

DriverSel —

простой и эффективный инструмент разработчика

Задача выбора типа схемы управления силовым модулем не столь проста, как это может показаться на первый взгляд. Проблема еще больше усложняется при необходимости управления параллельным соединением модулей или при работе на высокой частоте, когда существенно возрастает мощность, рассеиваемая драйвером. Новая программа DriverSel, разработанная компанией SEMIKRON, предназначена для оказания помощи в выборе драйвера при заданных режимах работы.

Андрей Колпаков

andrey.kolpakov@semikron.com

Драйверы SEMIKRON

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 широкий спектр устройств управления, согласованных по параметрам и конструктивному исполнению со всеми выпускаемыми силовыми ключевыми компонентами. В последних версиях программы SemiSel [3], предназначенной для автоматического расчета режимов работы модулей, 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 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);

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

Современные схемы управления должны защищать силовой модуль от аварийных режимов и производить мониторинг его режимов. Драйверы SEMIKRON

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	НВ	1200	+15/0	8	4	50	2,5	50
SKHI 22A/B	НВ	1200	+15/-7	8	4	50	2,5	50
SKHI 22A/B/H4	НВ	1700	+15/-7	8	4	50	4	50
SKHI 23/12	НВ	1200	+15/-8	8	4,8	100	2,5	75
SKHI 23/17	НВ	1700	+15/-8	8	4,8	100	4	75
SKHI 24	НВ	1700	+15/-8	15	5	50	4	50
SKHI 26W/F	НВ	1600	+15/-8	8	10	100	4	75
SKHI 27W/F	НВ	1700	+15/-8	30	30	10	4	75
SKSI 20/45	НВ	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;

НВ — 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»;

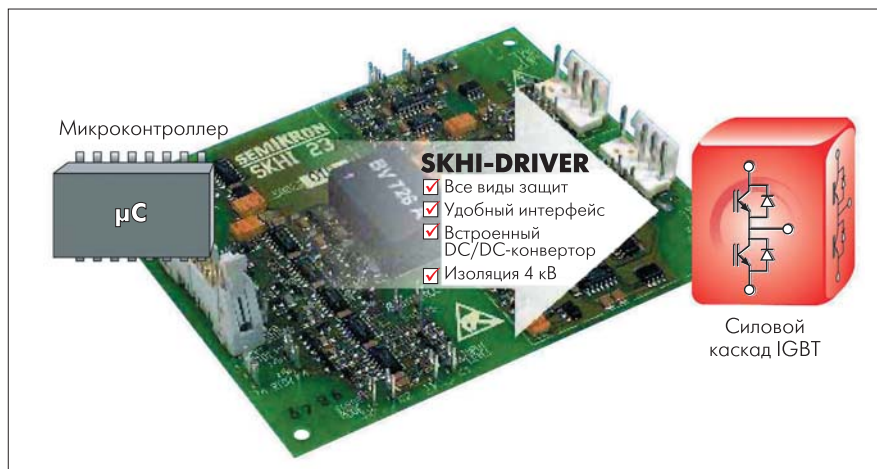
V_{GE} — напряжение управления;

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.



осуществляют следующие защитные и сервисные функции:

- защита от сквозного тока и формирование времени задержки при переключении транзисторов полумоста t_{dt} ;
- фильтрация коротких импульсов;
- нормирование фронтов входных сигналов;
- защита от падения напряжения источников питания (UVLO);
- защита от перегрузки по току и короткого замыкания;
- защита от перегрева (SKAI 100, SKYPER PRO).

В драйверах интеллектуальных модулей SKiIP реализована идеология защиты, названная OCP (Over Current Protection), при которой одновременно анализируется сигнал датчика тока фазы и напряжение насыщения ключа V_{CEsat} . Устройство защиты SKiIP различает 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 токовой перегрузки напряжение на затворе снижается, что приводит к ограничению тока коллектора. Затем, если состояние перегрузки не прекращается в течение 3–5 мкс, напряжение управления уменьшается до нуля.

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 в некоторых драйверах может регулироваться внешним резистором.

Наличие тепловой защиты не гарантирует, что мощный кристалл не выйдет из строя ни при каких условиях. Из-за малой тепловой инерции кристалла его температура способна 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 SEMIKRON предотвращают дребезг благодаря наличию импульсных фильтров, не пропускающих импульсы с длительностью меньше 500 нс.

Фильтры вместе с импульсными изолирующими трансформаторами выполняют еще одну важную функцию, предотвращая обратные наводки со стороны силового каскада. Пики напряжения, возникающие при коммутации транзисторов, проходя через паразитную емкость изолирующего барьера, могут привести к сбоям в схеме управления. Импульсные трансформаторы менее чувствительны к шумам, чем оптопары, а импульсные фильтры драйверов SKHI подавляют шумовые сигналы как в прямом, так и в обратном направлении. В изолированных источниках питания, встроенных в драйверы SEMIKRON, также используются импульсные трансформаторы с низким значением проходной емкости для уменьшения уровня переходных помех. Следует отметить, что импульсные трансформаторы по сравнению с оптопарами имеют более вы-

сокую стабильность параметров при работе в условиях высоких перепадов напряжения.

Схема контроля UVLO следит за низковольтными 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.

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, а также номиналы резисторов затвора.

Мощность, рассеиваемая схемой управления затвором, является функцией частоты коммутации и энергии, необходимой для перезарядки затвора. Значение энергии определяется как произведение приращения напряжения на заряд затвора (площадь прямоугольника на рис. 1): $E = \Delta Q \times \Delta U$. Например, для модуля SKM200GB123, характеристики затвора которого показаны на рис. 1, энергия, необходимая на один период коммутации: $E = (870 \text{ нК} - (-260 \text{ нК})) \times (15 \text{ В} - (-8)) = 25,99 \text{ мДж}$. Мощность, рассеиваемая драйвером, зависит от частоты коммутации: $P = E \times f_{sw} = \Delta Q \times \Delta U \times f_{sw}$. Средний выходной ток драйвера I_{outav} рассчитывается на основе значения мощности: $I_{outav} = P/\Delta U$. Для определения суммарного потребляемого тока к значению I_{outav} надо добавить ток покоя драйвера.

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

Время переключения транзистора зависит от паразитных емкостей затвора (C_{ge} и C_{cg}) и тока управления. Входная емкость «затвор — эмиттер» C_{ge} определяет наклон первой линии характеристики затвора, показанной на рис. 1. После достижения напряжением V_{GE} порогового значения открывания транзистора начинается вто-

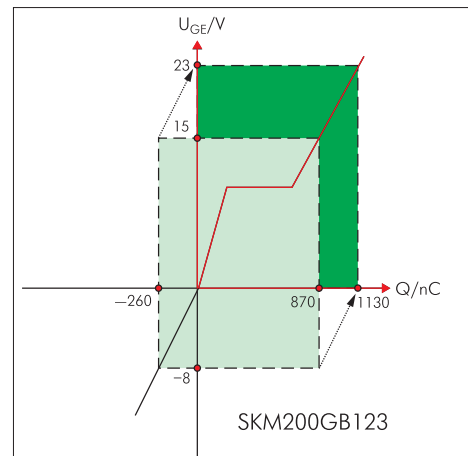


Рис. 1. Характеристика затвора модуля SKM200GB123: светлая область — энергия, необходимая для переключения затвора при напряжении +15/-8 В, темная область является параллельным переносом светлой в зону положительных значений для упрощения расчета

рой горизонтальный участок характеристики затвора. Этот участок образуется за счет отрицательной обратной связи через емкость Миллера C_{cg} . Характеристика затвора вновь превращается в наклонную прямую после полного включения транзистора; ее рост ограничен выходным напряжением драйвера (в данном случае 15 В).

На рис. 2 показаны эпюры напряжения на затворе V_{GE} и тока затвора I_G при переключении модуля SKM75GB123. Пик тока при включении, ограниченный резистором R_{Gon} , достигает значения 1,3 А, время включения составляет примерно 200 нс. Ток и время t_{sw} переключения в общем случае связаны известным соотношением: $Q_G = I_G \times t_{sw}$. Из характеристики затвора, взятой из справочных данных SKM75GB123 и приведенной в правой части рис. 2, видно, что горизонтальному участку характеристики соответствует значение $Q_G \approx 230 \text{ нКл}$.

Всплеск тока затвора, наблюдаемый в момент включения, соответствует началу процесса заряда емкости C_{ge} , когда напряжение на ней нулевое, а ток, соответственно, максимален. Далее ток затвора снижается до установившегося значения (пологий участок), на этом интервале времени, в процессе спада напряжения на коллекторе, большая часть вы-

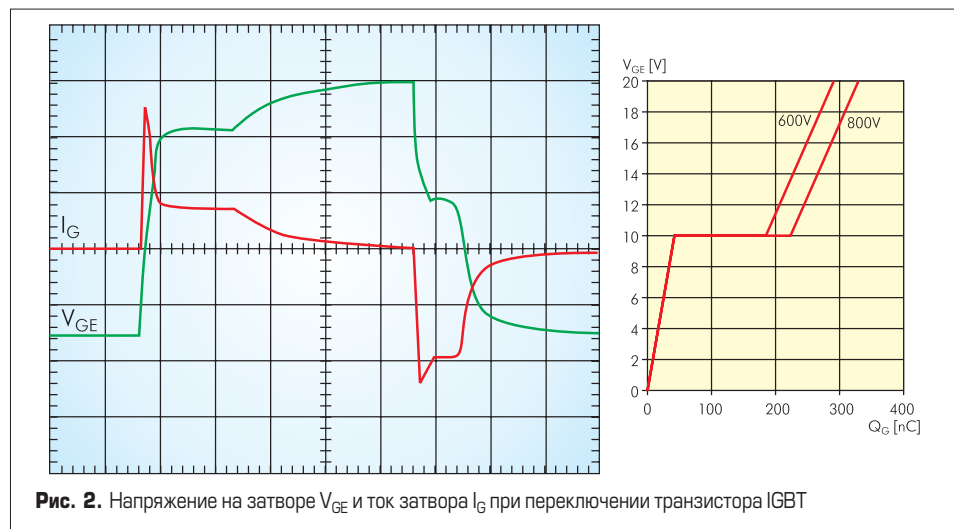


Рис. 2. Напряжение на затворе V_{GE} и ток затвора I_G при переключении транзистора IGBT

ходного тока драйвера уходит на компенсацию тока, наведенного через емкость Миллера. После полного включения транзистора ток затвора уменьшается до значения утечки (200 нА для SKM75GB123). После включения транзистора схема управления должна поддерживать на затворе постоянное напряжение, необходимое для получения минимального напряжения насыщения V_{CEsat} , то есть минимальных потерь проводимости.

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 драйверов SEMIKRON указывается минимальное значение резисторов затвора и их рекомендуемые величины для модулей разного типа.

Приведенные выше расчеты и формулы подтверждают, что корректный выбор драйвера для конкретных условий применения является достаточно серьезной задачей.

Описание программы DriverSel

На рис. 3 показано рабочее окно программы DriverSel, состоящее из трех фрагментов: меню ввода данных, результаты расчетов и типы драйверов, рекомендуемые SEMIKRON для заданных режимов работы.

Для расчета DriverSel необходима следующая информация:

1. тип модуля (в данном случае SEMiX 653GD176HDc), при этом программа получает из базы данных информацию о заряде затвора Q_G , рабочем напряжении и конфигурации модуля;
2. количество параллельно соединенных модулей — это число позволяет определить суммарный заряд затвора, на основании чего производится расчет мощности, рассеиваемой драйвером;
3. рабочая частота f_{sw} — информация, также необходимая для определения рассеиваемой мощности;
4. номинал резистора затвора.

В первом окне обязательно должен быть указан тип модуля, производимого SEMIKRON. Если выбрать режим «User Defined Module Parameters» (параметры модуля, определяемые пользователем), то появится дополнительное меню, состоящее из трех окон:

- Gate charge per module (заряд затвора модуля в мкКл);
- Collector — Emitter Voltage (напряжение «коллектор — эмиттер»);
- Number of switch per module (количество ключей в модуле: 1 — одиночный ключ, 2 — полумост, 6 — 3-фазный мост, 7 — 3-фазный мост с тормозным чоппером).

Для корректной работы DriverSel требуется указать два значения заряда затвора: для напряжения открывания транзистора +15 В и напряжения запирающего —8 В.

Величина резистора затвора R_G необходима для вычисления пикового тока управления. На основании полученных данных программа будет выбирать драйвер с соответствующим значением предельного тока. Если номиналы

Number of	Driver Type	$I_{outAVmax}$	$I_{outPEAK}$	R_{Gmin}	V_S	V_{IH}	$V_{G(off)}/V_{G(on)}$	V_{isollO}	dv/dt	Channel
3	SKYPER, SKYPER PRO	50	2,3	1,6	15	15	+15 / -8	4000	50	2
3	SKHI 24	80	2,3	1,5	15	15	+15 / -8	4000	50	2
3	SKHI 23/17	50	2,3	2,7	15	5 / 15	+15 / -8	4000	75	2

Рис. 3. Рабочее окно программы DriverSel

резисторов для режимов включения и выключения R_{Gon}/R_{Goff} различаются, то нужно использовать минимальное значение. Если величина резистора неизвестна, можно задать величину 10 Ом, при этом необходимо учесть, что рекомендуемое минимальное значение R_{Gmin} будет показано в результатах расчетов.

Если ввести требуемые данные, в качестве результата вы получите рекомендацию «Suggestion for SEMIKRON IGBT Driver», представленные в нижней части рис. 3:

- Number of Drivers — необходимое для данного модуля количество схем управления (например, 3 полумостовых драйвера для 3-фазного модуля);
- $I_{outPEAK}$ — пиковое значение выходного тока драйвера, определяемое по формуле $I_{outPEAK} = V_{GE}/R_G$;
- $I_{outAVmax}$, R_{Gmin} , V_S — справочные значения среднего тока, минимального резистора затвора и напряжения питания для драйвера данного типа.

Программа выдает замечание «A suitable driver could not be found», если для заданных условий корректно выбрать устройство управления невозможно. Это может быть в случае, если суммарный заряд затвора оказывается недопустимо большим (большое количество параллельно соединенных модулей), слишком велика частота коммутации, либо указанный резистор затвора меньше минимально возможного значения.

Заключение

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 обязатель-

ное наличие гальванической развязки сигналов управления и сигналов неисправности, а также включение в состав драйвера изолированного DC/DC-конвертора. Все это позволяет создавать силовые преобразовательные устройства с максимальным уровнем функциональности и надежности.

Компания SEMIKRON, являющаяся пионером в области разработки программ для разработчиков, выпустила новый полезный программный продукт — DriverSel. Программа является быстрым и эффективным средством, позволяющим оптимально выбрать устройство управления, исходя из условий эксплуатации и конфигурации силового модуля. Причем это необязательно должен быть модуль производства SEMIKRON — программа позволяет выбрать драйвер для любого силового ключа или параллельного соединения ключей при условии описания характеристик затвора.

Пользоваться программой предельно просто, для работы требуется минимальная информация о типе силового модуля, частоте переключения и величине резистора затвора. Программа снабжена пояснениями по всем пунктам меню.

Программа DriverSel вместе с интегрированной базой данных может быть скачана с сайта www.semikron.com. База данных программы обновляется постоянно.

Литература

1. IGBT and MOSFET SKHI Drivers. Integrated Components and Integrated Solutions. SEMIKRON International.
2. Hermwille M., Grasshoff T. SKYPER — Modern and simple driver // Power System Design. May 2004.
3. Колпаков А. Программа теплового расчета SemiSel // Компоненты и технологии. 2002. № 9.
4. Колпаков А. SEMIDRIVER — драйверы на все случаи жизни // Компоненты и технологии. 2004. № 6.