внешний импульсный трансформатор.

Основные особенности:

- исполнение — интегральный модуль;
- напряжение питания — 15 В;
- уровень входного сигнала TTL/CMOS;
- двуполярный сигнал управления затвором:  $V_{Gon/off} = 15/-8$  В;
- защита DESAT;
- защита UVLO;
- мониторинг температуры;
- запрет одновременного включения транзисторов полумоста;
- встроенный изолированный DC/DC-конвертер.

#### SKSI 20/45

Новейшая разработка — высоковольтный драйвер с управлением по волоконно-оптическому кабелю. Данный элемент интересен тем, что он имеет напряжение изоляции 6000 В и предназначен для работы с модулями с рабочим напряжением 4500 В, которых нет в производственной программе SEMIKRON. Драйвер используется в силовом преобразователе тягового привода электропоезда, разработанном SEMIKRON с использованием модулей IGBT Mitsubishi (рис. 11). Внешний вид привода также приведен на рис. 11.

Основные особенности:

- исполнение — печатная плата;
- напряжение питания — 15 В;
- уровень входного сигнала CMOS;
- двуполярный сигнал управления затвором:  $V_{Gon/off} = 15/-12$  В;
- защита DESAT;
- защита UVLO;
- защита от перегрева;
- запрет одновременного включения транзисторов полумоста;
- встроенный изолированный DC/DC-конвертер.

#### SKYPER — «ядро» драйверов будущего

На выставке PCIM-2004, прошедшей в Нюрнберге в мае этого года, на стенде SEMIKRON был представлен новый драйвер, имеющий

рабочее название SKYPER. Это унифицированное устройство управления полумостовым модулем IGBT вобрало в себя лучшие технические решения, найденные фирмой за 30 лет работы в данном направлении. Основой для разработки послужила схема драйвера SKHI22A, выпущенного в сотнях тысяч экземпляров и доказавшего свою функциональную полноту и надежность.

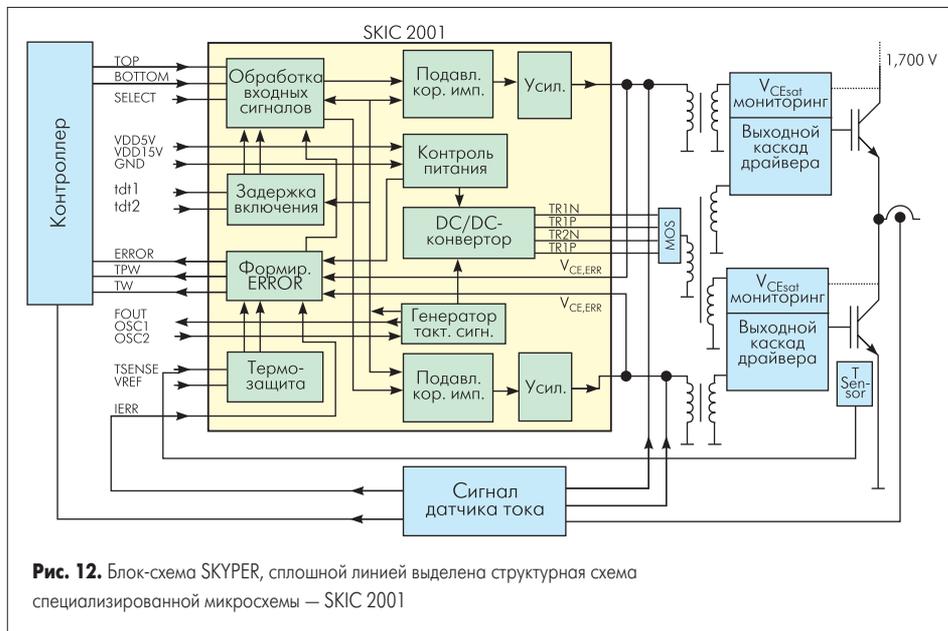
В SKYPER, блок-схема которого приведена на рис. 12, предусмотрены все необходимые базовые виды защит и мониторинга, а также режим SSD. Гальваническая изоляция управляющих сигналов осуществляется с помощью импульсных трансформаторов (напряжение изоляции 4 кВ) с двунаправленной передачей сигнала. Питание устройства производится от одного источника 15 В, все напряжения, необходимые для работы выходных каскадов драйвера, вырабатываются с помощью встроенного DC/DC-конвертера. Пиковый выходной ток драйвера составляет 8 А, он способен управлять модулями, имеющими заряд затвора до 5 мкКл. SKYPER выпускается в двух версиях: BASE и PREMIUM, вторая модификация дополнительно включает в себя блок защиты от перегрева (датчик Tsenog и блок Термозащита на рис. 12) и дополнительный вход для подключения датчика тока (IERR на рис. 12), необходимого для работы описанной выше защиты OCP.

Специально для SKYPER выпущена интегральная микросхема (ASIC — Application Specific IC) SKIC 2001, структурная схема которой вместе с общей блок-схемой драйвера показана на рис. 12. Двухканальная микросхема SKIC 2001 выполняет следующие функции:

- подавление шумовых импульсов;
- нормирование уровней и фронтов входных сигналов;
- мониторинг напряжения питания (защита UVLO);
- мониторинг сигналов ошибки;
- запрет одновременного включения транзисторов полумоста, формирование  $t_{dt}$ ;
- управление встроенным изолированным DC/DC-конвертером.

Интерфейс драйвера организован так, что логические сигналы управления объединены в функциональные группы, что упрощает подключение и способствует снижению перекрестных помех. При этом для функционирования устройства достаточно подачи сигналов TOP, BOTТОМ (управление затворами) и SELECT (разрешение).

SKYPER должен стать «ядром» большинства будущих драйверов SEMIKRON, его интерфейс с силовыми модулями различных



типов будет осуществляться с помощью специальных плат — адаптеров. На адаптере находятся резисторы затворов и элементы, необходимые для регулировки чувствительности защиты DESAT. Пока такая плата серийно производится только для установки SKYPER на новейший модуль SEMIKRON SEMiX. Полумостовой модуль SEMiX с пружинными сигнальными выводами, SKYPER и переходная плата показаны на рис. 13. Отметим, что модульная идеология построения интеллектуальных силовых модулей, когда драйвер не является составной частью силового модуля, но обеспечивает гальвани-



ческую изоляцию сигналов и содержит встроенные изолированные источники питания, является принципиальным отличием изделий SEMIKRON от ИМ ближайших конкурентов, таких как Mitsubishi, Toshiba, Fuji.

#### Заключение

В данной статье мы попытались рассказать о драйверах SEMIKRON, предназначенных для управления модулями MOSFET/IGBT средней и высокой мощности, и не затронули устройства, выпускаемые фирмой для управления тиристорами и тиристорными мостами [6].

Знание особенностей и характеристик драйверов необходимо разработчику для правильного выбора, а широкая номенклатура таких устройств, предлагаемых SEMIKRON для мощных применений, позволяет подобрать оптимальную схему управления практически для всех возможных конфигураций схем.

Выгодным отличием драйверов SEMIKRON от аналогичных изделий является обязательное наличие гальванической развязки сигналов управления и сигналов неисправности, а также включение в состав драйвера изолированного DC/DC-конвертора. Все это поз-



воляет создавать силовые преобразовательные устройства с максимальным уровнем функциональности и надежности.

Быстрое развитие техники, сокращение времени на разработку и выход на рынок требуют от производителей компонентов создания все более законченных изделий, готовых решений. Именно поэтому, говоря о драйверах SEMIKRON, нельзя не упомянуть о новейшей разработке — модуле SKAI (SKADS) — полностью законченном приводе трехфазного асинхронного двигателя, выпущенном SEMIKRON для применения в электро- и гибридомобилях [7]. Плата драйвера этого устройства, показанная на рис. 14, включает в себя не только традиционное изолированное устройство управления затворами MOSFET/IGBT и DC/DC-конвертор, но и DSP-контроллер TMS320LF2406/2407 и интерфейс CAN.

#### Литература

1. IGBT and MOSFET SKHI Drivers. Integrated Components and Integrated Solutions. SEMIKRON International.
2. Use Gate Charge to Design the Gate Drive Circuit for Power MOSFETs and IGBTs. IR AN-944.
3. Markus Hermwille, Thomas Grasshoff. SKYPER — Modern and simple driver // Power System Design. May 2004.
4. Колпаков А. SKiP — интеллектуальные силовые модули SEMIKRON // Компоненты и технологии. 2003. № 1.
5. Колпаков А. Программа теплового расчета SemiSel // Компоненты и технологии. 2002. № 9.
6. Колпаков А. Драйверы для управления тиристорными мостами SEMIKRON // Компоненты и технологии. 2004. № 3.
7. Колпаков А. И. SKAI — новая разработка SEMIKRON для электротранспорта // Электронные компоненты. 2003. № 7.