

Базовые платы драйверов IGBT

от ST-Concept

В статье описывается новая концепция швейцарской компании ST-Concept Technologie AG — две базовые платы 2BV0108T и 2BV0435T, предназначенные для ускорения разработки драйверов IGBT-модулей и силовых MOSFET. Платы представляют собой «конструктор» двухканального драйвера IGBT, выполненный на основе недорогого ядра нового поколения SCALE-2. Для подключения такого драйвера к силовому модулю достаточно смонтировать соответствующие резисторы затвора и подключить его к источнику питания и управляющей электронике. Базовые платы укомплектованы документацией, включая электрические, монтажные схемы и управляющие файлы для изготовления печатной платы, что существенно сокращает сроки разработки драйверов с самыми современными техническими характеристиками на рабочие напряжения 600, 1200, 1700 В. Описаны работа и основные характеристики базовых плат, интерфейсы, методика подготовки к работе совместно с силовыми модулями в составе двухуровневых, трехуровневых топологий и параллельных соединений модулей.

Анатолий Бербенец

berben@efo.ru

Разработка драйвера «вручную»

Драйвер IGBT/MOSFET полупроводникового ключа — одна из главных функциональных частей любого силового преобразователя, определяющая качество и надежность его работы. Как известно [1], драйвер выполняет следующие основные функции в схеме мощного преобразователя:

- Сопряжение низковольтных маломощных сигналов управляющего контроллера с высоковольтной силовой схемой (управление затворами IGBT/MOSFET-ключей).
- Гальваническое разделение низковольтной управляющей и высоковольтной силовой части схемы преобразователя.
- Предоставление информации о состоянии силовых ключей с диагностикой аварийных ситуаций с выработкой сигналов, обеспечивающих защиту.

Цикл создания IGBT-драйвера состоит из следующих этапов: разработка функциональной схемы; расчет ключевых параметров драйвера; расчет/моделирование элементов электрической схемы; выпуск эскизной схемы; разработка топологии печатной платы; изготовление макетов; проведение испытаний; корректировка схемы и топологии т.д. Очевидно, что процесс разработки, результатом которого должна стать рабочая документация на драйвер, достаточно трудоемкий. А если принять во внимание, что драйвер необходимо адаптировать к силовому модулю с его конкретными характеристиками и обеспечить при этом его надежную защиту в аварийных режимах, понятно, что задача разработки усложняется еще больше. Тем не менее, разработчики (в частности отечественные) предпочитают изготавливать собственные IGBT-драйверы — в основном, для силовых преобразователей на рабочие напряжения 600, 1200, 1700 В, мотивируя это, прежде всего, тем, что готовый (покупной) драйвер стоит дороже.

Использование в качестве основы схемы базовой платы драйвера новейшего фирменного ядра SCALE-2 [1] позволяет создать недорогой двухканальный драйвер с передовыми характеристиками в кратчайшие сроки. Важно отметить, что такой драйвер имеет электрический интерфейс для работы в составе 2-, 3- и многоуровневых топологий инверторов, а также для управления параллельными соединениями силовых модулей.

Базовая плата — шесть шагов к успеху

Процесс разработки и включения драйвера на основе базовой платы ST-Concept образно назвала «Шесть шагов к успеху» — по количеству подготовительных этапов по включению драйвера. Вот эти шаги:

1. Выбор одной из двух базовых плат 2BV0108T или 2BV0435T [5, 6] в зависимости от типа применяемого модуля и рабочего напряжения. Расчет при необходимости резисторов затвора для цепей включения и выключения и их монтаж на базовую плату. В печатной плате предусмотрены места для монтажа резисторов двух типов — с аксиальными выводами и для поверхностного монтажа.
2. Подключение платы драйвера к силовому IGBT/MOSFET-модулю посредством разъемов X1 (канал1), X2 (канал2).
3. Подключение платы драйвера к управляющей электронике посредством разъема X3 и к питающему напряжению +15 В.
4. Выбор режима работы драйвера посредством коммутации вывода MOD (на землю, либо оставив плавающим +15 В). В первом случае получим режим «полумост» — управление полумостовой топологией силового модуля, во втором — «прямой», т. е. независимое управление каждым из двух каналов.
5. Диагностика функционирования базовой платы драйвера: проверка выходного напряжения, по-

даваемого на затворы в состоянии «выключено» (определяется используемым ядром драйвера — 2SC0108T или 2SC0435T). Выходное напряжение состояния «включено» составляет +15 В. Измеряется также ток, потребляемый платой в двух режимах — с подачей тактовой частоты и без.

6. До запуска системы в работу рекомендуется также проверить каждый силовой модуль на циклическую нагрузку. Обычно достаточно использовать метод одиночного или сдвоенного (double-pulse) импульса. Рекомендуется удостовериться, что режимы работы силового модуля находятся в пределах «Области безопасной работы» (т.н. SOA) для наилучших условий применения. На этом же этапе необходимо провести тест каждого силового модуля на короткое замыкание. После этого система может быть включена в целом.

Основные характеристики базовых плат драйверов

Выпускаются и доступны для заказа 2 типа базовых плат драйверов (БПД) — 2BV0108T и 2BV0435T, внешний вид которых приведен на рис. 1 и 2 соответственно.

Платы принципиально различаются типом использованного ядра драйвера. В первой БПД используется ядро двухканального драйвера на ток затвора до 8 А и с выходной мощностью до 1 Вт на канал типа 2SC0108T. Вторая плата драйвера использует более мощное ядро 2SC0435T с максимальным током

в каждом канале 35 А и мощностью 4 Вт на канал. Соответственно этим параметрам отличаются области применения БПД. Плата 2SC0108T предназначена для управления IGBT-модулями 34, 62, 17 мм, сдвоенными (dual) IGBT-модулями и модулями семейства EconoPACK+. Базовая плата 2SC0435T предназначена для работы со следующими типами IGBT-модулей:

- 62-мм IGBT-модули;
- 130×140 мм сдвоенные IGBT-модули;
- 130×140 мм одинарные IGBT модули;
- 190×140 мм одинарные IGBT модули;
- 17-мм сдвоенные IGBT-модули;
- PrimePACK IGBT-модули;
- EconoPACK+ IGBT-модули.

Каждая из базовых плат имеет 3 модификации, отличающиеся рабочими напряжениями IGBT-модулей, для которых они предназначены, три стандартных промышленных градации 600, 1200, 1700 В:

- 2BV0108T2Ax-06;
- 2BV0108T2Ax-12;
- 2BV0108T2Ax-17;
- 2BV0435T2Ax-06;
- 2BV0435T2Ax-12;
- 2BV0435T2Ax-17.

Габаритные размеры платы 2BV0108T 133×46×29 мм, платы 2BV0435T — 133×70×29 мм. Пример габаритного чертежа для платы 2BV0108T приведен на рис. 3.

Функциональная схема БПД

Укрупненная функциональная схема БПД приведена на рис. 4 на примере 2BV0108T. Схема построена на основе нового драйверного ядра CT-Concept, получившего название SCALE-2. Новое ядро является развитием широко применяемых в промышленности ядер SCALE и драйверов на их основе. Подробнее о характеристиках и особенностях драйверов SCALE-2 можно почитать в [1, 3, 4]. Отмечу только, что новое ядро драйвера SCALE-2 по сравнению со SCALE имеет существенно

меньшее время задержки включения/выключения (<80 нс) при величине джиттера не более 2 нс во всем диапазоне рабочих условий и при полном размахе в 25 В (-10...+15 В). В частности, максимальная частота переключения драйвера 2SC0108T составляет 50 кГц.

Базовая плата драйвера содержит все необходимые компоненты для оптимального и безопасного управления IGBT- или MOSFET-модулями:

- элементы ограничения напряжения на затворе каждого канала;
- диоды активной защиты превышения напряжения на затворах при выключении;
- схемы контроля напряжения коллектор-эмиттер V_{ce} с целью защиты силового транзистора от короткого замыкания;
- входной электрический разъем X3 для связи с контроллером;
- два выходных электрических разъема X1 и X2 для подключения силовых ключей;
- компоненты для настройки уровней срабатывания защиты при выключении;
- компоненты настройки времени отклика каналов и времени перекрытия каналов (dead time) при работе в режиме полумоста.

Для включения платы драйвера в работу требуется только смонтировать на предусмотренные для этого места 4 резисторов затвора $R_{on/off}$ ограничивающих ток затвора силовых ключей при включении и выключении, и установить требуемое ядро драйвера, т. к. в комплект поставки базовой платы модуль драйвера не входит и заказывается отдельно.

Интерфейсные разъемы X1, X2, X3

Как уже упоминалось выше, для связи с внешними элементами преобразователя на базовой плате предусмотрены 3 разъема. В двух 6-контактных X1 и X2 задействованы только 3 контакта для соединения с коллектором, эмиттером и затвором силового тран-

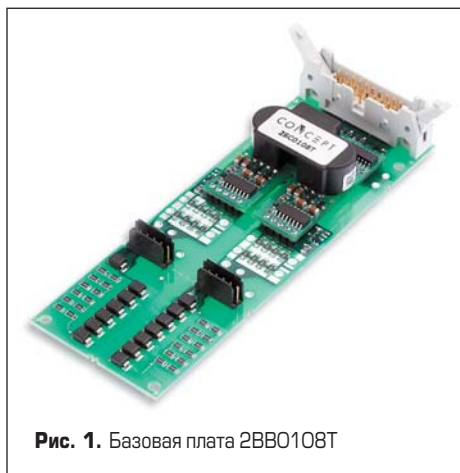


Рис. 1. Базовая плата 2BV0108T

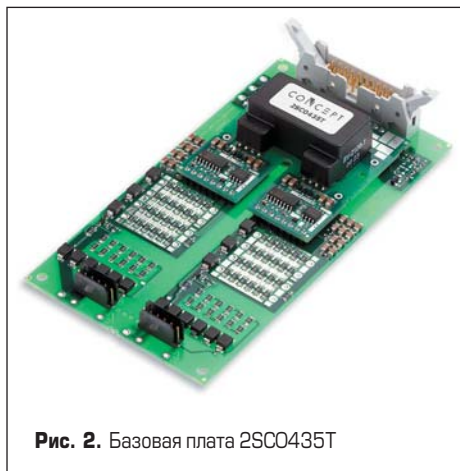


Рис. 2. Базовая плата 2SC0435T

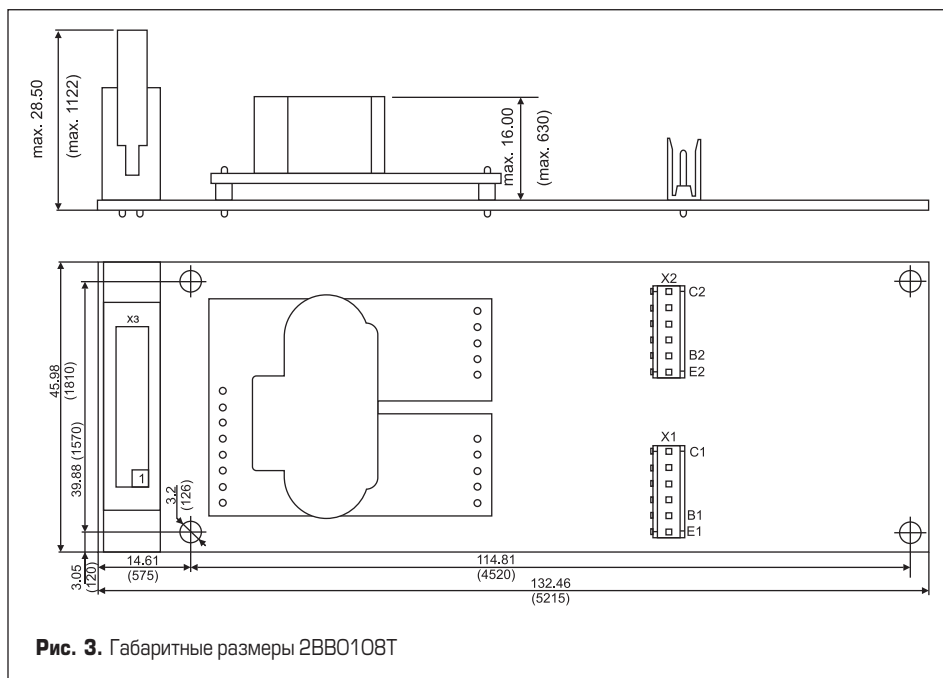


Рис. 3. Габаритные размеры 2BV0108T

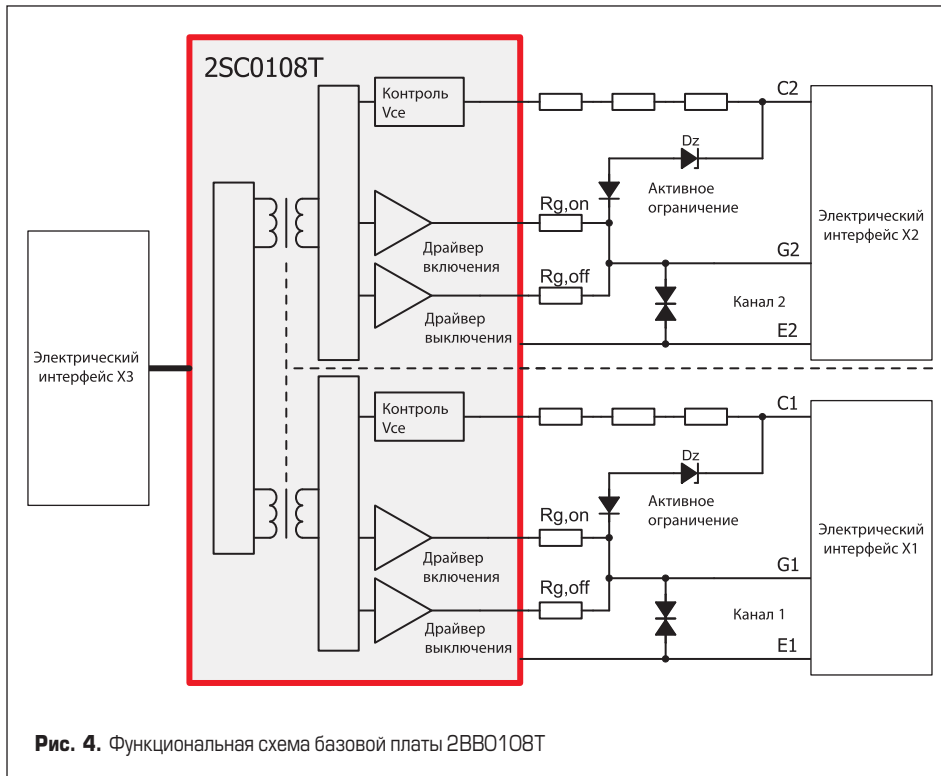


Рис. 4. Функциональная схема базовой платы 2BBO108T

зистора каждого из каналов, причем незадействованные контактные штыри разъема не установлены для обеспечения требуемого безопасного зазора по поверхности (creepage distance = 12,9 мм), что определяется максимальным рабочим напряжением силового транзистора. В документации приведен рекомендуемый тип разъемов X1 и X2. Третий, X3, является стандартным 20-контактным разъемом DIC20 и имеет следующие группы контактов (рис. 5):

- 10 контактов GND (ОБЩ) — все нечетные контакты соединителя со стороны базовой платы электрически соединены.

- Два контакта V_{ce} для подключения источника питания +15 В.
- 2 контакта INA и INB входных сигналов драйвера каждого канала (PWM1 и PWM2).
- Два контакта Fault1 и Fault2 сигналов статуса выходов каждого канала — сигналы ошибки (аварийного состояния выходов).
- Один контакт MOD выбора режима работы драйвера (режимы «полумост»/«прямой»).
- Один контакт TB регулировки времени блокирования драйвера после поступления сигнала ошибки (например, в случае короткого замыкания). По умолчанию это время

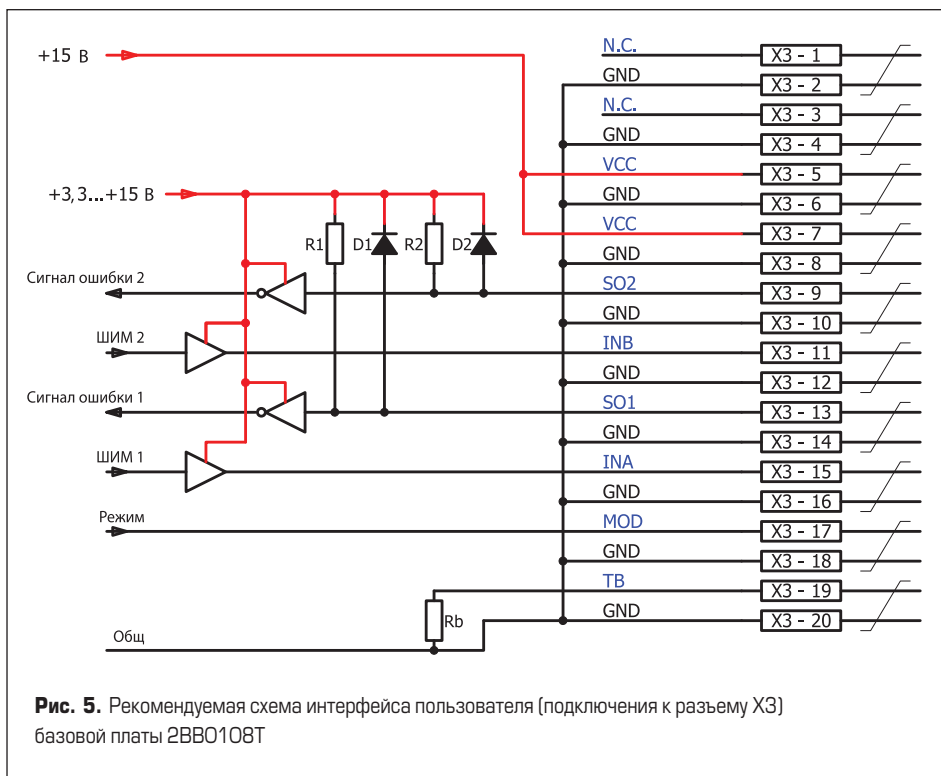


Рис. 5. Рекомендуемая схема интерфейса пользователя (подключения к разъему X3) базовой платы 2BBO108T

составляет 90 мс. Подключением резистора R_b между контактами TB и GND это время можно уменьшить до 9 мс ($R_b = 0$) со всеми промежуточными значениями.

Все входы интерфейса X3 имеют защиту от статического электричества, более того, все они обладают характеристикой типа триггер Шмитта.

Специфические характеристики драйверов на основе БПД SCALE-2

Рассмотрим подробнее особенности работы драйвера на основе базовой платы с точки зрения встроенных защитных функций, которые улучшены в драйверном ядре SCALE-2. Конечно, все драйверы на базе этого семейства обладают и стандартными защитными функциями драйверов IGBT, такими как: контроль напряжения коллектор-эмиттер силового транзистора для защиты от короткого замыкания; блокировка канала драйвера в случае аварийной ситуации с последующим восстановлением (Operation inhibit after fault); блокировка в случае понижения питающего напряжения; обеспечение сигнала состояния (статуса) драйверного канала(ов). Новой защитной функцией драйверов SCALE-2 является так называемое улучшенное активное ограничение (active clamping) напряжения коллектор-эмиттер IGBT-транзистора в режиме выключения, что особенно важно в случае защиты транзистора от короткого замыкания или при коммутации больших токов и постоянных напряжений в инверторных схемах. Суть функции активного ограничения состоит в частичном включении силового ключа на время, когда напряжение на его коллекторе превышает предустановленное значение. Транзистор на время включения переходит в линейный режим работы с существенно меньшей рассеиваемой мощностью. Подробнее эта функция рассмотрена в [7]. Базовая плата 2BBO108T имеет функцию активного ограничения. Оснащение драйвера этой функцией позволяет более эффективно использовать IGBT-модули путем повышения частоты переключения с соответствующим снижением коммутационных потерь.

Функциональная схема контроля напряжения коллектор-эмиттер (V_{ce} Monitoring), встроенная в базовые платы 2BBO108T и 2BBO435T, приведена на рис. 4. Напряжение коллектор-эмиттер обоих каналов измеряется с помощью резистивных цепей. Отсчет V_{ce} начинается по истечении некоторого времени задержки (response time) с момента подачи на затвор силовых транзисторов включающего напряжения драйвера (рис. 6). Если величина измеренного напряжения V_{ce} больше предустановленного порогового значения V_{th} , драйвер определяет это как состояние короткого замыкания и выставляет сигнал на выводе Sox. Соответствующий силовой транзистор немедленно запирается. IGBT-транзистор остается в выключенном состоянии все время, пока на выходе Sox присутствует сигнал блокировки, который, в свою очередь, определяется наличием соотношения $V_{ce} > V_{th}$. Схемы контроля V_{ce} действуют независимо по каждому каналу.

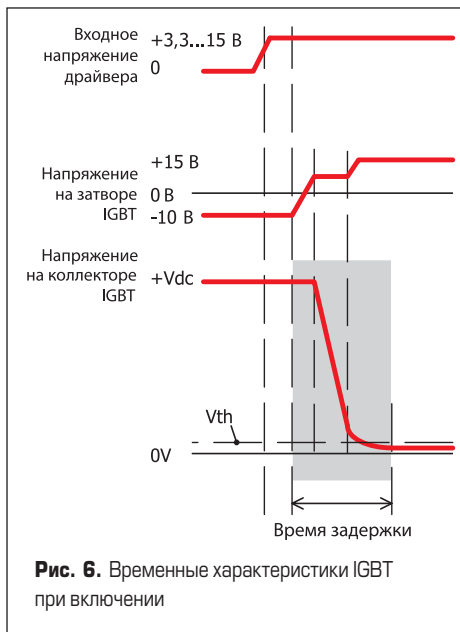


Рис. 6. Временные характеристики IGBT при включении

Необходимо отметить, что время задержки, по истечении которого измеряется V_{ce} , увеличивается с уменьшением постоянного напряжения питания инвертора: ниже 500 В (для версий 1200 и 1700 В) и ниже 400 В (для 600-В версии). Функция контроля напряжения коллектор-эмиттер предназначена только для защиты IGBT-транзистора от короткого

замыкания и не предназначена для защиты от перегрузки по току, которая имеет более низкий приоритет и может быть легко реализована в контроллере преобразователя.

Заключение

- Две базовые платы 2ВВ0108Т и 2ВВ0435Т, представляющие собой «конструктор» двухканального драйвера IGBT, позволяют сократить время разработки драйверов силовых ключей и ускорить выход продукции на рынок.
- Для включения базовой платы в работу необходимо смонтировать резисторы затвора и установить ядро драйвера. Резисторы и ядро драйвера не входят в комплект поставки.
- Базовые платы 2ВВ0108Т и 2ВВ0435Т выпускаются для управления IGBT на рабочие напряжения 600, 1200, 1700 В. Выходная мощность драйверов базовой платы составляет 1 и 4 Вт на канал при токах 8 и 35 А на канал соответственно.
- Драйвер базовой платы построен на основе новейшего ядра SCALE-2 и обладает всеми его техническими характеристиками, такими как малое время задержки вкл/выкл (до 80 нс) и низкий джиттер (до единицы нс), включая мониторинг напряжения коллектор-эмиттер и улучшенное актив-

ное ограничение напряжения коллектор-эмиттер при выключении и в стационарных режимах работы.

- Платы драйверов 2ВВ0108Т и 2ВВ0435Т поддерживают 2-, 3-, многоуровневые и параллельные топологии соединения силовых ключей.
- Платы укомплектованы документацией, включая электрические схемы, перечень элементов, габаритные чертежи, послонные чертежи топологии, управляющие файлы для изготовления печатной платы.

Литература

1. Бербец А. Драйверы СТ-Concept для силовых IGBT- и MOSFET-модулей на базе нового ядра SCALE-2 // Силовая Электроника. 2009. № 5.
2. www.Igbt-Driver.com
3. Description and Application Manual for SCALE Drivers, CONCEPT
4. Data sheets SCALE-2 driver core 2SC0108T, CONCEPT
5. 2ВВ0108Т Description and Application Manual, CONCEPT
6. 2ВВ0435Т Description and Application Manual, CONCEPT
7. Advantages of Advanced Active Clamping // Power Electronics Europe. 2009. November/December.