

Перспективи використання GaN-технології для керування електроприводом

Ерік Персон (Eric Persson), Infineon Technologies

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Віталій Шевченко, Rainbow Technologies, технічний спеціаліст

E-mail: svl@rainbow.com.ua

GaN-кристали, які використовують в інтелектуальних силових модулях (Intelligent Power Module, IPM) для керування електроприводами з вбудованими лінеаризувальними конденсаторами, дають змогу значно зменшити втрати потужності, порівнюючи з кремнієвими технологіями.

ВСТУП

З розвитком промислової, офісної та домашньої автоматизації електроприводи дедалі частіше застосовують для виконання широкої низки функцій, починаючи з керування роботизованими руками і закінчуючи побутовими пральними машинами. Сучасні двигуни мають бути «розумними», щоб забезпечити гнучке керування рухом, більшу функціональність та енергоефективність. Водночас потрібно, щоб промислові вироби були компактними і легкими, а комерційна продукція мала дуже низьку вартість.

Вищий рівень керування досягається під час використання для керування електроприводами інверторів напруги, які зазвичай генерують трифазний змінний струм зі змінною частотою та амплітудою для керування швидкістю, крутним моментом і напрямком обертання двигуна. Для модулювання напруги в інверторі застосовується, як правило, частота близько 16 кГц і широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) для управління вихідною напругою. Кремнієві MOSFET дають змогу збільшити робочу частоту на порядок, але переваги її підвищення в електроприводах, що полягають у зменшенні розмірів магнітних елементів, не є цілком оче-

видними: власне двигун є «магнітним» елементом, розміри якого залежать від конкретного застосування. Отже, забезпечення низької частоти є цілком розумним рішенням для мінімізації комутаційних втрат.

Швидкі зміни напруги dV/dt , які спостерігаються у високочастотних пристроях, наприклад MOSFET, створюють навантаження на ізоляцію обмотки двигуна у вигляді викидів напруги або дзенькоту, що призводить до пробоя і часткових розрядів. Крім того, збільшуються електромагнітні завади (ЕМЗ), що вимагає встановлення додаткових фільтрів, а синфазні струми цих завод можуть проходити через підшипники двигуна на землю, спричиняючи їхнє механічне зношення.

ВБУДОВУВАНІ СИЛОВІ МОДУЛІ

Всупереч уявній відсутності переваг високочастотної комутації, IGBT-ключі, як і раніше, широко поширені. Однак, щоб підвищити ефективність, застосовують і Si MOSFET, у яких швидкість наростання і спаду фронтів імпульсів під час комутації зменшується завдяки меншій швидкості dV/dt у колі затвора, використанню снаберів, зовнішніх послідовних і синфазних філь-

трів на виході трифазного драйвера. За малих і середніх потужностей у MOSFET менші втрати провідності, ніж в IGBT, і, безумовно, менші комутаційні втрати. Прилади обох типів пропонуються у вигляді так званих «інтелектуальних силових модулів», або IPM-модулів, у які зазвичай інтегровано шість ключів, а також драйвери затворів і функції захисту.

ВИКОРИСТАННЯ GAN-КЛЮЧІВ

IPM-модулі на основі кремнієвих MOSFET забезпечують високу ефективність. Її подальше підвищення не тільки сприяє заощадженню енергії та грошових коштів, а й дає змогу створювати вироби з покращеними масогабаритними показниками і дешевшими тепловідводами. Переваги очевидні, якщо в результаті такого удосконалення можна позбутися необхідності використовувати ненадійний вентилятор або встановити інвертор напруги меншого розміру поруч із двигуном у маніпуляторі робота, а не у віддаленій шафі. Наразі на ринку пропонуються більш ефективні пристрої на основі GaN-транзисторів з високою рухливістю електронів (*High Electron Mobility Transistor, HEMT*). У приладів Infineon, в яких застосовується ця технологія з широкою забороненою зоною, — менші втрати провідності, ніж у схожих кремнієвих MOSFET. Вона може стати ключовою для реалізації згаданих вище переваг, набагато перевершивши перевагу кремнієвих MOSFET у питомій вартості.

КЛЮЧ ДО УСПІХУ — КОНТРОЛЬ НАД dV/dt

Швидкість наростання і спаду фронтів GaN-ключів, наприклад CoolGaN, дуже висока — вона може вимірюватися сотнями кВ/мкс. Це чудова характеристика мініатюрних AC/DC- і DC/DC-перетворювачів, що працюють на частоті 1 МГц і вище. Однак використання цих ключів в електроприводах, що працюють на малих частотах, практично не дає переваг порівняно з і без того мінімальними комутаційними втратами в більш ранніх технологіях. До того ж посилюються проблеми, пов'язані з електромагнітними завадами, брязкотом і спрацюванням підшипників. Таким чином, швидкості наростання і спаду необхідно контролювати до більш прийнятної рівня. Якщо метою застосування є забезпечення високої ефективності, снаberi та зовнішні фільтри з втратами не є кращим вибором, і слід розглянути можливість зменшити швидкість сигналу керування затвором.

Як правило, у такому разі в коло затвора встановлюють послідовний опір, який утворює RC-фільтр із ємністю затвора, сповільнюючи процес перемикання. При цьому часто використовуються два резистори з діодним керуванням для незалежного контролю над замиканням і розмиканням ключа. Такий метод є стандартним для Si MOSFET, але з GaN-ключами виникає проблема — ємність затвора змінюється в діапазоні трьох декад залежно від умов експлуатації, тоді як у випадку з MOSFET цей діапазон набагато менший. Отже, введена затримка змінюється великою мірою, спричиняючи відповідну зміну швидкості dV/dt . Для надійної роботи двигуна швидкість наростання і спаду фронтів не повинна перевищувати 5 кВ/мкс (5 В/нс). Таким чином, якщо номінали резисторів обрано для найгіршого сценарію, за інших умов швидкість dV/dt буде набагато меншою, і ефективність значно погіршиться (див. рис. 1).

Зміна сумарної ємності затвора C_{RSS} здебільшого пов'язана з ефектом Міллера, коли ємність затвор-стік C_{GD} збільшується під впливом напруги стоку, що переходить із високого стану в низький і назад. При цьому певну роль відіграє змінна вхідна C_{OSS} і вхідна C_{ISS} ємності пристрою.

Ефективним рішенням для оптимізації швидкості наростання і спаду фронтів є вибірка напруги стоку за допомогою конденсатора, який генерує струм, пропорційний dV/dt . Струм повертається в схему керування затвором для контро-

RAINBOW

TECHNOLOGIES

ODU

A PERFECT ALLIANCE.

Наступне покоління рознімачів для модернізації військової техніки — рознімачі серії ODU AMC

Радіотелефонія та передача даних по радіоканалу

- Відмінне екранування
- Відмінні характеристики

З'єднання з каскою

- Мінімальні розміри / низькопрофільний рознімач

Прилади нічного бачення / дисплеї TFR

- Версія з підпружиненими контактами rого pin

Персональний комп'ютер

- Малий розмір
- Мала вага
- Можливе колірне кодування

Модуль навігації

- Версія з простим очищенням контактів

Обмін даними з автомобілем

- З'єднання-роз'єднання під навантаженням

Блок управління, що носитья

- З'єднання кабель-кабель

GPS антена

- Коаксіальні рознімачі розміру "0"
- Push-pull застосовка

www.odu.de

Rainbow Technologies

www.rainbow.com.ua

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46
Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82

esp@rainbow.com.ua

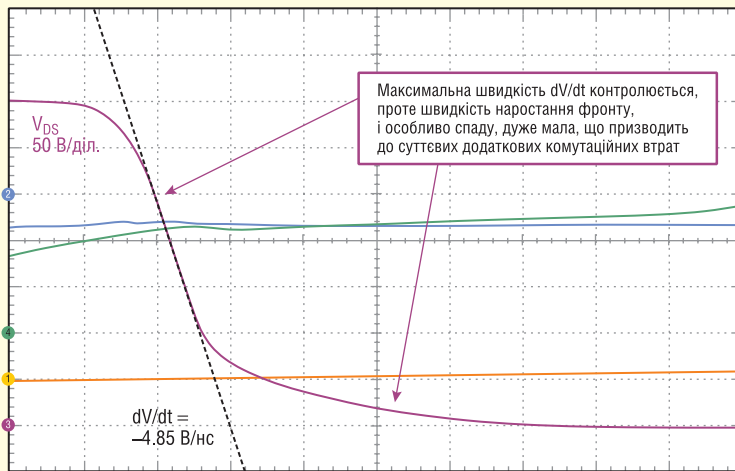


Рис. 1. Додавання резистора затвора обмежує зміну швидкості dV/dt

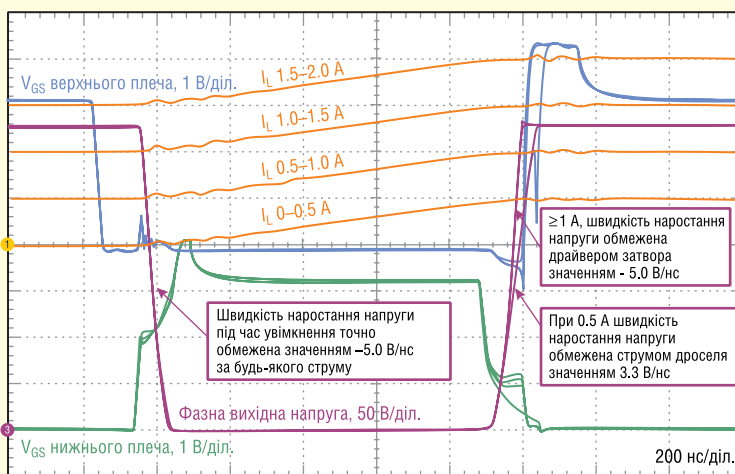


Рис. 2. Швидкість наростання і спаду фронтів обмежена у всіх випадках при використанні лінеаризувального GaN-конденсатора

до менших значень під час зниження навантаження.

Розроблена методика дала змогу компанії Infineon створити IPM-модулі зі значно більшою ефективністю, ніж у Si MOSFET для одного й того самого застосування, під час контролю швидкості наростання і спаду фронтів до прийнятних значень. Порівняння технологій у таблиці 1 показує, що втрати зменшуються майже вдвічі за однакового підвищення температури електропривода завдяки кращому опору відкритого каналу GaN-приладу в IPM-модулі. У результаті можна відмовитися від використання радіатора або керувати більшими двигунами за того самого розміру електропривода. В обох випадках витрати скорочуються.

ВИСНОВКИ

Кристали GaN в IPM-модулях, які використовуються в електроприводах двигунів із вбудованими лінеаризувальними конденсаторами, дають змогу істотно зменшити втрати потужності, як порівняти з кремнієвими технологіями, не спричиняючи проблем із високою швидкістю фронтів, наявність яких може вплинути на надійність і відповідність вимогам до ЕМЗ. Компоненти Infineon довели свою стійкість до високих навантажень і коротких замикань, що часто виникають в електроприводах двигунів.

GaN-ключі перестали бути екзотикою — їхні переваги продемонстровано в перетворювачах постійного струму. Ці компоненти дають змогу скоротити системні витрати на електроприводи, переважаючи незначну перевагу аналогів у комутаційній технології.

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

лю над струмами заряду і розряду затвора, щоб забезпечити постійну швидкість наростання і спаду за всіх умов. Однак така реалізація проблематична через додавання високовольтного конденсатора, який нелегко встановити в IPM-модуль як дискретний компонент. Крім того, збільшується не тільки вартість такого рішення, а й складність додаткових дротових з'єднань із контролерами в IPM-модулі. Було також встановлено, що паразитна індуктивність у з'єднанні конденсатора може призвести до стійких коливань і відмови пристрою.

Конденсатор можна було б виготовити як частину GaN-кристала і забез-

печити його з'єднання за допомогою дротів, але інженери Infineon дійшли висновку, що встановлення дуже малого конденсатора в кристал GaN між стоком і затвором чинить значний «лінеаризуючий» вплив на загальну ємність. Величина ємності цього конденсатора дорівнює 1.2 пФ, що приблизно вдвічі перевищує сумарну ємність затвора. Втрати драйвера затвора збільшуються, але в будь-якому разі вони незначні. Цей ефект показано на рисунку 2, де швидкість фронтів точно обмежена величиною 5 В/нс; водночас dV/dt природно падає

Таблиця 1. Можливості IPM порівняно з технологіями перемикачів MOSFET і GaN

	Пристрій	Транзистори	$R_{DS(ON)}$ (тип.)	Струм фази	Потужність двигуна	Підвищення наданої потужності
Si IPM (в наявності)	IRSM836	Trench FREDFET	Різний	Різний	Різні	0%
Si IPM (в розробці)	IMMxx-046M	CoolMOS SJ MOSFET	1.4 Ом	0.54 А (СКЗ)	117 Вт	134%
GaN IPM (прототип)		CoolGaN eMode HEMT	0.8 Ом	1.04 А (СКЗ)	226 Вт	352%

Примітка. СКЗ — середньоквадратичне значення