

Драйвери затвора силових ключів сімейства CoolGaN GIT HEMT від компанії Infineon Technologies

Євген Силантьєв

У статті розглядаються особливості керування силовими ключами GaN FET, формулюються вимоги до драйверів затворів цих ключів, наведені основні параметри деяких драйверів затвора та практичні приклади їхнього використання.

комутаційні втрати. Поперечний переріз силового ключа сімейства CoolGaN GIT показано на рисунку 1. Шар p -GaN стоку дає змогу уникнути ефекту колапсу струму, який проявляється після впливу високої запірної напруги.

ВСТУП

Про напівпровідникові прилади з широкою забороненою зоною на основі карбиду кремнію (SiC) і нітриду галію (GaN) написано безліч статей. У більшості з них викладаються переваги силових SiC FET і GaN FET, і наводяться приклади практичного застосування. Набагато менше уваги приділяється драйверам затвора цих ключів, хоча вони відіграють ключову роль у коректній роботі силових каскадів, що базуються на ключах SiC FET і GaN FET.

У цій статті ми розповімо про драйвери затвора GaN FET сімейства CoolGaN GIT HEMT від компанії Infineon Technologies, щоб частково заповнити нестачу відомостей про ці компоненти. Перед тим як перейти безпосередньо до драйверів, нагадаємо про основну відмінність GaN FET від SiC FET і традиційних Si FET.

GaN FET являє собою гетероперехідний транзистор з високою рухливі-

стю електронів (HEMT). Провідний канал у цьому ключі формується на межі розділу AlGaIn/GaN за допомогою двовимірного електронного газу (2DEG) з високою електропровідністю. Оскільки GaN FET не містять фізичних p - n -переходів, у них немає заряду зворотного відновлення Q_{rr} внутрішніх діодів, і GaN FET можна використовувати не тільки як ключі, а і як діоди, прикладаючи до них зворотну напругу сток-схід. Відсутність заряду Q_{rr} є серйозною перевагою при використанні GaN FET у різних топологіях.

Відомо кілька технологій виробництва GaN FET, в Infineon вибрали нормально вимкнений транзистор з інжекцією затвора з гібридним стоком (GIT). У цій технології використовується затвор p -GaIn разом з омичним контактом, при цьому формується неізольована структура затвора з діодною характеристикою. До переваг силових ключів GIT HEMT, крім відсутності заряду зворотного відновлення Q_{rr} , слід віднести і низький вихідний заряд Q_{OSS} , завдяки чому зменшуються

ОСОБЛИВОСТІ КЕРУВАННЯ ЗАТВОРОМ ТРАНЗИСТОРІВ GIT HEMT

Вольтамперна характеристика (ВАХ) неізольованого затвора ключів GIT HEMT схожа на діодну з прямим падінням напруги V_{GS} близько 3.5 В. ВАХ затвора представлено на рисунку 2а. Таким чином, оптимальною стратегією під час керування затвором у сталому режимі є підтримання постійного струму керування затвором I_{GS} . У розглянутих ключів цей струм приблизно дорівнює 10 мА, але в перехідних процесах під час комутації ключів через сумарний заряд затвора близько 6 нКл струм зростає до 1 А.

Еквівалентна схема керування, представлена на рисунку 3, допоможе сформулювати вимоги до драйверів затвора. Струм затвора в статичному режимі після відкриття ключа задають через резистор R_{SS} ; при цьому ключі S_1 і

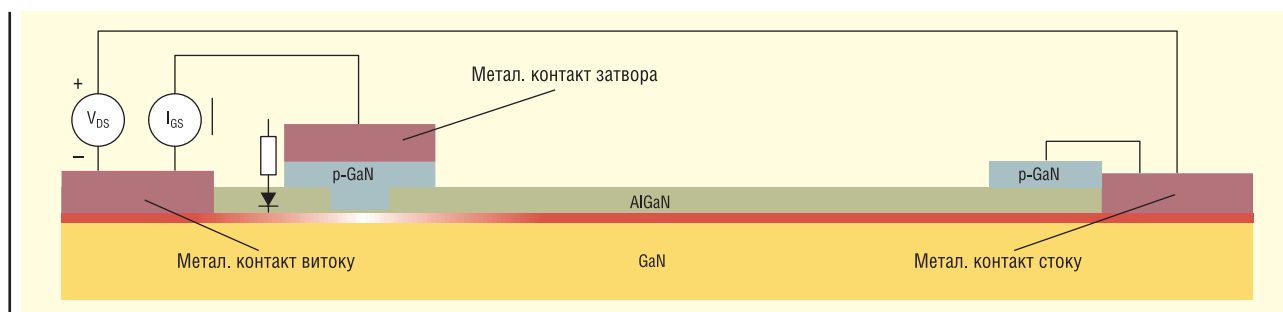


Рис. 1. Поперечний переріз силового ключа сімейства CoolGaN GIT

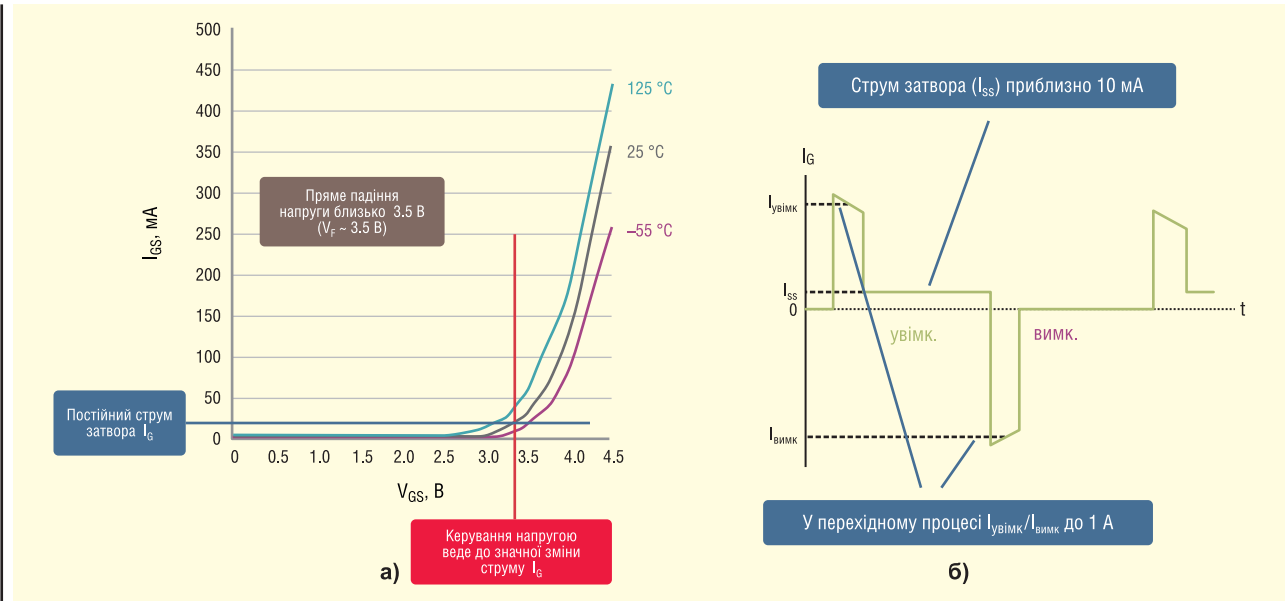


Рис. 2. ВАХ неізолюваного затвора ключів GaN HEMT (а); струм затвора в перехідному режимі (б)

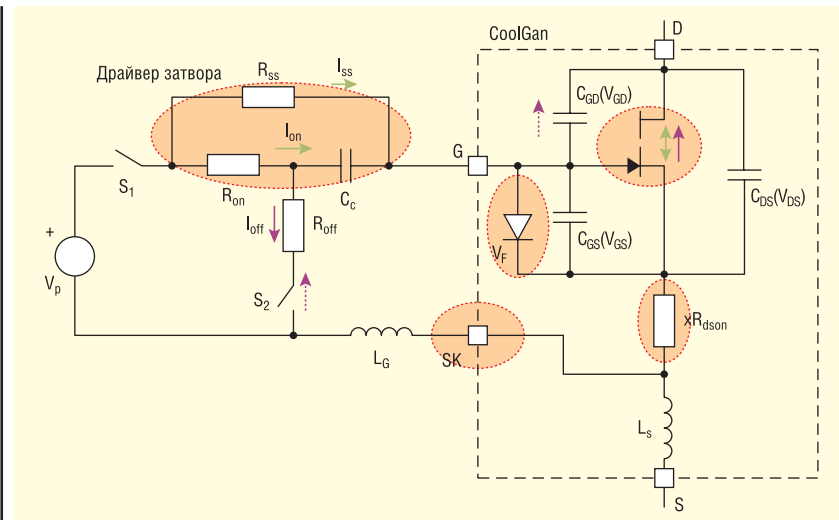


Рис. 3. Еквівалентна схема керування затвором CoolGaN HEMT

S_2 розімкнуті, і струм затвора дорівнює 10 мА. При розмиканні ключа силового GaN HEMT замикається ключ S_{2r} , і струм затвора величиною до 1 А протікає через резистор R_{OFF} . При замиканні силового GaN HEMT замкнений ключ S_1 , і струм затвора величиною до 1 А протікає через резистор R_{ON} . Відзначимо деякі особливості, характерні для керування GaN HEMT, які відрізняють їх від традиційних Si MOSFET.

- Омичний затвор p-GaN HEMT можна моделювати за допомогою діода V_F з прямим падінням напруги 3.5 В.
- Усі ключі сімейства CoolGaN HEMT керуються за схемою Кельвіна і мають у корпусі окремий вивід SK, завдяки чому зменшується паразитна індуктивність контуру керування

затвором. Зауважимо, що між виводами витоку S і SK у перехідному процесі комутації через паразитні індуктивності можуть виникати імпульси напруги амплітудою в кілька десятків вольт. Отже, виходи драйвера потрібно захистити від перенапруги.

- Оскільки в p-GaN HEMT відсутній внутрішній діод, у разі зміни полярності напруги стік-вітик V_{SD} транзистор може увімкнутися, якщо напруга затвора V_{GD} перевищить порогову величину. Отже, для надійного вимкнення транзистора до затвора прикладається негативна напруга керування V_{GB} .
- Оскільки через латеральну структуру транзисторів GaN HEMT деяка частина провідного каналу знаходиться всередині контуру затвора, його

напруга залежить від струму стоку. Почасти з цієї причини затвором має керувати струм, а не напруга; відповідно, драйвер затвора має бути джерелом струму, а не напруги.

- Необхідно враховувати залежність паразитної ємності стік-вітик C_{DS} від напруги стік-вітик V_{DS} . Оскільки ємність C_{DS} істотно менша, ніж у кремнієвому транзисторі з суперпереходом (SJ MOSFE), її вплив менший.

Дуже важливо зазначити, що сумарний заряд затвора у транзисторів GaN HEMT майже в 10 разів менший, ніж у традиційних SJ MOSFET. Відмінність ілюструється на рисунку 4, на якому показано криві заряду затвора SJ MOSFET і CoolGaN HEMT. Низький пороговий рівень V_{TH} і відносно високе значення Q_{GD}/Q_{GS} змушує мати від'ємну запірну напругу затвора, щоб підвищити заводостійкість ключа — за від'ємної запірної напруги збільшується напруга завади для помилкового відкриття ключа.

Перевагою малого сумарного заряду затвора є менший струм, необхідний для замикання і відмикання силового ключа. До недоліків належить необхідність підтримання постійного струму затвора за відкритого ключа I_{SS} , що призводить до додаткових втрат кількох десятків міліват, але, з іншого боку, ця обставина збільшує стійкість роботи та підвищує заводозахищеність.

Таким чином, можна коротко сформулювати основні вимоги до драйверів затворів CoolGaN HEMT:

- драйвери повинні забезпечувати постійний струм затвора 10 мА увімкненого транзистора в сталому режимі;

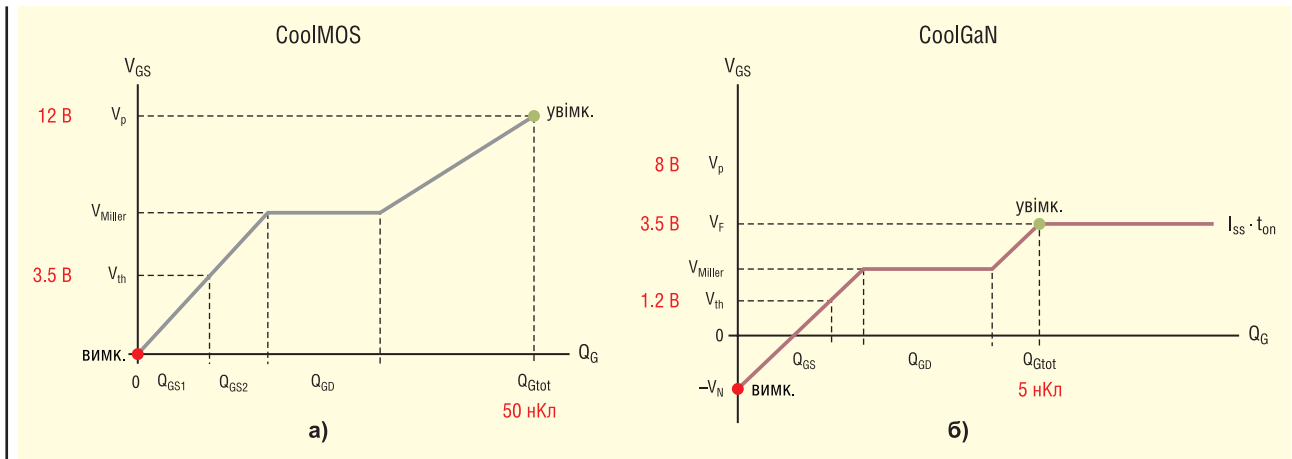


Рис. 4. Криві заряду затвора SJ MOSFET (а); CoolGaN GIT HEMT (б)

- у перехідному процесі комутації вихідний струм драйверів, що втікає і витікає, досягає 1 А;
- під час жорсткого вимкнення транзистора і для його утримання у вимкненому стані напруга затвор-витік V_{GS} має бути негативною;
- необхідна гальванічна розв'язка між входом і виходом або захист від імпульсів перенапруги, викликаних паразитною індуктивністю (рис. 3).

ДРАЙВЕРИ ЗАТВОРІВ СІМЕЙСТВА ICEDRIVER ВІД КОМПАНІЇ INFINEON TECHNOLOGIES

Для керування ключами сімейства CoolGaN GIT HEMT можна використовувати стандартні, раніше випущені компанією драйвери затворів із додаванням на виході зовнішнього кола, що складається з резисторів R_{SS} , R_{ON} , R_{OFF} і конденсатора C_C (рис. 3). Як ключі керування S_1 і S_2 використовуються внутрішні ключі драйвера.

Крім стандартних компанія виробляє спеціалізовані драйвери, призначені для керування саме сімейством транзисторів. Спеціалізованим драйверам ми і приділимо основну увагу в цьому розділі. Їхні основні параметри наведено в таблиці 1. Зверніть увагу на високу стійкість драйверів до зміни синфазної напруги (CMTI). У нашому випадку це дуже важливий параметр —

висока швидкодія CoolGaN GIT HEMT може породити коливальний перехідний процес, у якому швидкість зміни напруги досягає 100 нВ/с і навіть перевершує його.

Попри начебто обмежений вибір усього з трьох мікросхем драйверів, їх цілком достатньо для створення практично будь-яких топологій силових каскадів. Окремо слід згадати високе значення вихідного струму драйверів: у таблиці вказано величини 4 і 8 А для струму, що витікає та струму, що втікає, відповідно, хоча вище згадувалося, що для режимів комутації досить пікового струму не більше 1 А. Річ у тім, що таке високе значення вихідного струму зумовлене низьким опором відкритих каналів вихідних ключів рMOSFET (0.85 Ом) і nMOSFET (0.35 Ом) драйве-

ра, що покращує його динамічні характеристики та зменшує потужність, яка на ньому розсіюється.

У спеціалізованих драйверах використовується диференціальний вихідний каскад. Їхню концептуальну структурну схему наведено на рисунку 5. Інтерфейс зовнішніх компонентів R_{SS} , R_{ON} , R_{OFF} і конденсатора C_C відіграє ту саму роль, що й під час використання стандартних драйверів. Однак завдяки диференціальному вихідному каскаду від'ємна запірня напруга формується за допомогою одночасного замикання ключів S_1 і S_4 навіть на початку роботи каскаду в момент «першого імпульсу» за повністю розрядженого конденсатора C_C . Ця, на перший погляд, незначна відмінність дає змогу уникнути хибних увімкнень.

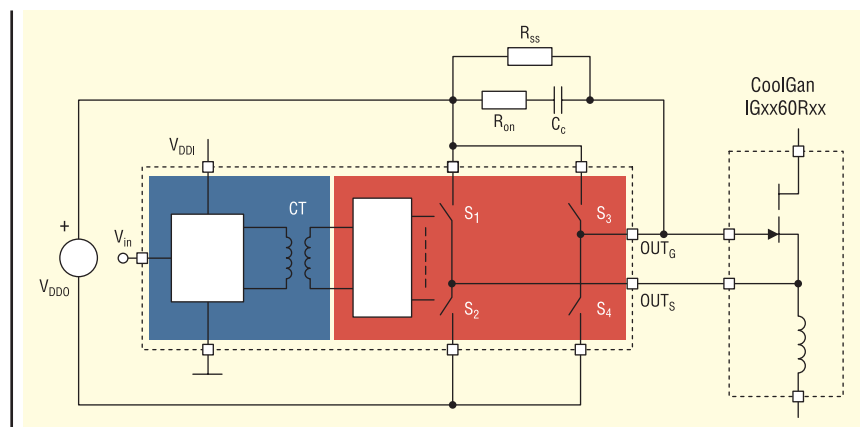


Рис. 5. Концептуальна структурна схема спеціалізованих драйверів

Таблиця 1. Основні параметри спеціалізованих драйверів

Найменування драйвера	Вид ізоляції «вхід-вихід»	Електрична міцність ізоляції «вхід-вихід», кВ	Струм, що витікає/втікає (пик.), А	Стойкість до зміни синфазної напруги, В/нс	Затримка поширення (тип.), нс	Відхилення затримки поширення від типового значення, нс	Корпус
1EDF5673K	Функціональна	1.5 DC	4/-8	200	37	-6/7	LGA-13 (5×5 мм)
1EDF5673F	Функціональна	1.5 DC	4/-8	200	37	-6/7	DSO-16 150 mil
1EDS5663H	Посилена	5.7 (СКЗ)	4/-8	200	37	-6/7	DSO-16 300 mil

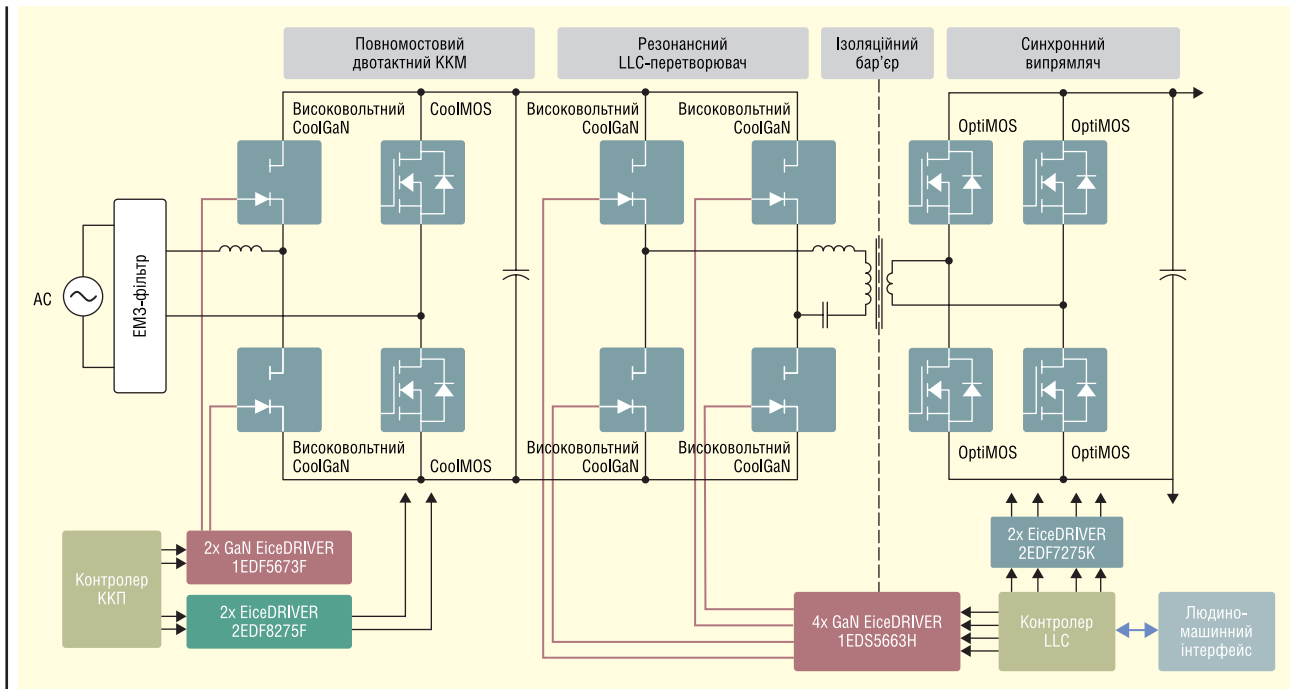


Рис. 6. Використання CoolGaN GIT HEMT в імпульсному джерелі живлення на основі резонансного LLC-перетворювача

На рисунку 6 показано приклад використання CoolGaN GIT HEMT в імпульсному джерелі живлення на основі резонансного LLC-перетворювача.

З рисунка видно, що драйвери сімейства EiceDRIVER і транзистори CoolGaN GIT HEMT використовують у коректорі коефіцієнта потужності (ККП), і на них

повністю побудовано силовий каскад резонансного LLC-перетворювача.

Висока швидкість CoolGaN GIT HEMT дає змогу збільшити робочу час-



SLD-150

Нові тонкі лінійні драйвери потужністю 150 Вт

- Діапазон вхідної напруги 120-305 В AC
- Вбудований активний коректор коефіцієнту потужності
- Режим «постійна напруга + постійний струм» (моделі 12/24 В)
- Режим «постійної потужності» в діапазоні 24-56 В (модель 56 В)
- Регулювання вихідного струму вбудованим потенціометром (модель 56 В)
- ККД до 93%
- Відповідність стандартам безпеки EN61347 та EN60335-1
- Гарантія 5 років

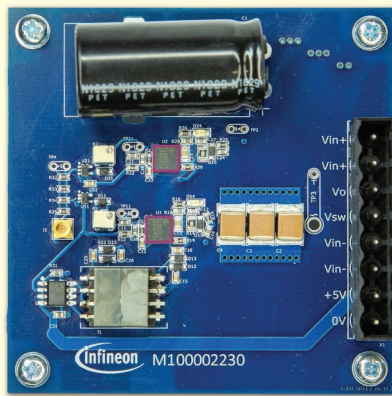
Компанія SEA — офіційний дистриб'ютор MEAN WELL на території України



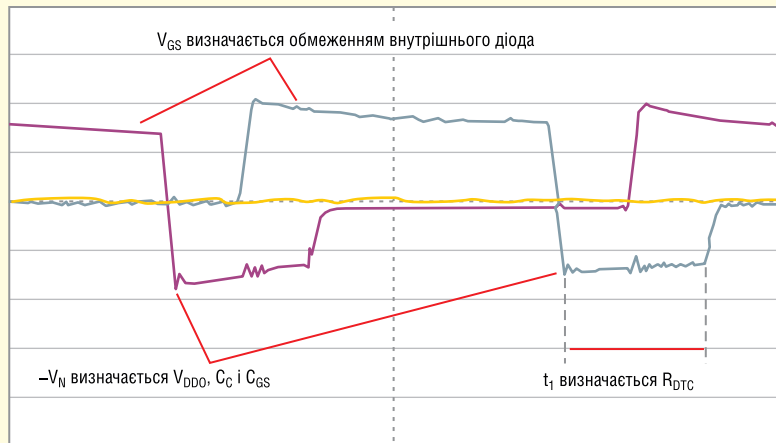
ІННОВАЦІЇ ТА
ЕФЕКТИВНІСТЬ



Україна, 02094, м. Київ, вул. Краківська, 13-Б
тел./факс: +38 044 330-00-88
info@sea.com.ua, www.sea.com.ua



а)



— Верхній ключ

б)

— Нижній ключ

Рис. 7. Тестувальна плата розробника (а); осцилограми її роботи (б)

Таблиця 2. Основні параметри стандартних драйверів

Найменування драйвера	Вид ізоляції «вхід-вихід»	Електрична міцність ізоляції «вхід-вихід», кВ	Струм, що витікає/втікає (пік), А	Стійкість до зміни синфазної напруги, В/нс	Затримка поширення (тип.), нс	Відхилення затримки поширення від типового значення, нс	Корпус
2EDS7165H	Посилена	5.7 (СКЗ)	1/-21	150	37	-6/7	DSO-16 300 mil
2EDS8265H	Посилена	5.7 (СКЗ)	4/-8	150	37	-6/7	DSO-16 300 mil
2EDF7275K	Функціональна	1.5 DC	4/-8	150	37	-6/7	LGA-13 (5x5 мм)
2EDF8275K	Функціональна	1.5 DC	4/-8	150	37	-6/7	LGA-13 (5x5 мм)
2EDF7275F	Функціональна	1.5 DC	4/-8	150	37	-6/7	DSO-16 150 mil
2EDF8275F	Функціональна	1.5 DC	4/-8	150	37	-6/7	DSO-16 150 mil
1EDB7275F	Одноразова	3 (СКЗ)	4/-8	150	37	-6/7	DSO-8 150 mil
1EDB8275F	Одноразова	3 (СКЗ)	4/-8	150	37	-6/7	DSO-8 150 mil
1EDN7550B	Неізований	-	4/-8	150	45	-4/6	SOT-23, 6-выв.
1EDN8550B	Неізований	-	4/-8	150	45	-7/10	SOT-23, 6-выв.

тоту силових каскадів понад 1 МГц і створити енергоефективні перетворювачі з високою густиною потужності. Однак для реалізації цих можливостей недостатньо просто намалювати електричну схему «на папері» — необхідний практичний досвід розробки топології плати. Слід оцінити, яким чином виконуються жорсткі стандарти електромагнітної сумісності, «помацати руками» і побачити наживо осцилограми роботи, подивитися, наскільки перетворювачі впливають на роботу окремих вузлів і модулів системи, оцінити інші нюанси, відомі будь-якому досвідченому розробнику.

Таким чином, під час виконання проекту слід виконати макетування перетворювача. Особливо важливе попереднє макетування, якщо до цього вам не довелося мати справу з ключами HEMT. Для ознайомлення і тестування високочастотних каскадів, що базуються на CoolGaN GIT HEMT, Infineon Technologies випускає тестувальну плату розробника EVAL_1EDF_G1B_HB_GAN. На неї встановлено два 600-В ключі IGOT60R070D1 сімейства CoolGaN GIT HEMT з опо-

ром відкритого каналу $R_{DS(ON)} = 70 \text{ мОм}$ і два драйвери затвора 1EDF5673K сімейства EiceDRIVER (табл. 1).

Вихідна напруга цієї плати обмежена згладжувальним конденсатором, що застосовано, і становить 450 В, безперервний струм досягає величини 12 А, а піковий струм — 35 А. Робоча частота обмежується максимально допустимою розсіюваною потужністю, яка в цьому випадку дорівнює 15 Вт. На рисунку 7а показано тестувальну плату розробника (вид зверху), а на рисунку 7б представлено осцилограми її роботи. Приблизно через 200 нс після увімкнення плати на затворах ключів з'являється від'ємна запірна напруга, завдяки чому можна запобігти наскрізному струму в напівмостовій схемі. Плата демонструє надійну роботу силового каскаду CoolGaN GIT HEMT на частотах понад 1 МГц.

ВИСНОВКИ

Напівпровідникові прилади з широкою забороненою зоною дають

зможу створювати енергоефективні компактні силові перетворювачі. У виробничій лінійці компанії Infineon Technologies є SiC FET, і GaN FET. Останні і розглядалися в нашій статті.

На основі технології транзисторів з інжекцією затвора GIT компанія виробляє сімейство нормально вимкнених транзисторів CoolGaN GIT HEMT з гібридним стоком і затвором p-GaN. Для керування цими транзисторами було розроблено спеціалізовані драйвери затвора сімейства EiceDRIVER з диференціальним вихідним каскадом. Однак часто застосовуються стандартні драйвери затворів, що випускалися раніше, за умови використання зовнішніх RC-компонентів.

У статті розглядався приклад використання ключів CoolGaN GIT HEMT зі спеціалізованими драйверами. За її рамками залишилися приклади використання стандартних драйверів. Докладні приклади можна знайти на сайті виробника (www.infineon.com), а ми обмежимося таблицею 2, у якій зазначаються основні параметри цих драйверів. **СН**