

# Усе, що потрібно, – вибрати інтегральне рішення

**Hri Хоу Тан (Ngee Hou Tan), Томас Бір (Thomas Beer), Infineon Technologies**

**Переклад та редагування: Віталій Шевченко, Rainbow Technologies, технічний спеціаліст**

E-mail: svl@rainbow.com.ua

**У статті розглядаються причини дедалі ширшого застосування GaN-матеріалів у силовій електроніці та їхні переваги, детально описуються новітні інтегральні рішення, які можуть стати привабливою альтернативою класичним дискретним компонентам. Крім того, даються рекомендації щодо вибору дискретних та інтегральних системних GaN-рішень Infineon, що покращують вибір комутаційної технології для джерел живлення. У статті також обговорюються варіанти GaN-виробів високої, середньої та малої потужності з різними рівнями гнучкості та інтеграції.**

## ВСТУП

Сучасні імпульсні джерела живлення (ІДЖ) менші, ефективніші та дешевші за своїх попередників. Основою їхньої високої продуктивності є комутаційні технології. Від розробника вимагається зробити правильний вибір — знайти найкращий компонент, що відповідає потребам ІДЖ. Хоча кремній є найбільш популярним напівпровідниковим компонентом, нині

дедалі більшого поширення набуває нова група матеріалів із широкою забороненою зоною (*Wide Bandgap, WBG*). Як один із прикладів можна навести нітрид галію (GaN), який протягом багатьох років використовували в радіочастотних системах, а тепер уже кілька років застосовують у середньо- і високовольтних силових ключах. Зовсім недавно GaN знайшов застосування в ключах для силовій електроніки.

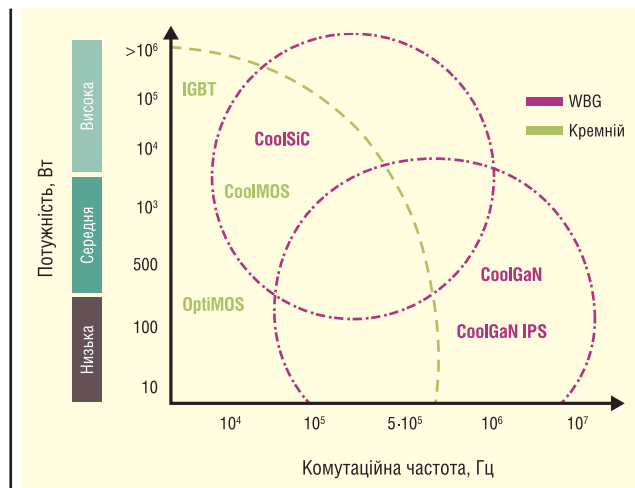
На рисунку 1 схематично показано, в яких сферах прилади з широкою забороненою зоною стануть кращим вибором. Завдяки всій сукупності переваг GaN-транзисторів перед Si-приладами з'являється можливість конструювати джерела живлення з набагато більшою густиною потужності, вищим ККД і вищими частотами перемикань.

## ПЕРЕВАГИ GaN-ТЕХНОЛОГІЇ

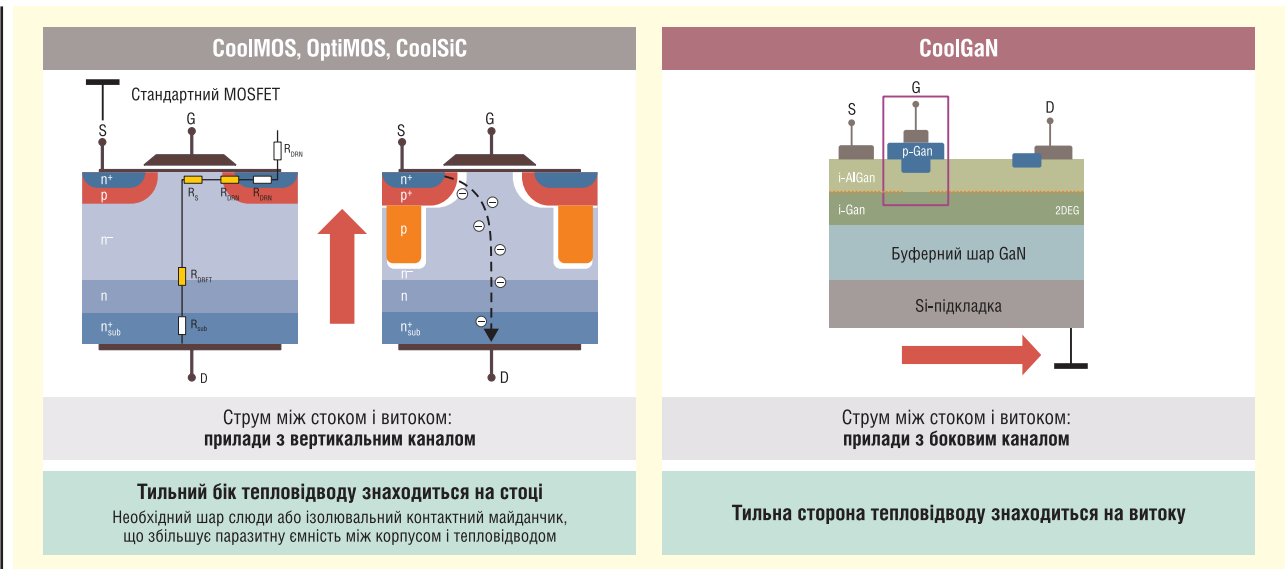
GaN-транзистор з високою рухливістю електронів (*High Electron Mobility Transistor, HEMT*) має кілька ключових переваг перед кремнієвими силовими приладами. Зокрема, у GaN HEMT менші вихідні паразитні ємності  $C_{OSS}$  і більш лінійні характеристики, у 10 разів менша ємність затвора  $C_g$ , нульові втрати зворотного відновлення через відсутність внутрішнього діода, який є в традиційних MOSFET. Завдяки вищій рухливості електронів (дірок) у каналі GaN HEMT та сама величина добутку  $R_{ON}$  на площу кристала досягається за вищою швидкості перемикання і менших комутаційних втрат у поєднанні з чудовим динамічним опором відкритого каналу.

Завдяки таким характеристикам ключі GaN HEMT є кращим вибором для високошвидкісної комутації, що дає змогу економити потужність, яка споживається, і скоротити загальну вартість системи завдяки меншому розміру зовнішніх дроселів або конденсаторів. У результаті з'являється можливість збільшити робочу частоту, підвищивши питому потужність і загальну ефективність системи. При роботі на частоті до декількох МГц швидкість перемикання є дуже важливим показником. Наприклад, висока швидкість комутації компонентів CoolGaN від Infineon дає змогу істотно скоротити «мертвий час», підвищивши ефективність.

Можливо, однією з найбільш важливих і відмінних особливостей силового транзистора на основі GaN є його характеристика зворотного відновлення. Оскільки транзистори CoolGaN від Infineon не мають неосновних носіїв і внутрішнього діода, у цих приладів відсутнє зворотне відновлення. Таким чином, у більшості широко відомих двотактних (напівмостових) топологій із жорстким перемиканням відсутні



**Рис. 1. Значення потужності та комутаційної частоти сімейств силових WBG- і кремнієвих ключів компанії Infineon**



**Рис. 2.** Порівняння конструкцій силових ключів із вертикальним і бічним каналами

супутні втрати потужності, що дає змогу збільшити ефективність перетворювачів.

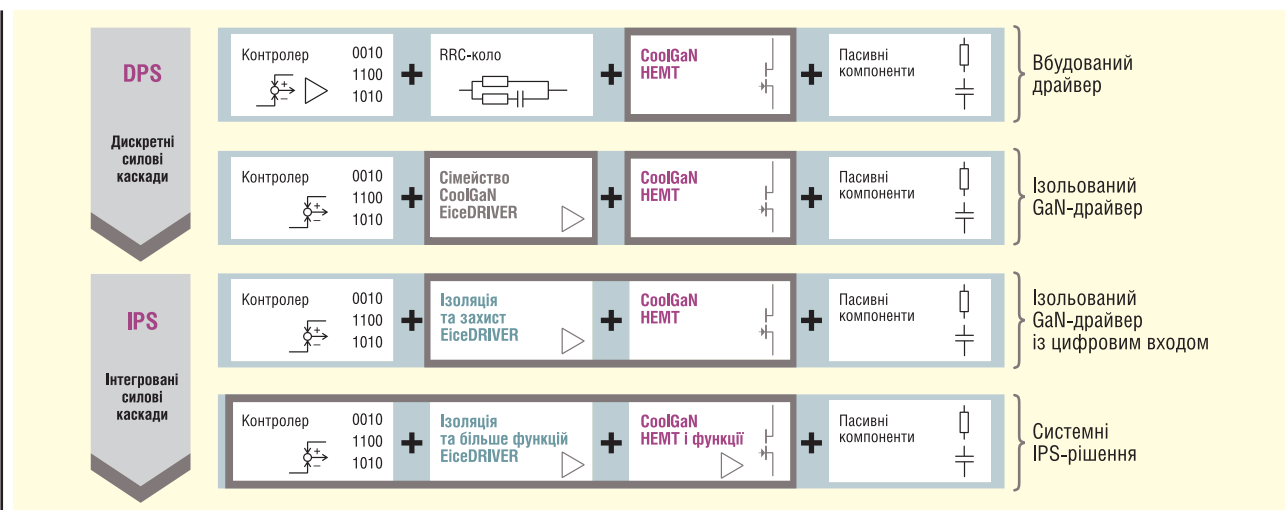
Другою найбільш характерною особливістю GaN-ключів із широкою забороненою зоною порівняно з MOSFET є те, що у перших із них напруга лавинного пробою вища, ніж у других: 600/650-V GaN HEMT витримують короточасні перенапруження в перехідному процесі, що перевищують 750 В, і не зазнають лавинного пробою, який міг би призвести до миттєвого електричного перенапруження (*Electrical Overstress, EOS*), як у разі використання ключів MOSFET. Це одна з причин, через яку вони більш стійкі порівняно з кремнієвими аналогами. У технічних описах величина перенапруження GaN HEMT, які пройшли кваліфікаційні випробування короткими імпульсами понад 10 млн разів у перехідних процесах, вказана рівною 750 В.

Крім того, випробування на надійність і перевірку на відповідність GaN HEMT WBG виконують відповідно до нових стандартів JEDEC 2019: JEP180 (методи і процедури), JEP173 (метод випробування динамічного опору відкритого каналу GaN-приладів) та JEP182 (методи випробувань на термін служби і безперервне перемикання GaN-приладів).

З рисунка 2 видно, що у GaN HEMT, наприклад CoolGaN від Infineon, між витоком і стоком є бічний провідний канал, на відміну від вертикального каналу стандартних кремнієвих MOSFET. Завдяки такій структурі надалі інтегровані силові каскади (Integrated Power Stages, IPS) ключів GaN HEMT отримують більше інтелектуальних функцій. Зауважимо також, що тильна сторона GaN-структури розташована на витоку («землі»),

на відміну від класичних ключів MOSFET. У результаті у GaN-ключів менша паразитна ємність корпусу ( $C_{PK}$ ), простіша інтеграція в корпус, і в деяких випадках зникає потреба в ізолювальному термоінтерфейсі з радіатором стандартних MOSFET зі стоком (стороною активної високої напруги) на тильній стороні.

Завдяки дуже стійкій структурі р-Gate ключів CoolGaN HEMT скорочується вартість специфікації шляхом усунення двох додаткових діодів, які звичай встановлюються для обмеження напруги на затворі. Входом, як і раніше, дуже просто керувати за допомогою класичних драйверів затвора з трьома дискретними компонентами  $R_G$ ,  $R_{SS}$ ,  $C_{ON}$  ( $R_{RC}$  див. рис. 3). Класичний резистор затвора  $R_G$  призначено для керування швидкістю наростання напруги  $dV/dt$ , резистор  $R_{SS}$  — для підтримання каналу



**Рис. 3.** Від гнучких дискретних — до системних IPS-рішень, призначених для конкретного застосування

у відкритому стані в сталому режимі в діапазоні прямого струму 5–25 мА, а ємність  $C_{ON}$  — для формування швидко-го негативного імпульсу та безпечного вимкнення завдяки низькому рівню  $V_{TH}$  GaN HEMT без найменшого ризику повторного ввімкнення.

У випадках проектування ІДЖ високої потужності (що набагато перевищує 1–2 кВт) і дискретних блоків живлення з силовими GaN-ключами з найменшими значеннями  $R_{DS(ON)}$  і  $RT_H$  рекомендується використовувати сімейство драйверів затвора EiceDRIVER від Infineon. Компанія випускає спеціалізовані GaN-драйвери EiceDRIVER з посиленою і функціональною ізоляцією (1EDF56xx), швидкою високоточною стабільною синхронізацією і високою стійкістю до синфазних завад (понад 150 В/нс).

## НЕОБХІДНІСТЬ У ПОДАЛЬШІЙ ІНТЕГРАЦІЇ

Технологія CoolGaN від Infineon стала надійною та високоефективною технологією для дискретних виробів, що добре зарекомендувала себе. Нещодавно з'явилася серія одноканальних і напівмостових, високовольних, нормально розімкнутих ключів CoolGaN IPS з інтегрованими драйверами.

На рисунку 3 у схематичному вигляді представлено простий у використанні посібник з інтегрованих і дискретних системних рішень на основі GaN, їхніх різних рівнів і функцій залежно від щільності інтеграції. У першому рядку цієї діаграми показано блоки контролерів і силових ключів з відповідними пасивними компонентами. Другий і третій рядки показують, що ізольовані драйвери GaN (iso-GaN) збільшують можливості керо-

ваних топологій на первинній і вторинній сторонах і ступінь інтеграції систем високої потужності. Третій і четвертий рядки представляють системне IPS-рішення, починаючи з простих у використанні IPS-каскадів з драйвером затвора, і закінчуючи інтегрованими системними рішеннями для конкретних застосувань, що містять в собі контролери для побудови спеціалізованих топологій.

Технологія CoolGaN IPS об'єднує один або кілька нормально розімкнутих ключів CoolGaN зі спеціалізованим драйвером затвора EiceDRIVER. Ці компоненти інтегровані в єдиний корпус QFN, що дає змогу скоротити місце, яке займає друкована плата, і, отже, створювати системи з малим форм-фактором, а також знизити загальні витрати. Інтеграція спрощує розробку, скорочуючи час виведення продукції на ринок.

Як приклад розглянемо напівмостовий 600-В ключ CoolGaN IPS у компактному корпусі QFN-28 розміром  $8 \times 8$  мм<sup>2</sup> з напівмостовим силовим каскадом із двох 600-В ключів CoolGaN, а також зі спеціалізованими драйверами затвора та ізоляцією (рис. 4).

Сімейство ключів CoolGaN IPS оснащено ШІМ-входами з функціональною ізоляцією і на одноканальних, і на двоканальних пристроях. Одноканальний пристрій призначений для ІДЖ потужністю від 100 Вт до приблизно 1 кВт. Двоканальний напівмостовий пристрій призначений для зарядних USB-пристроїв/адаптерів високої ємності.

Кожен виріб оптимізовано під застосування більшої потужності та ємності; при цьому його додавання в систему максимально спрощено. Наприклад, методи проектування друкованих плат із розділними секціями живлення зводять до мінімуму завади, що впливають на

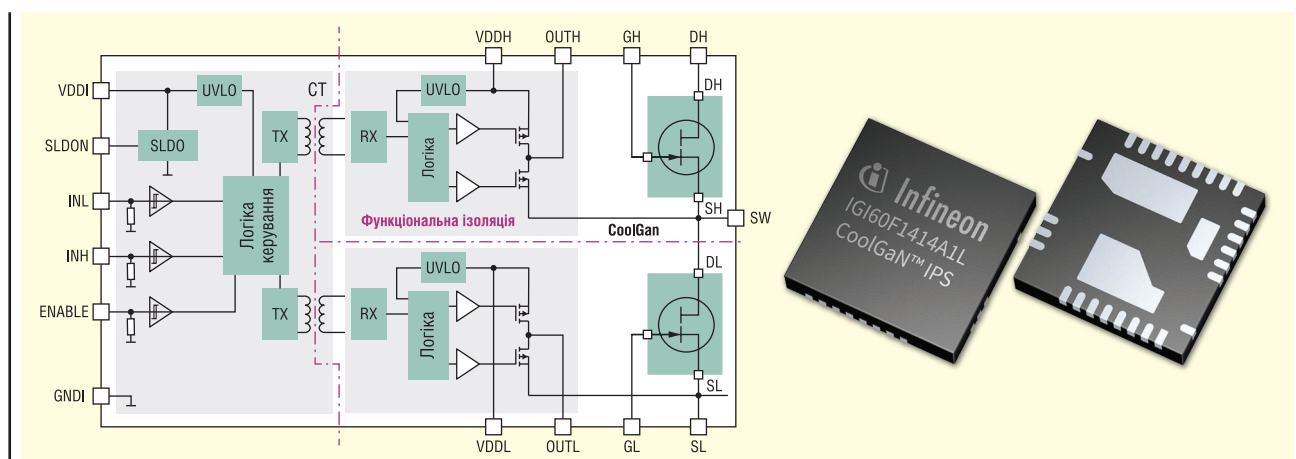
ділянки живлення з цифровим керуванням. Гальванічно ізольовані драйвери затвора теж забезпечують мінімальний рівень електромагнітних завад (ЕМЗ) для надійної роботи.

Інтеграція технології CoolGaN IPS підвищує міцність конструкції, точність синхронізації, спрощує експлуатацію, позбавляє втрат часу, необхідного для вибору драйвера затвора. Проектування системи зведено до мінімуму: по суті, розробнику потрібно всього лише забезпечити сигналом відповідні цифрові ШІМ-входи.

Кількість компонентів у специфікації скорочено завдяки відсутності необхідності в додатковій ІС ізолятора для керування високою бутстрепною стороною. Крім того, мала паразитна індуктивність комутаційного вузла всередині корпусу і на друкованій платі.

## ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ІНТЕГРОВАНІХ ПРИСТРОЇВ ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ GaN

Одним із найважливіших споживчих ринків джерел живлення є сегмент малопотужних зарядних пристроїв і адаптерів USB-PD (рис. 5). Зарядні пристрої, що поставляються зі смартфонами, у міру вдосконалення технології стають меншими і легшими. Вони забезпечують вищу потужність за тих самих розмірів пристрою, щоб зарядити його швидше. З'явилася також можливість заряджати кілька пристроїв від одного адаптера. До інших ринків, на яких потрібні рішення на основі GaN, відносяться джерела живлення для ПК-телевізорів, електроприводи та освітлення. У цих сегментах, головним чином, необхідні рішення з високою



**Рис. 4.** Структурна схема напівмостового IPS-модуля CoolGaN (а); зовнішній вигляд компонента в корпусі QFN розміром  $8 \times 8$  мм<sup>2</sup> (б)

питомою потужністю і силові перетворювачі з вищим ККД.

Це ідеальні ринки для інтегрованих рішень CoolGaN IPS. Системні витрати слід мінімізувати для чутливих до ціни споживачів, а найменший розмір зарядних пристроїв є конкурентною перевагою для постачальників продукції. Крім того, є вимоги щодо стійкості до стрибків напруги, захисної ізоляції, відповідності CE (EM3) і USB.

CoolGaN IPS IG160F1414A1L можна використовувати як універсальний зарядний USB-пристрій/адаптер із високою питомою потужністю не тільки в топології з активною схемою обмеження (AC-FB), а й з асиметричним резонансним напівмостом (ASHVFB). IG160F1414A1L поставляється в корпусі розміром 8x8 мм<sup>2</sup>, що значно скорочує займаний простір на друкованій платі порівняно з дискретними компонентами.

Під час роботи з м'яким перемиканням в обох топологіях енергія витоків відновлюється, що підвищує їхню ефективність на понад 1%, якщо порівнювати з топологіями з одним ключем. 1% — велика надбавка для застосувань такого роду. На практиці ККД IPS-модулів CoolGaN досягає приблизно 95% за меншої вихідної потужності близько 75 Вт. Вище цієї потужності ККД зазвичай трохи знижується приблизно до 93%.

Продовжуючи тему інтеграції, компанія Infineon пропонує повний асортимент виробів для системних зарядних пристроїв USBPD. До цього асортименту входять силові ключі CoolMOS і CoolGaN, а також автономні контролери протоколу EZ-PD USB.

Рішення CoolGaN IPS передусім призначені для застосувань із малою та середньою потужністю. За потреби забезпечити вищу потужність, наприклад для живлення ультратонких OLED-телевізорів, побутової техніки, промислового і телекомунікаційного обладнання, а також ЦОД, часто застосовують дискретні силові каскади (DPS).

### ТЕСТУВАЛЬНА ПЛАТА РОЗРОБНИКА ДЛЯ ЕКОНОМІЇ ЧАСУ РОЗРОБЛЕННЯ

Компанія Infineon пропонує тестувальну плату розробника EVAL\_NB\_GANIPS\_G1 (рис. 6), що дає змогу швидко налаштувати та протестувати напівмостові IPS-модулі CoolGaN.

За допомогою зовнішнього дроселя можна налаштувати напівмостову топологію тестувальної плати розробни-



## Унікальні ПЛІС за технологією flash-based

### PolarFire

- базовий розмір 28 нм
- від 100К до 500К логічних елементів
- програмний процесор RISC-V
- від 8 до 24 модулів SerDes по 12,7 Гбіт/с
- 2 модулі PCIe Gen.2
- унікальний форм-фактор:
  - 11x11 мм для щільності 100К
  - 11x14 мм для щільності 200К
  - 16x16 мм для щільності 300К



### Igloo2 та SmartFusion2

- базовий розмір 65 нм
- від 5К до 150К логічних елементів
- програмний процесор RISC-V
- апаратний процесор Cortex-M3
- до 16 модулів SerDes по 5 Гбіт/с
- до 4 модулів PCIe

### Igloo та ProASIC3

- базовий розмір 130 нм
- від 100 до 30К логічних елементів
- програмний процесор Cortex-M1
- корпуси від 3x3 мм

- впровадження в літаках:
  - Airbus A350
  - Boeing 787
  - Lockheed Martin F-35



### Чому?

- мінімальне енергоспоживання – на 50% менше, ніж конкурентні ПЛІС
- стійкість до збоїв конфігурації
- відсутність зовнішньої завантажувальної flash-пам'яті
- миттєва готовність до роботи після включення
- найменші розміри корпусів
- запобігання викраденню та клонуванню IP-ядер
- анти-тамперінг
- багата спадщина у цивільній та військовій авіації



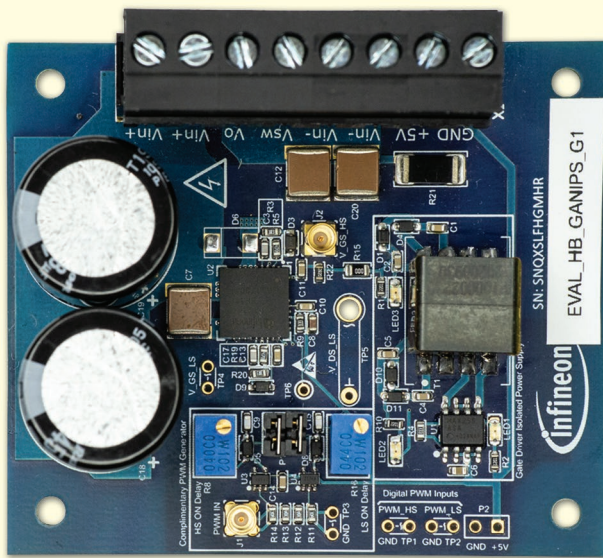
**Rainbow Technologies • [www.rainbow.com.ua](http://www.rainbow.com.ua)**

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46  
Тел./факс: +38 (044) 520 04 77 (78, 79)

**[ted@rainbow.com.ua](mailto:ted@rainbow.com.ua)**



**Рис. 5. Тенденції в розвитку застосувань із зарядними пристроями та адаптерами**

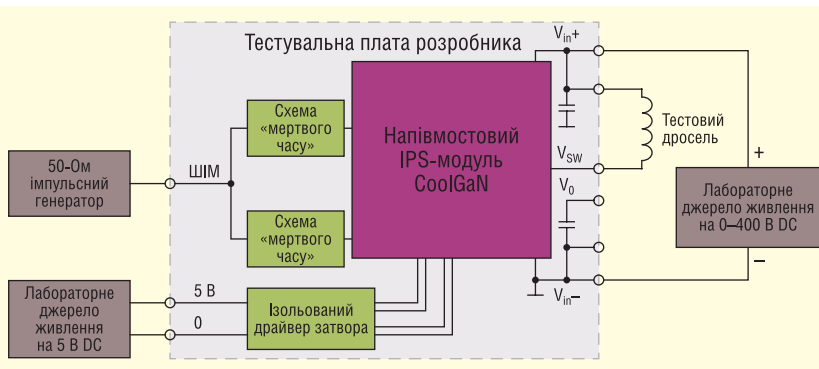


**Рис. 6. Зовнішній вигляд тестувальної плати розробника EVAL\_HB\_GANIPS\_G1**

ка для роботи в режимі підвищення або зниження, для імпульсного тестування або безперервної роботи на повній потужності до 100 Вт і частоті до 1 МГц. Плата забезпечує прямий доступ до логічних входів чипсета CoolGaN IPS для його керування зовнішнім мікроконтролером або цифровим сигнальним процесором.

Тестувальна плата розробника виключає необхідність у розробленні власних драйверів затвора і схеми живлення для оцінки функціонування GaN-ключів, даючи змогу заощадити дорогі інструменти.

На рисунку 7 показано типовий приклад використання тестувальної плати розробника для двоімпульсного



**Рис. 7. Типовий приклад використання тестувальної плати розробника (двоімпульсний тест)**

тестування. 5-В джерело забезпечує живлення логіки IPS-модуля і джерела живлення ізолюваного драйвера затвора. Напругу на шині постійного струму забезпечує джерело живлення 0–400 В, а вихідний ШІМ-сигнал видає лабораторний генератор імпульсів. Для підключення шини постійного струму до виходу комутаційного вузла потрібен тестовий дросель. Для спостереження і вимірювання його струму, а також напруги комутаційного вузла або будь-якого іншого сигналу на платі можна скористатися осцилографом.

## ВИСНОВКИ

Компанія Infineon має намір надати повний ряд технологій для дискретних силових ключів: CoolGaN, CoolSiC, IGBT, CoolMOS і OptiMOS. Вибір технології відповідного компонента залежить від багатьох показників.

Всупереч усій привабливості рішення на користь застосування ключів GaN HEMT у високочастотних застосунках, сумарні переваги GaN-приладів дають змогу використовувати їх замість колишніх ключів, розширивши таким чином частотний діапазон у більший бік.

Зробивши ще один крок на шляху збільшення ступеня інтеграції та зменшення впливу паразитних компонентів у застосуваннях з малою та середньою потужністю, компанія Infineon пропонує прості у використанні інтегровані прилади CoolGaN IPS, до складу яких входять силові ключі CoolGaN і драйвери. У цих приладах є суттєві переваги — мінімальні паразитні ефекти і найкраща керованість часу наростання і спаду ( $dV/dt$ ,  $dI/dt$ ).

Розробнику завжди доводиться обирати найкраще рішення, але використання інтегрованих силових компонентів як такого рішення є найкращим. Ці компоненти забезпечують високу ефективність, міцність конструкції, високу питому потужність і значну економію місця на друкованій платі.

**Більш детальну інформацію можна отримати, звернувшись до партнера компанії Infineon на території України — компанії Rainbow Technologies:**

**04112, Україна, м. Київ,  
вул. Дегтярівська, 62, оф. 46,  
тел./факс: (044) 290-41-69,  
(044) 290-41-82,  
e-mail: svl@rainbow.com.ua,  
www.rainbow.com.ua**

СН