

# EiceDRIVER —

## семейство микросхем высоковольтных драйверов IGBT и MOSFET

**В статье рассмотрено семейство микросхем драйверов компании Infineon Technologies для управления IGBT и MOSFET силовыми ключами инверторных схем с выходной мощностью до нескольких десятков киловатт. Области их применения — промышленные приводы, источники бесперебойного питания, индукционный нагрев, вентиляция, бытовая техника, электроинструменты. Приведены основные функциональные характеристики драйверов. Описаны особенности нового набора микросхем EiceDRIVER Compact на 600 В, ориентированного на применение в бытовой технике.**

**Анатолий Бербенец**

berben@efo.ru

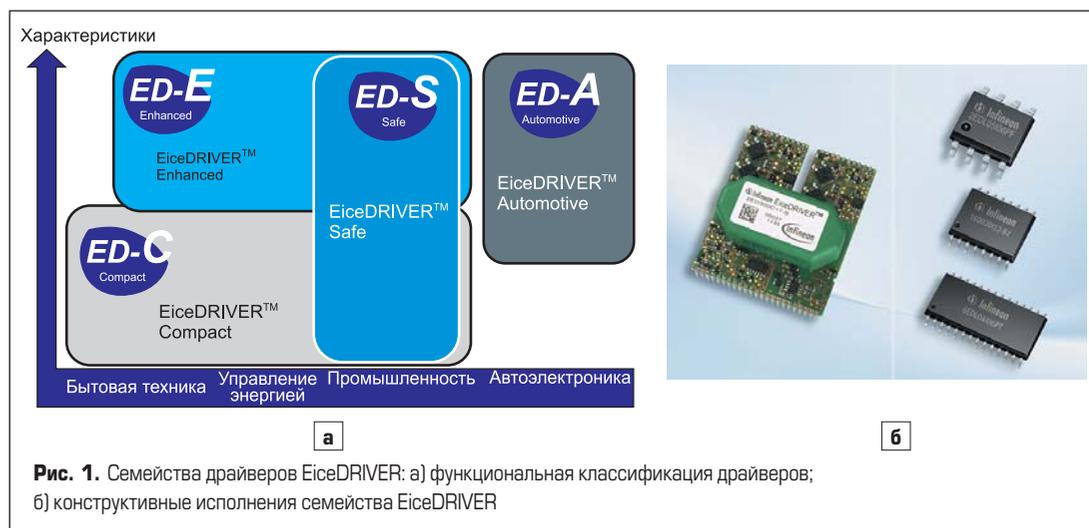
Infineon Technologies (IT) — крупнейший мировой производитель силовых полупроводников. Спектр выпускаемой компанией продукции включает силовые IGBT и диодно-тиристорные модули, дисковые тиристоры, силовые IGBT и MOSFET в дискретных корпусах и др. Диапазон рабочих токов этих устройств — 10–3600 А на один IGBT-ключ, рабочие напряжения 600–6500 В.

Менее известна выпускаемая уже более 10 лет группа компонентов, предназначенная для управления силовыми IGBT- и MOSFET-ключами, — драйверы. Основными функциями драйвера силового ключа являются обеспечение ключа требуемым током (мощностью) для включения/выключения с требуемой частотой и гальваническая развязка (изоляция) цепей управления и высоковольтных силовых цепей, подключенных к нагрузке. Семейство драйверов Infineon выпускается под торговой маркой EiceDRIVER и включает в себя несколько десятков полупроводниковых микросхем, а также драйверов модульного исполнения, разделенных на несколько

групп (рис. 1). В статье более подробно рассмотрено наиболее многочисленное и постоянно пополняемое семейство EiceDRIVER в микросхемном исполнении для промышленных и бытовых применений.

### Изоляционная характеристика драйвера

Позволим себе для начала небольшой терминологический экскурс, поясняющий такую часто упоминаемую характеристику драйвера, как вид (степень) изоляции. В полупроводниковой технологии существует несколько способов изоляции полупроводниковых структур, размещаемых на общей подложке. Наиболее распространенный способ — изоляция обратным смещенным *p-n*-переходом. Драйверы, построенные на основе технологии изоляции схем сдвига уровня (для питания верхнего ключа) посредством *p-n*-перехода, в принципе не обеспечивают гальванической изоляции, и такая схемотехника в EiceDRIVER не применяется. Используется два способа гальванического разделения входной



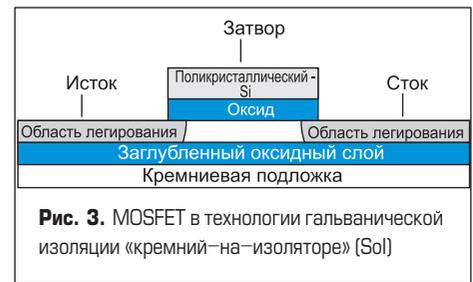
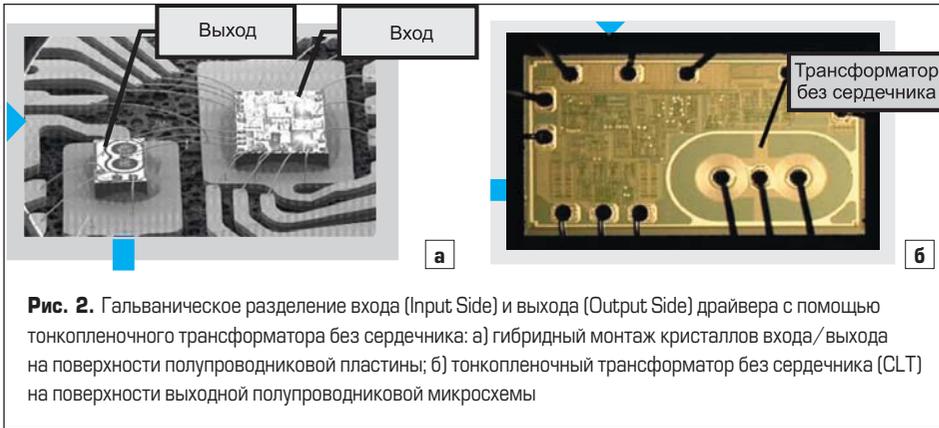


Рис. 3. MOSFET в технологии гальванической изоляции «кремний-на-изоляторе» (SoI)

Таблица 1. Характеристики компонентов технологии SoI

Компонент	Характеристика
CMOS аналоговые транзисторы	30 В/12 В/5 В
CMOS цифровые транзисторы	5 В
Sol-PIN-диод	30 В
Стабилитроны	5,2 В
Резисторы	18,5 Ом/квадрат — 7,5 Ом/квадрат
Конденсаторы	0,84 фФ/мкм <sup>2</sup>
Высоковольтный ускоряющий Sol-диод	600 В, -50 В
Высоковольтный Sol-транзистор	600 В (n-канал)

сигнальной и выходной высоковольтной частей драйверов: трансформаторный (Coreless Transformer) (рис. 2) и SoI — физическое разделение элементов схемы драйвера на уровне кристалла с размещением их в изолированных областях кремния, т. н. технология «кремний-на-изоляторе» (SoI-LS) (рис. 3). В качестве «дна» изоляционного островка компания IT использует утопленный слой двуоксида кремния (buried oxide), созданный на поверхности кремниевой подложки (silicon substrate). На рис. 3 показан пример формирования MOSFET на таком островке. В изолированных островках полупроводникового кристалла могут быть сформированы как низковольтные и высоковольтные транзисторы (CMOS), так и диоды, резисторы, конденсаторы, стабилитроны. В таблице 1 приведен диапазон реализуемых характеристик этих компонентов.

Термины, используемые для описания степени изоляции драйверов инверторных систем в соответствии с EN 50178 / IEC 61800-5-1:

- Функциональная изоляция (Functional Insulation) — изоляция между токоведущими частями системы, при которой обеспечивается ее работоспособность.
- Базовая изоляция (Basic Insulation) — изоляция между токоведущими частями, обеспечивающая защиту от электрического удара.
- Дополнительная изоляция (Supplementary Insulation) — изоляция, обеспечивающая защиту от электрического удара в случае выхода из строя базовой изоляции.
- Двойная изоляция (Double Insulation) — термин, описывающий одновременное наличие базовой и дополнительной изоляции.
- Усиленная изоляция (Reinforced Insulation) — изоляция, обеспечивающая защиту от электрического удара, эквивалентную двойной

изоляция. Может содержать несколько изоляционных слоев.

- Безопасная изоляция (Safe Insulation) — самый высокий уровень. Обычно подразумевает разделение токоведущих частей двойной или усиленной изоляцией.

### Номенклатура микросхем EiceDRIVER и характеристики

Семейство EiceDRIVER делится на четыре условных сегмента (рис. 1):

- EiceDRIVER Enhanced — драйверы в микросхемном исполнении с функциональным или базовым уровнем изоляции до 1200 В. Гальваническое разделение на основе интегрированного в полупроводниковый кристалл тонкопленочного трансформатора без сердечника (Coreless Transformer). Область применения — промышленные приводы, источники питания, коммерческие и сельскохозяйственные машины. Основные характеристики приведены в таблице 2. В эту же подгруппу включены новые драйверы для управления карбид-кремниевым (SiC) транзистором JFET CoolSiC.
- EiceDRIVER Compact — новое (2013 г.) семейство драйверов IGBT/MOSFET в корпусах DSO-8 и DSO-14, выпускаемых по технологии «кремний-на-изоляторе» с функциональным уровнем изоляции 600 В. Области применения — бытовая техника и другие бюджетные применения. Основные характеристики сведены в таблицы 3 и 4.
- EiceDRIVER Safe — два типа полумостовых (двухканальных) драйверов в модульном исполнении (на печатной плате) с усиленной изоляцией до 1700 В, с расширенными функциональными возможностями, встроенными защитными функциями и повышенными

характеристиками по току (30 А) для промышленных приложений (-40...+85 °С) на основе IGBT-модулей. Обозначение драйвера 2ED300C17-ST (табл. 2). Для использования этого драйвера с определенным IGBT-модулем потребуется еще плата-адаптер, на которой устанавливаются специфические для каждого модуля резисторы затвора, ограничительные диоды, бустерные схемы при необходимости и т. п.

- EiceDRIVER Automotive — специализированное семейство драйверов микросхемного исполнения для автомобильных IGBT-модулей HybridPack, производимых IT. Новое поколение включает в себя набор из двух микросхем: 1EDI2001AS — собственно драйвера и 1EBN1001AE — усилителя мощности на ток до 15 А. Диапазон рабочих температур -40...+125 °С, базовая изоляция [1].

### Функциональные характеристики драйверов EiceDRIVER Enhanced с изоляцией на основе интегрированного трансформатора без сердечника (CLT)

В группе EiceDRIVER Enhanced представлены одноканальные и двухканальные драйверы для управления полумостовыми конфигурациями силовых ключей [2]. Основные электрические характеристики приведены в таблице 2. Для наилучшего понимания этих данных

Таблица 2. Микросхемы драйверов EiceDRIVER – Enhanced с CLT-изоляцией

Наименование	Класс напряжения, В	Степень изоляции	Ток драйвера втекающий, А	Ток драйвера вытекающий, А	Задержка включения (макс.), нс	Корпус	Топология	T <sub>раб макс.</sub> °С	T <sub>раб мин.</sub> °С	Функциональные характеристики	
1ED020I12-F2	1200	функциональная	2	2	195	PG-DSO-16	Single	-40	105	RST, DESAT, RDY	
1ED020I12-B2		базовая			195					RST, DESAT, RDY	
1ED020I12-FT		функциональная			2000					RST, DESAT, RDY, TLTO	
1ED020I12-BT		базовая			2000					RST, DESAT, RDY, TLTO	
1ED020I12-F					205					RST, DESAT, RDY	
1EDI30J12CP (SiC JFET)		функциональная	4	4	106	PG-DSO-19		150	EN		
2ED020I12-F2	600	функциональная	2	2	195	PG-DSO-36	Dual	-40	125	RST, DESAT, RDY	
2ED020I06-FI										105	SD, Interlock
2ED020I12-FI										105	SD, Interlock, OpAmp,
2ED300C17-S (модуль)	1700	безопасная	30	30	-	AG-EICE-45	Half Bridge	-25	85	EN, Interlock, ITRIP	
2ED300C17-ST (модуль)								-40		EN, Interlock, ITRIP	

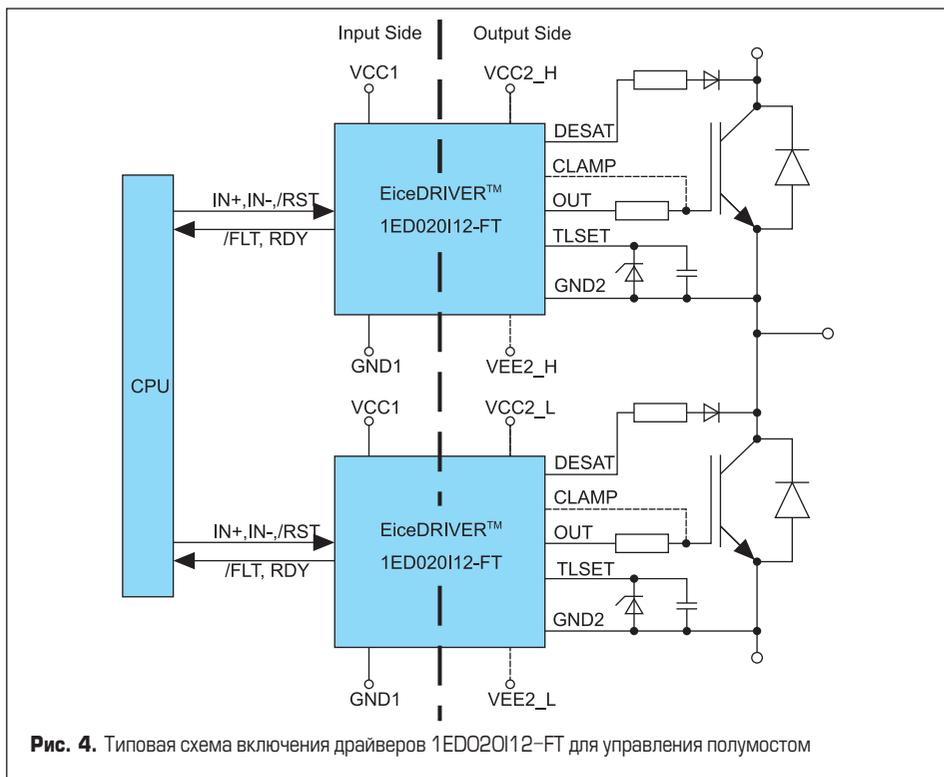


Рис. 4. Типовая схема включения драйверов 1ED020I12-FT для управления полумостом

рассмотрим подробнее функциональные возможности драйверов, набор которых в каждой из микросхем разный.

Разный набор таких характеристик приводит к разнообразию электрических характеристик драйверов. Например, одноканальный драйвер 1ED020I12-FT имеет время задержки включения/выключения ~2 мкс, а драйвер 1ED020I12-F2/B2 — 195 нс. Обусловлено это тем, что в первом драйвере встроена функция двухуровневого выключения (TLTO), требующая по принципу действия более длинного промежутка времени. Функциональные особенности группы EiceDRIVER Enhanced, в которую входит 10 типов микросхем, рассмотрим на примере наиболее функционально полной микросхемы 1ED020I12-FT. Типовая схема включения драйвера для управления полумостом приведена на рис. 4.

1ED020I12-FT — гальванически изолированный одноканальный IGBT-драйвер в 16-выводном корпусе PG-DSO-16-15 с выходным током до 2 А и рабочим напряжением 1200 В. Микросхема состоит из двух гальванически разделенных частей схемы (чипов). Для питания драйвера используется до двух источников питания. Входной чип может быть подключен к +5-В питанию микроконтроллера с CMOS логическими уровнями. Выходной чип электрически соединяется с затвором управляемого IGBT и, в общем случае, с двумя источниками питания положительного Vcc2 и отрицательного Vee2. Драйвер обеспечивает полную защиту силового ключа в случае короткого замыкания (КЗ) и токовых перегрузок, возможных в процессе работы.

В драйвере имеется функция защиты от перенапряжений на затворе при переключениях из-за эффекта Миллера (Miller Clamp function). Этот эффект возникает из-за наличия паразит-

ной емкости «коллектор–затвор», «эмиттер–затвор» транзистора. Наличие такой функции позволяет не использовать в некоторых применениях отрицательное запирающее напряжение при выключении транзистора и упростить таким образом источник питания драйвера верхнего ключа, применив простую схему подкачки заряда (booster) из диода и конденсатора.

В микросхеме 1ED020I12-FT имеется функция диагностики состояния IGBT-ключа по току посредством мониторинга напряжения «коллектор–эмиттер» с выдачей сигнала FAULT («Ошибка») в случаях превышения током заданного порога. Драйвер имеет функцию двухуровневого выключения (TLTO) с регулируемой задержкой, которая защищает силовой ключ от перенапряжений в случае выключения при перегрузке или КЗ. Аналогичная задержка действует и при включении для защиты от коротких импульсов помех. Драйвер имеет также вывод сигнала состояния драйвера RDY, который указывает на то, что микросхема драйвера подключена к питанию и функционирует правильно. В таблице 2 в столбце «Функциональные характеристики» использованы следующие сокращения:

• RST — функциональный вход, имеющий два назначения:

Функция 1 включает/выключает входной чип драйвера (силовой IGBT выключен, когда на выводе RST «лог. 0»). При этом по входу можно установить минимальную длительность управляющего сигнала для защиты от импульсных помех.

Функция 2 перезагружает статус выхода DESAT-FAULT, если логический уровень на выводе RST равен «0» в течение промежутка времени не менее  $T_{rst}$

• FLT — FAULT — сигнал «Ошибка» — выход с открытым коллектором, показывающий, что произошло событие выхода силового ключа из насыщения (выход FLT — «лог. 0», если напряжение «коллектор–эмиттер» ключа превысило заданный уровень, который для EiceDRIVER принят равным 9 В).

• RDY — вывод готовности к работе. Выход с открытым коллектором, показывающий «правильное» функционирование кристалла: RDY — «лог. 1», если напряжения питания на обоих чипах драйвера выше уровня UVLO и внутренний обмен между чипами идет без ошибок.

• UVLO — встроенная защитная функция, которая выключает выход драйвера в случае понижения питающих напряжений входного чипа  $U_{cc1}$  и выходного чипа  $U_{ee2}$  ниже определенного уровня (11 и 12 В соответственно).

• SD (Shut Down) — встроенная защитная функция, отключает силовой ключ, если выходной чип драйвера не подключен к источнику питания. Функция задействована в двухканальных драйверах.

• TLTO (Two-Level-Turn-Off) — функция «мягкого» выключения силового транзистора в два этапа (ступени), что снижает выбросы коллекторного напряжения силового ключа, особенно в режимах выключения при КЗ или токовых перегрузках. Эта функция есть только в двух микросхемах: 1ED020I12-FT и 1ED020I12-BT. Уровень первой ступени и длительность ее удержания задаются с вывода TLSET (вывод установки параметров двухуровневого выключения).

На рис. 5 приведены графики форм и соотношений сигналов на выводах драйвера: входного управляющего сигнала IN+, выходного OUT и TLSET в режиме двухступенчатого выключения. Видно, что выходное напряжение драйвера OUT начинает уменьшаться спустя некоторое время ( $T_{PD}$ ) после перехода управ-

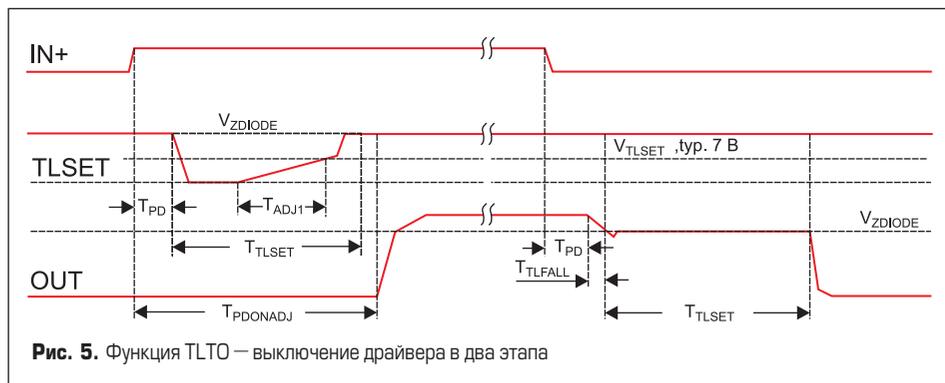


Рис. 5. Функция TLTO — выключение драйвера в два этапа



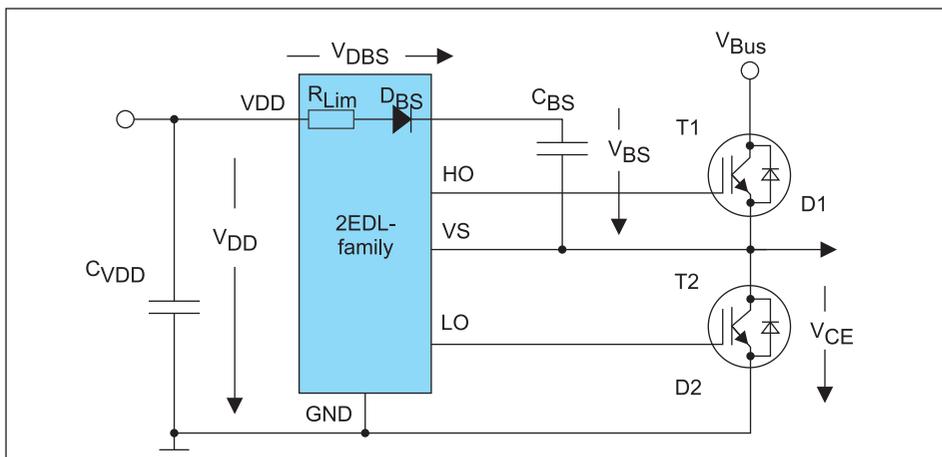


Рис. 9. Встроенный быстрый диод подкачки и резистор для питания верхнего канала драйвера

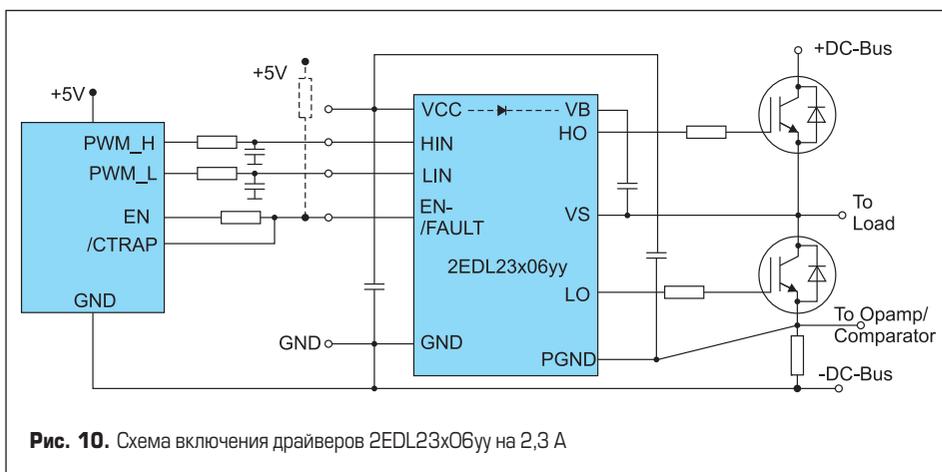


Рис. 10. Схема включения драйверов 2EDL23x06yu на 2,3 А

кристалл интегрирована схема зарядовой подкачки (Bootstrap Circuit), состоящая из высоковольтного быстродействующего низкоомного диода  $V_{BS}$  и ограничительного резистора  $R_{Lim}$  (рис. 9). С помощью этой цепочки и внешнего конденсатора  $C_{BS}$  реализуется питание канала драйвера, управляющего верхним силовым ключом полумоста, что позволяет исключить отдельный источник питания. Интеграция бутстрепной драйвер с наилучшим соотношением характеристик компактность/помехоэффективность/цена, что определило его применение в массовых продуктах бытовой техники, включая импульсные источники питания, компьютеры и бытовые приводы.

Микросхемы драйверов производятся на основе упоминавшейся выше технологии SoI («кремний-на-изоляторе») и насчитывают семь типов драйверов, отличающихся выходными токами, видом управляемых транзисторов,

набором функций и типом корпуса. Основные характеристики драйверов приведены в таблице 3. Драйверы в корпусе PG-DSO-8 имеют «плавающую» схему верхнего канала с ограниченным набором функций и электрических параметров. Драйверы для управления MOSFET и IGBT силовыми ключами разные и имеют разное обозначение (таблица 3). Драйвер 2EDL05I06BF хорошо подходит для использования в ключевых источниках питания, поскольку каждый из двух его каналов может управляться независимо (нет функций Interlock и Dead time), поэтому оба канала драйвера могут активироваться одновременно.

В обоих каналах более мощных драйверов с выходным током 2,3 А реализован наиболее полный набор функций и параметров, таких как функция выключения драйвера (EN) и индикации его состояния (FAULT), отдельная «силовая земля» (PGND) для тока затвора силового ключа, защита по токовой

перегрузке (OCP). Далее эти функции, а также упомянутые в последней колонке таблицы 3, рассмотрены подробнее.

**EN/FAULT**

Вывод микросхем 2EDL23x06Pu, который может использоваться либо для выключения драйвера, либо для считывания информации о его состоянии. Сигнал, поданный на вывод EN/FAULT, непосредственно управляет выходными каскадами драйвера. Когда на этом выводе «лог. 0», оба выхода драйвера устанавливаются в ноль, т. е. выключаются. Типовое время задержки по этому входу (EN) — 500 нс. Встроенный подтягивающий резистор, подключенный к этому выводу, выключает выходы драйвера, если вывод EN/FAULT плавающий, т. е. нигде не подключен. Этот же вывод может быть использован и в активном режиме — для считывания информации о статусе драйвера (функция FAULT) в том случае, когда происходит одно из двух событий:

- понижение напряжения питания  $V_{cc}$  ниже заданного уровня (UVLO);
- перегрузка по току (ITRIP) — сигнал FAULT поддерживается до тех пор, пока есть токовая перегрузка, и снимается после ее исчезновения с задержкой в 200 нс.

**PGND**

Вывод Power Ground (так называемая «силовая земля») напрямую подключается к источнику или эмиттеру нижнего силового ключа полумоста (рис. 10). Это позволяет получить минимальную паразитную индуктивность в цепи управления затвором. Между выводами PGND и GND включается резистивный шунт, напряжение на котором измеряется компаратором с порогом срабатывания  $V_{thITRIP} = 0,45$  В. Если падение напряжения на шунте превышает 0,45 В, компаратор срабатывает и включает сигнал ошибки на выходе FAULT. Одновременно выключаются оба выхода драйвера на период действия сигнала ошибки, который составляет 200 мкс.

**Драйверы 6EDL EiceDRIVER Compact**

Следует отметить, что, кроме одноканальных, двухканальных и полумостовых драйверов, в семействе EiceDRIVER выпускаются микросхемы драйверов управления трехфазными мостовыми топологиями IGBT и MOSFET силовых ключей с блокирующими напряжениями 200 и 600 В [4]. Новое поколение шестиканальных драйверов (серия 6EDL) выполнено на основе технологии изоляции

Таблица 3. Характеристики драйверов семейства 2EDL EiceDRIVER Compact

Тип драйвера	Класс напряжения, В	Степень изоляции/тип силового транзистора	Ток драйвера втекающий, А	Ток драйвера вытекающий, А	Задержка включения макс., нс	Корпус	Топология	$T_{\text{раб макс.}} \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{\text{раб мин.}} \text{ } ^\circ\text{C}$	Функциональные характеристики
2EDL05I06BF	600	Функциональная/IGBT	0,25	0,5	600	PG-DSO-8	Dual channel	-40	+95	EN
2EDL05I06PF						PG-DSO-8				
2EDL05I06PJ						PG-DSO-14				
2EDL05N06PF		Half Bridge			450	PG-DSO-8	Deadtime, Interlock			
2EDL05N06PJ										PG-DSO-14
2EDL23I06PJ										PG-DSO-14
2EDL23N06PJ	PG-DSO-14	Deadtime, Interlock, EN, FAULT, OCP								

Таблица 4. Трехфазные мостовые драйверы EiceDriver 1-го EDO и 2-го EDL поколений

Тип драйвера	Класс напряжения, В	Степень изоляции	Ток драйвера втекающий, А	Ток драйвера вытекающий, А	Задержка включения макс., нс	Корпус	Топология	T <sub>раб макс.</sub> , °С	T <sub>раб мин.</sub> , °С	Функциональные характеристики
6ED003L06-F2	600	Функциональная	0,165	0,375	800	PG-DSO-28	3-Phase	-40	+95	EN, Interlock, ITRIP
6EDL04I06NT										EN, Interlock, ITRIP, BS
6EDL04I06PT										EN, Interlock, ITRIP, BS
6ED003L06-C2						Бескорпусный чип				EN, FLT, Interlock, ITRIP
6EDL04I06NC										EN, Interlock, ITRIP
6EDL04N06PC										EN, Interlock, ITRIP, BS
6ED003L02-F2	200					PG-TSSOP-28			EN, Interlock, ITRIP	
6EDL04N02PR									EN, Interlock, ITRIP, BS	

SoI. Основные характеристики драйверов приведены в таблице 4.

В таблице 4 приведены также шестиканальные драйверы (полный мост) EiceDRIVER 6EDL Compact в бескорпусном исполнении (полупроводниковый кристалл размером ~4,3×4,6 мм). Драйверы оптимизированы для управления IGBT и MOSFET, изготовлены на базе тонкопленочной технологии SoI с блокирующим напряжением 600 В, имеют широкий набор функций, в частности, Interlock («мертвое» время между каналами 310 нс) для предотвращения одновременного включения силовых транзисторов, интегрированный диод подкачки заряда. Основная область применения — интеллектуальные силовые модули IPM.

### Заключение

- Рассмотрен весь спектр высоковольтных драйверов семейства EiceDRIVER в микросхемном исполнении, насчитывающий более 30 модификаций. Драйверы предназначены для управления IGBT

и MOSFET в одноканальных, двухканальных, полумостовых и трехфазных мостовых конфигурациях преобразователей мощностью до нескольких десятков киловатт и на рабочих частотах до 200 кГц (новая серия полумостовых драйверов 2EDL) [5].

- Все драйверы имеют функциональную или базовую гальваническую изоляцию управляющего входа от высоковольтных выходов. В драйверах используются две технологии, обеспечивающие изоляцию: разделение с помощью тонкопленочного трансформатора без сердечника (CLT) и использование технологии «кремний-на-изоляторе» (SoI), что позволяет управлять ключами с блокирующими напряжениями 600 (SoI) и 1200 В (CLT).
- Новая бюджетная серия 2EDL EiceDRIVER, предназначенная для массового применения в бытовой технике, ключевых источниках питания, бытовых приводах, использует интегрированный ультрабыстрый диод подкачки, обеспечивающий выходной ток драйвера до 2,3 А, и позволяет исключить

один источник питания. Блокирующее напряжение новой серии 600 В.

- Для ускорения освоения новых драйверов 2EDL выпущены оценочные платы, например Evaluation Board EVAL\_2EDL05I06PF [6].
- Драйверы серии 2EDL05x в корпусе DSO-8 функционально, электрически и pin-to-pin совместимы с аналогичными драйверами ряда производителей, например такими как FAN7842 (200 В), FAN7382, IRS2308, M81736FP и др.

### Литература

- [www.infineon.com](http://www.infineon.com)
- AN EiceDRIVER 1ED Family. Technical Description
- EiceDRIVER 2EDL Family. Target Datasheet.
- EiceDRIVER 6ED Family. Datasheet
- Frank W. Thermal evaluation of high voltage half bridge EiceDRIVER ICs with integrated bootstrap diode // Bodo's Power systems. June, 2013.
- EiceDRIVER Evaluation Board EVAL\_2EDL05I06PF. Application Notes. 27-06-2013.