Одне сімейство для вирішення всіх задач: драйвери затворів Si, SiC і GaN

Кармен Бенедетті Матрішіано (Carmen Benedetti Matrisciano), Діого Варахао (Diogo Varajao), Infineon Technologies

Описане сімейство інтегральних драйверів має різні варіанти захисту від зниженої напруги (UVLO), різні рівні ізоляції та типи корпусів, що забезпечує комплексне вирішення різноманітних задач. У цій лінійці мікросхем використана інноваційна технологія ізоляції, що відповідає вимогам сучасних стандартів. Пристрої відрізняються покращеними електричними характеристиками й функціями захисту, що гарантує високу ефективність і надійну роботу в широкому діапазоні температур, а також збільшений термін служби. Інтегральні драйвери можуть використовуватися в широкому спектрі застосувань, включаючи серверні та телекомунікаційні SMPS, сонячні інвертори та системи накопичення енергії, електроприводи та системи з батарейним живленням, зарядні станції електромобілів і високопродуктивні комп'ютери.

Ізолятори використовуються в широкому спектрі варіантів застосування, від імпульсних джерел живлення (*switch-mode power supplies, SMPS*) телекомунікаційних і серверних систем [1] до сонячних інверторів, промислових електроприводів змінного струму і зарядних пристроїв для електромобілів (*electric vehicles, EV*). Їх основне завдання — забезпечення необхідного захисту персоналу від ураження електричним струмом, а також захист чутливих і дорогих низьковольтних компонентів, зокрема контролерів, від відмов високовольтних силових каскадів [2]. Ізоляція часто необхідна для переривання небезпечних контурів заземлення, придушення струмів зміщення і високочастотних завад, що надходять назад в контури керування.

Цифрові ізолятори та ізольовані інтегральні драйвери затворів набули домінантного становища на ринку завдяки їх незаперечним перевагам у порівнянні з традиційними рішеннями, такими як імпульсні трансформатори [2] та оптрони.

У статті описані функціональні можливості та переваги *сімейства двоканальних ізольованих IC-драйверів EDi EiceDRIVER 2*. Це покоління мікросхем випускається в 14-вивідному корпусі DSO для збільшення ізоляційних зазорів між каналами, вони забезпечують формування «мертвого часу» і захист від наскрізного струму, швидкий запуск, а також надійну ізоляцію, що відповідає останнім стандартам (VDE 0884-11, IEC 60747-17). Крім того, доступні IC в мініатюрному корпусі LGA 4×4, що забезпечує 36%-ву економію місця в низьковольтних варіантах застосування. Завдяки наявності декількох варіантів захисту від зниженої напруги (*under-voltage lockout, UVLO*), модифі-

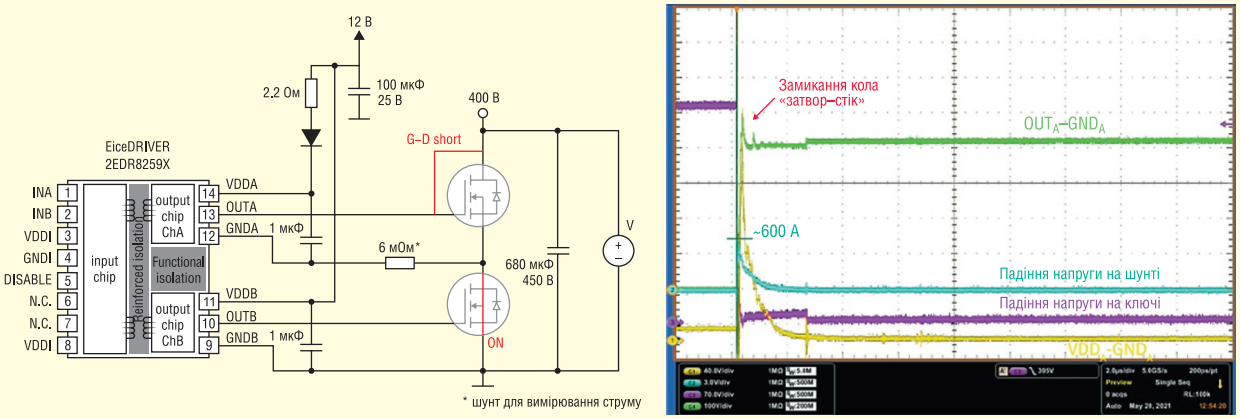

Рис. 1. Критичне перевантаження (EOS) силового каскаду, яке може призвести до пробою ізолювального бар'єра. Попри високу енергію, що надходить у драйвер (струм до 600 А протікає через вихід OUTA до випаровування з'єднувального провідника та розриву корпусу), EiceDRIVER 2EDRx259H гарантує цілісність посиленої ізоляції

Таблиця 1. Особливості деяких поколінь IC-драйверів EiceDRIVER 2Edi

Корпус	Назва мікросхеми	Гальванічна ізоляція: Робоча напруга	Гальванічна ізоляція: Сертифікати	Гальванічна ізоляція: CMTI, В/нс	Вихідний каскад: Вихідний струм увімкнення/вимкнення, А	Вихідний каскад: Рівень UVLO (ном.), В	Вихідний каскад: Поріг UVLO, мкс	Входи керування: Канали	Входи керування: Опції STP/DTC	Входи керування: DIS/EN	Область застосування
	2EDS7165H	V_{ISO} = 5700 B_{RMS}	* UL1577Single protection * EN 62368-1 Rein forced isolation * GB4843.1 Reinforced	150	1/2	4	5	INA, INB	–	DIS	* ДЖ для телекомунікаційного обладнання, вхідні каскади HV DC/DC (в т. ч. LLC) з посиленою ізоляцією * Сонячні мікроконвертори та оптимізатори потужності * Бортові зарядні пристрої EV
	2EDS8165H					8					
	2EDS8265H				5/9	8					
	2EDS9265H					13					
	2EDR8259H	V_{ISO} = 5700 B_{RMS} V_{IOSM} = 8000 B_{pk} V_{IOSM} = 6875 B_{pk}	* VDE 0884-11 * IEC 60747-17 Rein-forced isolation * UL1577 Single protection * EN 62368-1 Rein-forced isolation * GB4943.1 Reinforced	150	5/9	8	2		Так	DIS	
	2EDR7259X					4		INA, INB			
	2EDR8259X					8					
	2EDR9259X					15					
	2EDR8258X					8					
	2EDR9258X					15				EN	
	2EDR6258X					12					
	2EDF7175F	1 500 B_{DC}	* functional	150	1/2	4	5	INA, INB	–	DIS	* ДЖ для телекомунікаційного обладнання (в т.ч. напівмостові ККП, випрямлячі Vienna), * Низьковольтні приводи з проблемою «відскоку від землі» (LEV, садові інструменти, вилкові навантажувачі)
	2EDF7275F					4					
	2EDF8275F				5/9	8					
	2EDF9275F					13					
	2EDB8259F	V_{ISO} = 3000 B_{RMS} V_{IOSM} = 4242 B_{pk} V_{IOSM} = 6000 B_{pk}	* UL1577 Single protection * GB4943.1 Basic	150	5/9	8	2	INA, INB	Так	DIS	
	2EDB7259Y					4					
	2EDB8259Y					8					
	2EDB9259Y					15					
	2EDF7275K	1 500 B_{DC}	* functional	150	5/9	4	5	INA, INB	–	DIS	* Неізольовані інвертувальні підвищувально-понижувальні каскади, * Ізольовані DC/DC-каскади, * Низьковольтні приводи з проблемою «відскоку від землі» (LEV, садові інструменти, вилкові навантажувачі)
	2EDF7235K					4			DTC		
	2EDB7259K	V_{ISO} = 2500 B_{RMS} V_{IOSM} = 3535 B_{pk} V_{IOSM} = 6000 B_{pk}	* UL1577 Single protection * GB4943.1 Basic	150	5/9	4	2	INA, INB	Так	DIS	
	2EDB8259K					8					
	2EDB7259E	V_{ISO} = 2250 B_{RMS} V_{IOSM} = 3181 B_{pk} V_{IOSM} = 4000 B_{pk}				4					

кацій корпусів і рівнів ізоляції, ця серія продуктів відповідає основним вимогам, що висуваються до різних імпульсних пристроїв (табл. 1).

ТЕХНОЛОГІЯ ІЗОЛЯЦІЇ З ХАРАКТЕРИСТИКАМИ MFI ТА CMTI, ЩО ВІДПОВІДАЮТЬ ВИМОГАМ НОВІТНІХ СТАНДАРТІВ

В інтегральних схемах EiceDRIVER 2EDi використана перевірена технологія магнітної ізоляції на основі трансформатора без осердя (*Coreless Transformer*, *CT*). Робоча повторювана напруга 1767 B_{RMS} забезпечується протягом терміну служби у 20 років, що відповідає вимогам щодо часозалежної стійкості діелектрика до пробою VDE 0884-11 та IEC 60747-17 — останнього стандарту для магнітних та ємнісних ізоляторів. Запатентований чип-трансформатор з подвійною котушкою гарантує високу стійкість до магнітного поля (*magnetic field immunity*, *MFI*), що відповідає найсуворішим нормативам стандартів IEC 61000-4-8, IEC 61000-4-9, ISO 11452-8 і MIL-STD-461G-RS101. Він також забезпечує високу стійкість до синфазних завад (common-mode transient immunity, CMTI) — понад 150 В/нс, що необхідно для керування *широкозонними приладами (wide bandgap devices, WBG)*, такими як SiC і GaN.

НАДІЙНА ІЗОЛЯЦІЯ СИЛОВОГО КАСКАДУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ

У разі електричного перевантаження (*electrical overstress*, *EOS*) дуже важлива надійність ізоляції, особливо якщо мова йде про потенційний збій або відмову силового каскаду, відокремленого посиленим ізоляційним бар'єром. На рисунку 1 показаний один з найгірших сценаріїв, коли ізольовані драйвери EiceDRIVER 2EDR×259X використовуються в схемі LLC-конвертора, і один силовий ключ виходить з ладу, що супроводжується замиканням кола «затвор-стік», в той час як інший ключ проводить струм.

Таблиця 2. Надійність ізоляції в сценарії EOS вихідного каскаду після тесту Hi-Pot при номінальній напрузі V_{ISO}

Прилад	Проходження високовольтного Hi-Pot тесту* після впливу EOS
2EDRx259X/H	Тест пройдено
Конкурент 1	Тест пройдено
Конкурент 2	Тест не пройдено
Конкурент 3	Тест не пройдено

Примітка. *V_{ISO} = 5700 B_{RMS} (60с), V_{ISO} = 5000 B_{RMS} для конкурентів 1, 2, як зазначено в специфікації.

Без захисного діода між виходом драйвера і його заземленням велика кількість енергії передається від конденсатора живлення (в даному прикладі 680 мкФ) безпосередньо в драйвер, що призводить до електричного пошкодження вихідного чипа в каналі A (ChA) і руйнування приладу через обрив з'єднувальних дротів. Драйвер EiceDRIVER 2EDR×259X забезпечує повну ізоляцію навіть у разі потужного електричного перевантаження завдяки надійній ізоляції, вбудованій в чип первинного каскаду (*input chip*). Прилади-конкуренти 2 і 3, що використовують технологію ємнісної ізоляції, провалюють тест Hi-Pot після електричного перевантаження. У таблиці 2 наведені результати випробувань Hi-Pot при номінальній напрузі V_{ISO} після впливу EOS.

ШВИДКИЙ ВІДГУК UVLO

Для живлення схеми керування MOSFET верхнього плеча часто застосовується бутстрепна схема, що обумовлено її простотою і низькою вартістю. Однак це може створювати й різні проблеми, оскільки під час запуску системи бутстрепне джерело і джерело живлення нижнього плеча неактивні через свої особливості. Живлення в каналі верхнього рівня з'являється тільки після деякої затримки, що визначається параметрами бутстрепного конденсатора і резистора.

Багато IC-драйверів, представлених на ринку, мають час запуску схеми UVLO порядку десятків мкс (зліва на рис. 2), що означає пропуск декількох імпульсів у верхньому плечі, водночас коли MOSFET низького рівня вмикається і вимикається в нормальному режимі. Це може призвести до негативних наслідків, зокрема, створити дисбаланс у двох резонансних конденсаторах, присутніх у топології LLC. При неправильному керуванні це створює серйозні проблеми з комутацією, а також може стати причиною асиметрії напруги на трансформаторі та призвести до насичення осердя. Час запуску схеми UVLO у покоління EiceDRIVER 2EDi має стандартне значення менше ніж 2 мкс, тобто активація верхнього каналу забезпечується менше ніж за один імпульс (рис. 2).

ШВИДКЕ АКТИВНЕ ОБМЕЖЕННЯ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПРОБОЮ

Ще одна потенційна проблема, пов'язана зі схемою бутстреп, може виникнути, коли шуми, наведені на затворі MOSFET верхнього плеча, неефективно пригнічуються драйвером, який все ще неактивний, оскільки напруга бутстрепного живлення нижча за рівень UVLO.

Один з таких прикладів — запуск схеми LLC з розділеними резонансними конденсаторами (рис. 3). Якщо в пристрої не передбачена спеціальна послідовність запуску, то MOSFET верхнього рівня буде вимкнений до тих пір, поки (після певної затримки) бутстрепне живлення не наблизиться до порогу UVLO, що створює дисбаланс напруги на резонансному конденсаторі і небажаний збій режиму перемикання (виділено

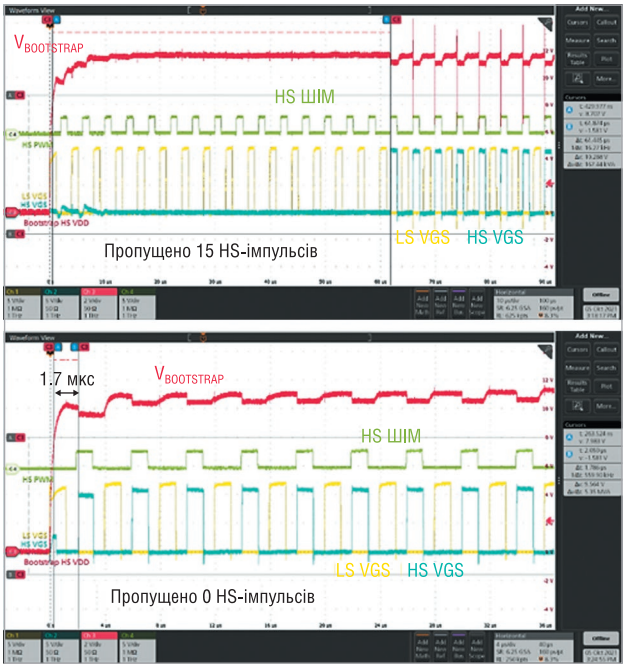

Рис. 2. Час запуску схеми UVLO драйвера-конкурента з повільною активацією бутстрепного каналу (вгорі); драйвера EiceDRIVER 2Edi зі швидкою активацією вихідного каскаду (внизу)

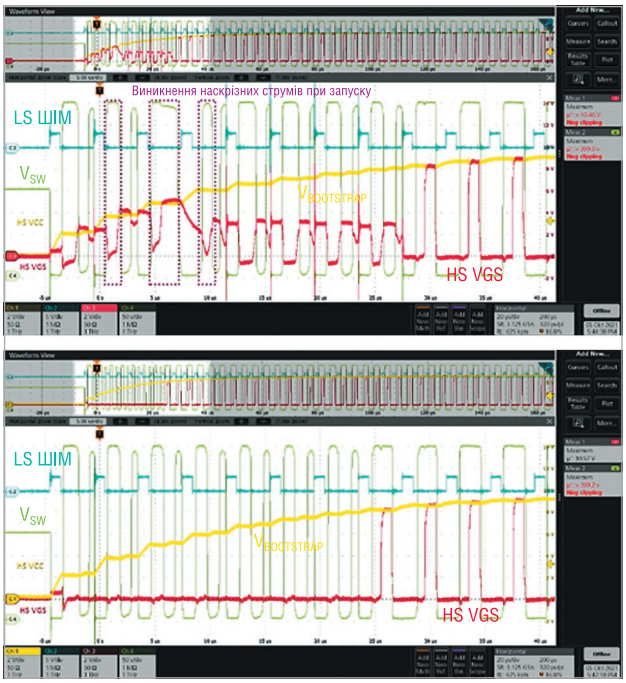

Рис. 3. Виникнення критичного наскрізного струму при використанні драйвера з повільним обмеженням напруги живлення з рівнем нижче UVLO (вгорі). Покращені характеристики активного обмеження покоління драйверів EiceDRIVER 2EDi (внизу). Обидва вимірювання зроблені в режимі запуску LLC-кола з розділеними резонансними конденсаторами та бутстрепним живленням

зеленим кольором). Кожен негативний фронт *dV/dt* в точці комутації буде заряджати затвор транзистора верхнього плеча (виділено пурпуровим кольором) завдяки ефекту Міллера.

Покоління драйверів EiceDRIVER 2EDi містить спеціальну схему активного обмеження для придушення вихідних шумів, навіть якщо канал неактивний (живлення нижче UVLO), що дозволяє уникнути виникнення небезпечних наскрізних струмів, як відображають результати вимірювань (рис. 3).

ТОЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТИМЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК І «МЕРТВОГО ЧАСУ» (DTC)

Покоління драйверів EiceDRIVER 2EDi призначене для керування швидкими ключами, зокрема широкозонними приладами (WBG). Хороша узгодженість затримки поширення сигналів і висока точність встановлення «мертвого часу» T_{dt} (табл. 3) забезпечують ідеальну часову синхронізацію імпульсів керування затворами (наприклад, при діагональному контролі) і оптимізацію значення T_{dt}, що істотно підвищує надійність і ефективність системи.

Крім того, важливими факторами безпеки «другого рівня» є можливість налаштування захисту від наскрізного струму (*shoot-through protection, STP*) і контроль «мертвого часу» (*dead-time control, DTC*), вбудовані в апаратну частину IC-драйвера затвора. *Тестувальна плата розробника EVAL_2EDB_HB_GaN* (рис. 4) містить *двоканальний ізольований драйвер EiceDRIVER 2EDB8259Y*, що керує *дискретними транзисторами GaN-HEMT*. Пристрій дозволяє проводити тестування в різних режимах роботи і з різними підходами до керування затвором (однополярне або біполярне керування, ізольоване або неізольоване бутстрепне живлення).

Випробування, проведені за допомогою транзисторів GIT HEMT, демонструють надійну роботу в мегагерцовому діапазоні частот при потужностях в кілька кВт [3]. Плата також містить джерело живлення, що налаштовується для роботи в біполярному або уніполярному режимі керування з різними рівнями напруги, і опцію однопроцентного регулювання напруги, що особливо важливо при керуванні GaN HEMT із затвором Шотткі (SG). Детальна інформація про універсальну схему керування затвором як для 650-В GIT, так і для SG GaN HEMTs наведена в [4].

Таблиця 3. Точні часові характеристики дозволяють керувати широкозонними приладами (WBG)

Параметр	Значення
Розкид часу затримки ввімкнення від зразка до зразка (макс.), нс	6
Розкид часу затримки вимкнення від зразка до зразка (макс.), нс	8
Розкид часу затримки ввімкнення між каналами A і B, нс	–4...+4
Розкид часу затримки вимкнення між каналами A і B, нс	–5.5...+3
Розкид часу затримки від вимкнення до ввімкнення, нс	–5...+1
Спотворення тривалості імпульсу, нс	–5...+5.5

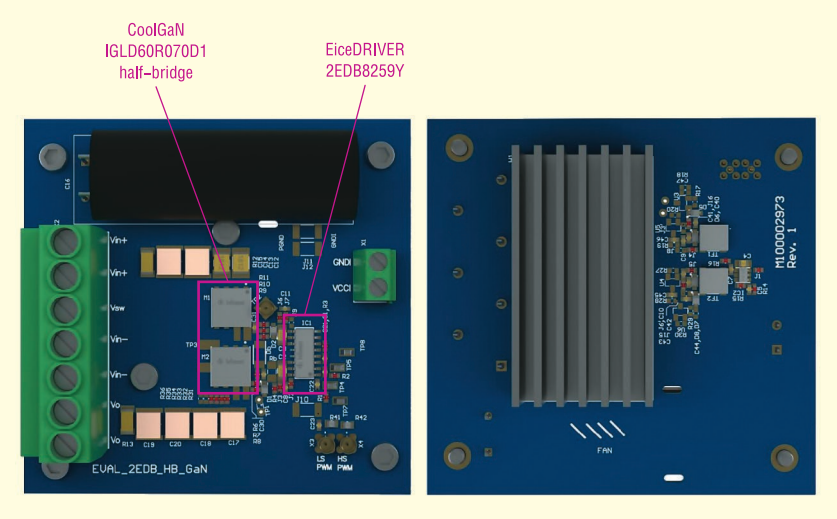

Рис. 4. Тестувальна плата розробника EVAL_2EDB_HB_GaN з напівмостовим каскадом на транзисторах CoolGaN GIT HEMT

ВИСНОВОК

В поколінні інтегральних драйверів EiceDRIVER 2EDi поєднуються переваги високонадійної технології ізоляції з відмінними електричними характеристиками. Можливості компонентів сімейства відповідають суворим сучасним вимогам, забезпечуючи високу ефективність перетворення і надійну роботу системи в широкому діапазоні температур протягом тривалого терміну служби.

Лінійка продуктів сімейства EiceDRIVER 2EDi містить різні типи корпусів і рівні ізоляції, що дозволяє адаптувати виріб для різних топологій схем і режимів роботи. Детальніша інформація про покоління EiceDRIVER 2EDi представлена в спеціальному посібнику із застосування [3] та на вебсайті продукту.

Література:

1. Infineon Technologies AG. Using the EiceDRIVER 2EDi product family of dual-channel functional and reinforced isolated MOSFET gate drivers. Application Note v4.0, March 2022 (3). AN_1805_PL52_1806_095202. https://www.infineon.com/row/public/documents/24/42/infineon-gatedriverics-eicedriver-2edi-using-the-eicedriver-2edi-family-applicationnotes-en.pdf

2. Varajao D., Menditti Matrisciano C. Isolated gate driving solutions — Increasing power density and robustness with isolated gate driver ICs. Infineon Technologies AG, Application Note v1.1, AN_1909_PL52_1010_201256, June 2022. https://www.infineon.com/row/public/documents/24/42/infineon-gatedrivericeicedriver-isolated-gate-driving-solutions-applicationnotes-en.pdf

3. Menditti Matrisciano C, Half-bridge evaluation board designed with CoolGaN GIT HEMTs and EiceDRIVER 2EDB8259Y. Infineon Technologies AG, Application Note AN_2210_ PL21_2211_151906, November 2022. https://www.infineon.com/row/public/documents/24/42/infineon-eval-2edb-hb-gan-half-bridge-board-designed-with-coolgan-git-hemts-and-eicedriver-2edb8259y-applicationnotes-en.pdf

4. Menditti Matrisciano C., Laneve A., Varajao D. Universal Isolated Gate Driving Platform for 650 V GaN HEMTs Half-Bridge with Dead-Time Control and Integrated Bias Supply. PCIM Europe 2023. International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, Germany, 2023.

CN