

Унифицированная серия драйверов для IGBT-модулей

Надежная работа преобразователей частоты и импульсных источников питания на основе IGBT во многом определяется как надежностью применяемых силовых ключей, так и организацией правильного управления и защиты IGBT-модулей. Эти функции и обеспечиваются драйверами управления IGBT.

В данной статье представлена последняя серия драйверов, разработанных в ОАО «Электровыпрямитель» и применяемых в новой серии преобразователей частоты «Омега-2».

**Виталий Червенков
Алексей Клоков
Вячеслав Мускатиньев**

martin@moris.ru

Введение

Драйвер управления IGBT является промежуточным согласующим устройством между процессором (схемой управления) и силовыми ключами. Драйвер предназначен для выполнения двух основных функций:

1. Формирование сигнала управления на затворе IGBT в соответствии с командами процессора.
2. Диагностика состояния (наличие или отсутствие тока перегрузки), своевременное выключение транзистора и передача сигнала об аварии IGBT на процессор.

Параметры и функциональные особенности драйверов определяются свойствами IGBT, который управляется данным драйвером. Они зависят от класса и тока коллектора транзистора, частоты коммутации и схемы силовой части преобразователя. Для некоторых недорогих преобразовательных устройств, особенно для маломощных импульсных источников питания, для управления IGBT могут применяться драйверы, в которых вообще отсутствует функция диагностики перегрузки транзистора.

Однако в сложных преобразователях, предназначенных для работы с высокими мощностями, крайне необходима высокоэффективная система защиты модулей от перегрузки и короткого замыкания. Несвоевременное обнаружение тока перегрузки и недостаточно эффективный метод вывода транзистора из этого состояния («жесткое» выключение тока короткого замыкания) могут привести не только к выходу из строя модуля, но и повреждению других элементов преобразователя [1]. Драйвер, как непосредственно связанный с силовым ключом элемент схемы, является наиболее предпочтительным устройством для мониторинга состояния IGBT.

В связи с увеличением значения номинального рабочего тока на единичный ключ повышаются требования к конструкции силовых шин, паразитная индуктивность которых оказывает большое влияние на потери мощности и величину индуктивных выбросов при коммутации IGBT. Наилучшие результаты, безусловно, приносит применение между IGBT-модулями и фильтром питания плоскопараллельных шин в виде «сэндвича» [2]. При этом, если возникает ток короткого замыкания, даже малой индуктивности плоскопараллельных шин достаточно, чтобы при резком выключении IGBT возник импульс

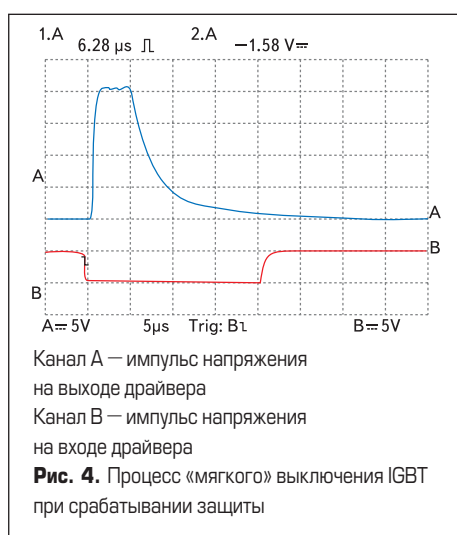
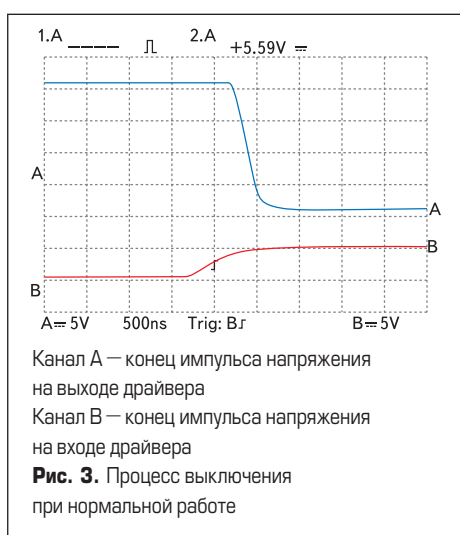
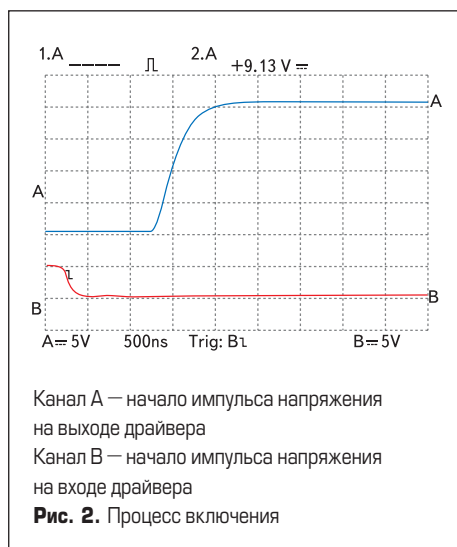
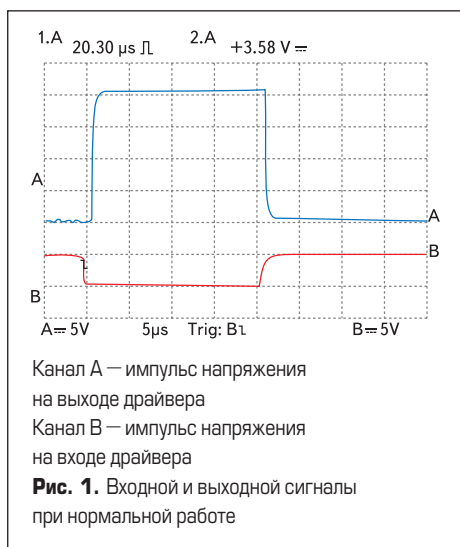
перенапряжения, который в большинстве случаев приводит к выходу транзисторного ключа из строя. Поэтому выключение IGBT при коротком замыкании должно происходить по определенному алгоритму («плавное» или «мягкое» выключение), который обеспечивается характеристиками драйвера.

Кроме перечисленных, правильно построенный драйвер управления выполняет дополнительные функции (включая самодиагностику — мониторинг питания), направленные на минимизацию вероятности выхода из строя дорогостоящего IGBT-модуля [3].

В ОАО «Электровыпрямитель» разработана серия драйверов для управления IGBT-модулями на токи от 25 до 1600 А и напряжения до 1200 В. Все драйверы выполняют одинаковые главные функции, а именно:

- обеспечивают включение транзистора низким уровнем ТТЛ из системы управления с частотой переключения до 20 кГц;
- обеспечивают на затворе транзистора отпирающее напряжение не ниже +17 В, задержка включения не превышает 1 мкс, время нарастания напряжения — не более 0,4 мкс;
- обеспечивают на затворе транзистора запирающее напряжение не выше -5 В, задержка выключения не превышает 0,4 мкс, время спада напряжения — не более 0,2 мкс;
- обеспечивают защиту транзистора при перегрузке по току или коротком замыкании в нагрузке, определяемом по ненасыщенному состоянию транзистора, путем плавного его запираения. Задержка срабатывания защиты — 3 мкс, задержка начала выключения — 4,5 мкс, время спада напряжения — около 8 мкс;
- обеспечивают защиту транзистора от пробоя при выбросе напряжения на коллекторе выше 1000 В методом частичного открытия IGBT;
- ограничивают напряжение между затвором и эмиттером на уровнях +18 В и -6 В. Характерные осциллограммы приведены на рис. 1-4.

Кроме того, все драйверы передают в систему управления сигнал об аварийном выключении транзистора и об опасном снижении напряжения питания драйвера. Схема защиты сбрасывается низким уровнем ТТЛ из системы управления. Знак выходного напряжения драйверов индицируется светодиодом



на плате драйвера или адаптера: зеленым цветом — для положительного напряжения, красным — для отрицательного.

Входные цепи всех драйверов идентичны, входные и выходные сигналы поступают через оптопары, обеспечивающие изоляцию при разности потенциалов входных и выходных цепей драйверов до 2500 В. К системе управления драйверы подключаются через вилку типа WF-6, кабельная розетка типа NU-6. Назначение контактов приведено в таблице.

Питание выходных цепей драйверов осуществляется симметричным прямоугольным напряжением с амплитудой 12 В и частотой 40 кГц, подаваемым на первичную обмотку изолирующего трансформатора с блока питания через вилку типа WF-2, кабельная розетка типа NU-2. В качестве блока питания может использоваться плата ДЖИЦ.301411.107, также разработанная в ОАО «Электровыпрямитель». Переменное напряжение со вторичной обмотки преобразуется в постоянные напряжения +6 В, +18 В и -6 В.

Выходные цепи всех драйверов подобны и отличаются только числом параллельно соединенных транзисторов в выходном усилительном каскаде, зависящем от мощности управляемого модуля, а также способом подключения к модулю.

Большинство зарубежных фирм производит драйверы, предназначенные для крепления непосредственно на корпус модуля для по-

вышения помехоустойчивости силовой части преобразователя. Драйверы ОАО «Электровыпрямитель», предназначенные для управления мощными IGBT-модулями в корпусах 130×140 и 140×190 мм, разделены на две части: собственно плата драйвера и адаптер. Единственной зарубежной фирмой, использующей подобное разделение драйвера, является фирма Еures. По этой концепции, часть элементов драйвера (высоковольтные диоды, защитные цепи затвора) выносятся на отдельную плату, которая крепится непосредственно на модуль, а драйвер располагается в любом удобном месте около модуля. Данное решение упрощает разделение высоковольтных цепей диагностики IGBT и низковольтной части драйвера. Кроме этого,

защитные цепи затвора максимально приближены к управляющим выводам затвора и эмиттера модуля, что минимизирует наводки в цепях управления и повышает эффективность защиты от перенапряжения.

Особенностью пары «драйвер-адаптер» разработки ОАО «Электровыпрямитель» является то, что на плату адаптера вынесен также выходной усилительный каскад. Это позволяет для всех исполнений модулей применять один и тот же драйвер, меняя только адаптер (или его параметры для разных модулей в одних и тех же конструктивных исполнениях).

Исполнения драйверов.

1. Драйвер ДЖИЦ.687252.054 одноканальный, габаритные размеры 100×45×17 мм, амплитуда выходного тока до 5 А, выходные контакты — вилка типа MPW-4, кабельная розетка типа MHU-4, предназначен для одиночных ключей и чопперов на токи от 50 до 600 А и напряжение до 1200 В в корпусах 34×94 и 61,5×106,5 мм.
2. Драйвер ДЖИЦ.687253.321 двухканальный, габаритные размеры 100×95×17 мм, амплитуда выходного тока до 5 А, выходные контакты — вилка типа MPW-4, кабельная розетка типа MHU-4, предназначен для полумостов на токи от 50 до 300 А и напряжение до 1200 В в корпусах 34×94 и 61,5×106,5 мм.
3. Драйвер ДЖИЦ.687252.084 одноканальный, без выходного усилительного каскада и защитных цепей, габаритные размеры 70×45×17 мм, предназначен для работы в паре с одним из адаптеров, данные которых приведены ниже. Платы адаптеров крепятся винтами на выводы управления модуля. Платы драйверов могут находиться в любом удобном месте. Драйверы и адаптеры снабжены вилками типа WF-5 и соединяются кабелем с розетками NU-5.
 - 3.1. Адаптеры ДЖИЦ.687253.416 и ДЖИЦ.687253.417 одноканальные, габаритные размеры 65×62×17 мм, амплитуда выходного тока до 10 А, предназначены соответственно для левого и правого ключей полумостов и чопперов на токи от 400 до 1200 А и напряжение до 1200 В в корпусах 140×190 мм.
 - 3.2. Адаптер ДЖИЦ.687252.085 одноканальный, габаритные размеры 83×46×17 мм, амплитуда выходного тока до 15 А, предназначен для одиночных ключей на токи от 800 до 1600 А и напряжение до 1200 В в корпусах 140×190 мм.

Таблица. Назначение контактов

Контакт	Обозначение	Функция
X1:1	FAULT	Сигнал аварийного состояния драйвера. Если спустя время задержки (около 4 мкс) после подачи низкого уровня на вход IN напряжение между С и Е не стало ниже определенного значения (около 5,5 В), то импеданс относительно GND принимает низкое значение, а выходное напряжение драйвера становится отрицательным. Вход IN блокируется. Это означает перегрузку по току или короткое замыкание
X1:2	+5 В	Напряжение +5 В питания входных цепей
X1:3	GND	Общий провод питания входных цепей
X1:4	IN	Вход драйвера. Активен при высоком импедансе выхода FAULT. При высоком логическом уровне выходное напряжение драйвера отрицательно, при низком — положительно
X1:5	RES	Вход сброса аварийного состояния драйвера. Низкий логический уровень длительностью от 2 мкс сбрасывает выходной сигнал FAULT об аварийном заперении модуля и делает активным вход IN
X1:6	PC	Контроль напряжения питания выходных цепей. При напряжении ниже 25 В импеданс относительно GND принимает высокое значение, что должно восприниматься как опасное снижение выходных уровней драйвера

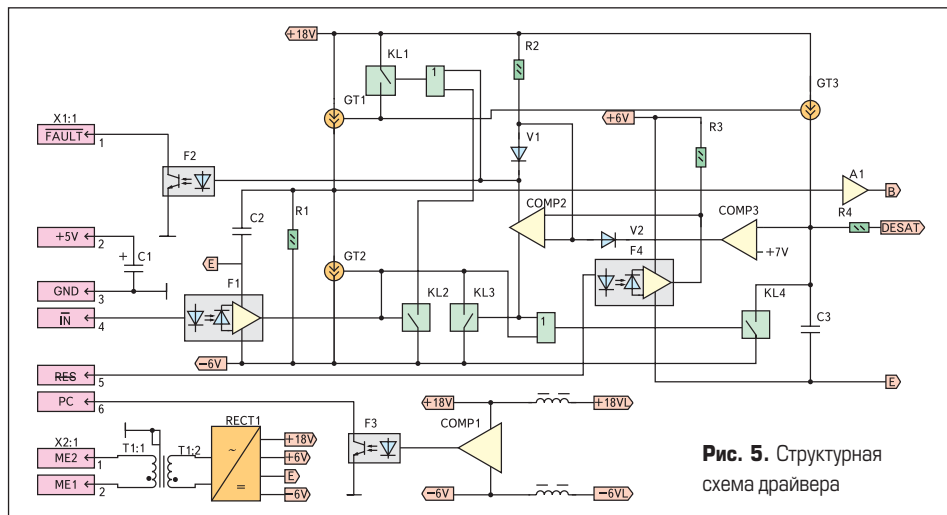


Рис. 5. Структурная схема драйвера

Все драйверы и адаптеры могут быть применены для управления аналогичных модулей других производителей. Платы драйвера, которые используются без адаптера, должны находиться вблизи управляемого модуля.

Структурные схемы драйвера и адаптера приведены на рис. 5 и 6.

Питающее переменное напряжение через разъем X2, трансформатор T1 поступает на выпрямитель RECT1. Компаратор COMP1 при нормальном выпрямленном напряжении поддерживает на выходе оптопары низкий уровень сигнала РС. При высоком уровне сигнала \overline{IN} на выходе оптопары F1 уровень высокий. При этом включен генератор тока GT2, а генераторы тока GT1, GT3 выключены, напряжение на конденсаторе C2 отрицательно, и через буферный усилитель A1 и выходные каскады драйвера (двухтактный эмиттерный повторитель V3, V4) оно поступает на затвор G модуля. Открытый ключ KL4 поддерживает отрицательное напряжение на входе компаратора COMP3. При низком уровне сигнала \overline{IN} генератор тока GT2 выключается, а GT1 и GT3 включаются. Конденсатор C2 быстро заряжается, положительное напряжение через буферный усилитель A1 и выходные каскады драйвера открывает транзистор модуля. Балластная емкостная нагрузка на выходе драйвера, конденсатор C6, нивелирует крутизну фронтов выходных импульсов при различной входной емкости модулей и предотвращает высокочастотный звон. Диоды V6, V7 обрезают выбросы напряжения на затворе, которые

могут возникнуть в процессе переключения модуля. Защитная цепочка R7, V9, V10 защищает модуль от высоковольтных выбросов на коллекторе, возникающих при заперении транзистора, приоткрывая транзистор на время выброса. Светодиод V8 — двухцветный. Если модуль нормально нагружен, напряжение на его коллекторе становится низким и ток генератора тока GT3 протекает через R4 и V5, а напряжение на конденсаторе C3 остается ниже порога срабатывания компаратора COMP3. При перегрузке модуля напряжение на C3 через некоторое время превышает порог, импульс с выхода COMP3 включает триггер, выполненный на компараторе COMP2 с положительной обратной связью. Ключи KL1 и KL3 замыкаются и выключают генераторы тока GT1 и GT3, после чего конденсатор C2 плавно разряжается через резистор R1, в результате транзистор модуля выключается мягко, что



Рис. 8. Адаптер ДЖИЦ.687252.085

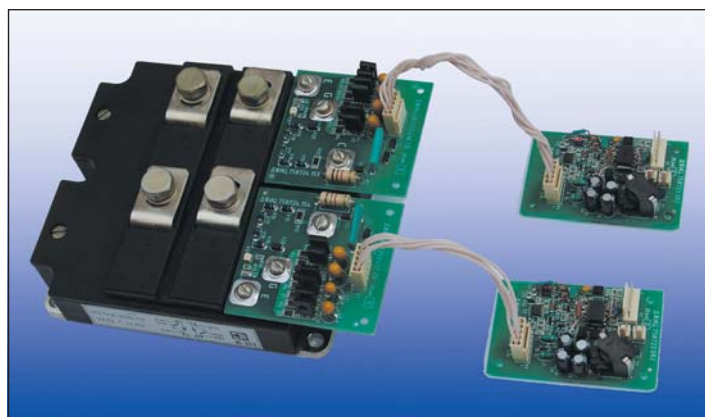


Рис. 7. Драйверы ДЖИЦ.687252.084 с левым и правым адаптерами ДЖИЦ.687253.416 и ДЖИЦ.687253.417

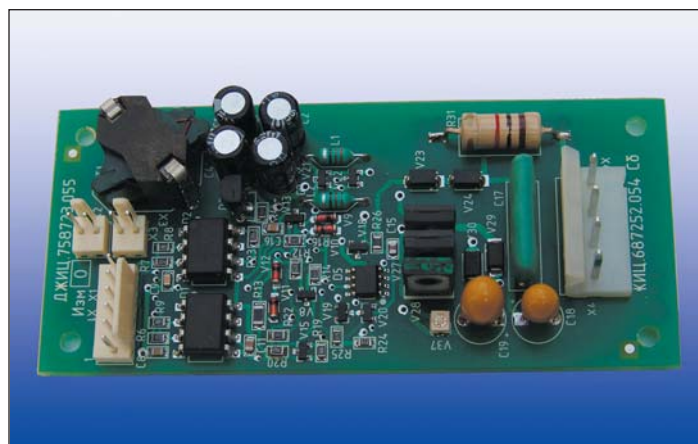


Рис. 9. Драйвер ДЖИЦ.687752.054

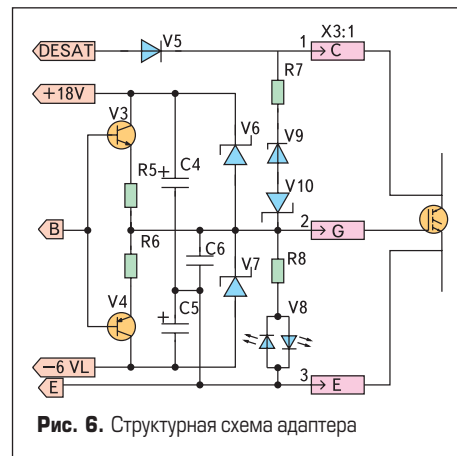


Рис. 6. Структурная схема адаптера

предпочтительнее резкого заперения в режиме короткого замыкания. Оптопара F2 включает низкий уровень сигнала \overline{FAULT} . Выход драйвера из состояния защиты осуществляется низким уровнем сигнала RES, который включает оптопару F4 и возвращает триггер в исходное состояние.

На рис. 7–9 приведены фотографии некоторых плат драйверов и адаптеров.

Заключение

Надежная работа силовых IGBT-модулей определяется не только надежностью самих полупроводниковых приборов, но и их правильным управлением и защитой. Поэтому всегда необходимо рассматривать надежность работы именно пары элементов преобразователя — IGBT и драйвера управления.

ОАО «Электровыпрямитель», предлагая широкую номенклатуру современных IGBT модулей, имеет возможность делать комплектные поставки модулей и драйверов.

Литература

1. Бормотов А. Т., Мартыненко В. А., Мускатиньев В. Г. Некоторые вопросы эксплуатации IGBT-модулей // Компоненты и технологии. 2005. № 5.
2. Schütze Th. Design Aspects for Inverters with IGBT High Power Modules // Eupec GmbH, Warstein. Germany. 1998.
3. Флоренцев С. Н., Аванесов В. М. Управление силовыми транзисторами с изолированным затвором // Электротехника. 2000. № 12.