

3.3-кВ IGBT4 розширюють горизонти густини потужності

Євген Обжерін (Evgeny Obzherin), Infineon Technologies
Маттіас Бюргер (Matthias Buerger), Infineon Technologies

Протягом багатьох років компанія Infineon Technologies послідовно вдосконалювала характеристики модулів IGBT 3.3 кВ у промисловому високовольтному корпусі (*Industrial High-Voltage, IHV*). Впровадження новітніх технологій кристалів IGBT4 і EC4 з робочою напругою 3.3 кВ і покращеними електричними характеристиками дає змогу створювати модулі з номінальним струмом до 2400 А в корпусах серії IHV – В (IHV B). Можливості нових силових ключів роблять їх особливо привабливими для таких застосувань, як тягові перетворювачі, середньовольтові приводи (*Medium-Voltage Drives, MVD*) і перетворювачі для високовольтної передачі DC-енергії (*High-Voltage DC, HVDC*), де основна увага приділяється підвищенню густини потужності без шкоди для надійності.

Одна з основних тенденцій силовій електроніці — постійне збільшення густини потужності. Це особливо актуально для таких відповідальних застосувань, як тягові середньовольтові приводи (MVD) і високовольтні системи передавання постійного струму (HVDC), до яких висуваються найсуворіші вимоги щодо граничних електричних характеристик і надійності.

Для того, щоб відповідати останнім вимогам силовій електроніці, компанія Infineon розробила технології кристалів IGBT4 і EC4 3.3 кВ з підвищеною густиною струму, високою стійкістю до електричних перевантажень і дві-

чі покращеною стійкістю до активного термоцикування, порівнюючи з попереднім поколінням IGBT3 3.3 кВ. Використання нових чипів IGBT4 і EC4 3.3 кВ дає змогу на 60% підвищити густину струму модуля в корпусі IHV B, порівнюючи з аналогічними за розміром (190 × 140 мм, рис. 1) ключами IGBT3, які мають максимальну на сьогодні густину струму. У результаті величина I_{Cnom} збільшена з 1500 А для покоління IGBT3 до 2400 А для покоління IGBT4. Ще один модуль у лінійці IGBT4 з робочою напругою 3.3 кВ у корпусі меншого розміру (130 × 140 мм) має $I_{Cnom} = 1600$ А. Таким чином, густина струму цього ключа на

56% вища, ніж у 1500-А ключа попереднього покоління. Подвоєння цього показника демонструється під час порівняння напівпровідникових приладів IGBT3 на 1200 А та IGBT4 на 2400 А, що мають однакові корпуси.

Настільки помітного підвищення густини струму вдалося досягти завдяки доопрацюванню топології підкладки й схеми внутрішніх з'єднань, що дало більше місця для встановлення чипів і дало змогу збільшити їхню активну площу. У поєднанні з оптимізованою концепцією емітера IGBT4 це призвело до значного скорочення статичних втрат. У кристалах діодів EC4 також використано нову структуру емітера, що в поєднанні зі зменшеною товщиною чипів знижує втрати провідності.

Збільшення густини струму вимагає підвищення надійності роботи силових ключів у динамічних режимах. З цією метою розроблено чипи IGBT4 з робочою напругою 3.3 кВ, що гарантують струм відключення 4800 А для модуля з $I_{Cnom} = 2400$ А. У поєднанні з оптимізованою швидкістю вимкнення в такий спосіб вдалося підвищити надійність модулів 1600 і 2400 А в межах сфери безпечної роботи за умови зворотного зсуву (RBSOA), що підтверджується характеристиками комутації за подвійного номінального струму ($2 \times I_{Cnom}$), показаними на рисунку 2.

Зростання номінального струму зазвичай призводить до збільшення розсіяваної діодом потужності. У модуля IGBT4 2400 А на 125% розширено межі області безпечної роботи (SOA) діода порівняно з IGBT3 1500 А]. На рисунку 3 показано процес вимкнення діода з високим di/dt при $V_{CE} = 2400$ В і $I_C = 4800$ А. Явно видно пік потужності зворотного відновлення, що досягає $P_{ROM} = 5.4$ МВт і знаходиться в межах меж SOA.

До модулів IGBT, що застосовуються в тягових приводах, висуваються

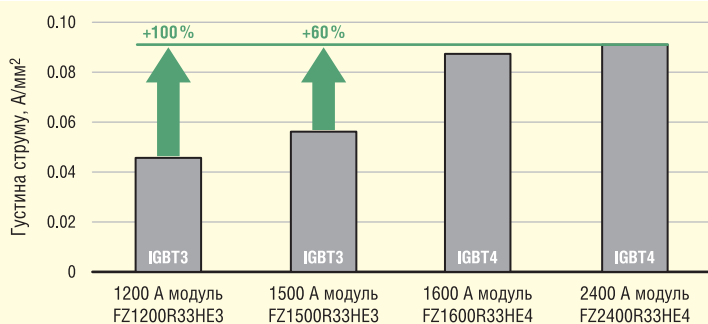


Рис. 1. Збільшення густини потужності новітніх 3.3-кВ модулів IGBT4

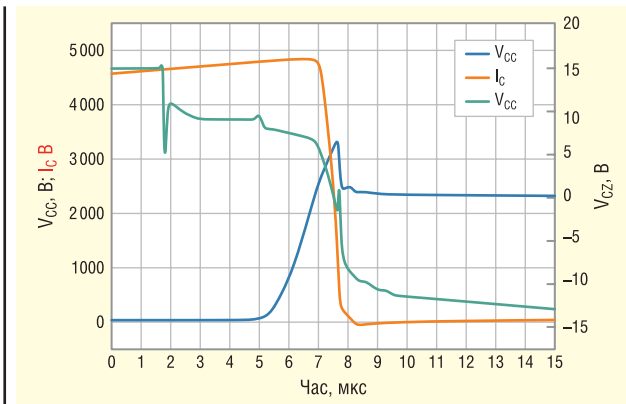


Рис. 2. Вимкнення діода FZ2400R33HE4 за $I_c = 4800$ А, $V_{CE} = 2400$ В

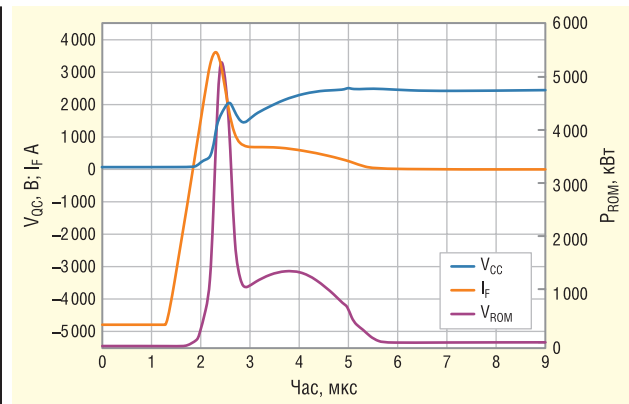


Рис. 3. Вимкнення діода FZ2400R33HE4 за $I_r = 4800$ А, $V_{CE} = 2400$ В

найжорсткіші вимоги в силовій перетворювальній техніці. Постійні прискорення та уповільнення рухомого складу створюють екстремальні струмові навантаження на модуль. Крім того, велика кількість пусків і зупинок призводить до прискореного старіння зв'язків в IGBT-модулях, які повинні надійно функціонувати протягом типового терміну служби 30 років. Подвоєння стійкості до термоцикування завдяки використанню новітніх технологій IGBT4 та EC4 є важливою особливістю цих ключів у частині тягових застосувань. Це дає змогу збільшити градієнт температурного циклу і, як наслідок, підвищити пікову температуру чипів IGBT4 у застосуваннях, чій можливості обмежені стійкістю до циклування потужності.

На рисунку 4 показано два графіки залежності кількості термоциклів від градієнта температури кристалів ΔT_{vj} для модулів IGBT4 та IGBT4 IHV B із робочою напругою 3.3 кВ. У такому разі величину ΔT_{vj} визначено як 50 К для модуля IGBT3 і 58 К для IGBT4. Якщо припустити, що температура кристалів падає до температури довкілля $T_{AMB} = +50$ °C на кожному циклі навантаження, її пікову величину для модулів IGBT3 обмежуватимуть на рівні +100 °C, а для IGBT4 — +108 °C. Різниця у 8 °C вказує на те, що стійкість до термоцикування модулів IGBT4 удвічі вища, ніж в IGBT 3.

Виходячи з описаних умов застосування, за допомогою ПЗ IPOSIM виконано моделювання електричних режимів дворівневої топології інвертора з високоефективними ро-



RADIODETAILI

ВЕЛИКИЙ ВИБІР РАДІОДЕТАЛЕЙ!

Інтернет-магазин вул. Івана Світличного, 4
(044) 392 22 71 (067) 462 22 71

«Радіоринок», Караваєві Дачі, вул. Ушинського, 4

Павільйон 9В
(044) 242 20 79
(067) 445 77 72

Павільйон 9В+
(068) 599 56 99

Павільйон 17Б
(063) 105 90 01
(096) 303 90 01

RADIODETAILI.COM.UA

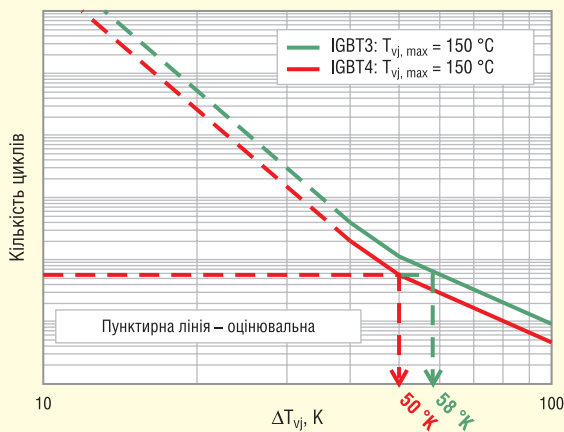


Рис. 4. Діаграми термоциклування 3.3-кВ модулів IGBT3 та IGBT4 IHV B

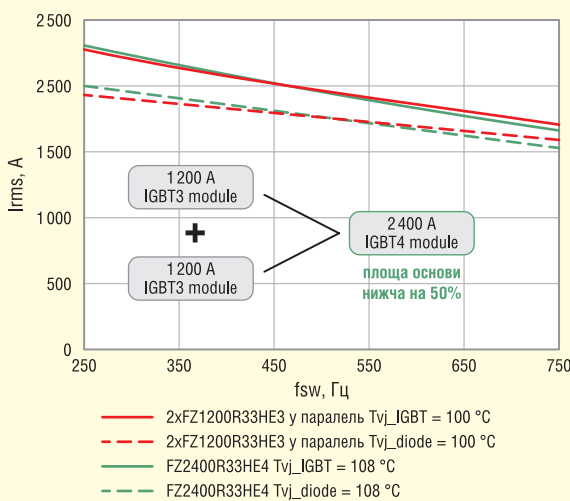


Рис. 5. Порівняльні електричні характеристики двох паралельних модулів FZ1200R33HE3 та одного FZ2400R33HE4, режими вимірювання: $V_{CC} = 1800 \text{ В}$, $T_{AMB} = +50 \text{ °C}$, $f_{out} = 50 \text{ Гц}$, $m = 0.9$, $\cos \varphi = 1$ (IGBT), $\cos \varphi = -1$ (діод)

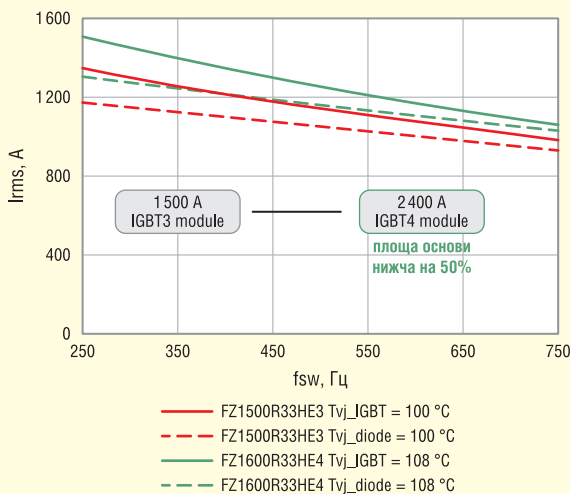


Рис. 6. Порівняльні електричні характеристики модулів FZ1500R33HE3 та FZ1600R33HE4, режими вимірювання: $V_{CC} = 1800 \text{ В}$, $T_{AMB} = +50 \text{ °C}$, $f_{out} = 50 \text{ Гц}$, $m = 0.9$, $\cos \varphi = 1$ (IGBT), $\cos \varphi = -1$ (діод)

діаторами рідинного охолодження ($R_{thHA} = 5 \text{ К/кВт}$ для IHV B $190 \times 140 \text{ мм}$ і $R_{thHA} = 7 \text{ К/кВт}$ для IHV B $130 \times 140 \text{ мм}$). На рисунку 5 представлено порівняння навантажувальних характеристик двох паралельних модулів 1200 А IGBT3 FZ1200R33HE3 і модуля 2400 А IGBT4 FZ2400R33HE4. З рисунка видно, що навантажувальна здатність ($I_{out,RMS}$) одного IGBT4 2400 А така сама, як у двох IGBT3 1200 А, увімкнених паралельно.

Другий приклад (рис. 6) демонструє можливість заміни модуля IGBT3 1500 А FZ1500R33HE3 (розмір $190 \times 140 \text{ мм}$) на FZ1600R33HE4 IGBT4 з номінальним струмом 1600 А в корпусі меншого розміру $130 \times 140 \text{ мм}$. Середньоквадратична величина вихідного струму IGBT4 на 4–10% вища, ніж в IGBT3 1500 А, який має більший корпус. Це дає змогу скоротити площу тепловідведення на 30%.

ВИСНОВКИ

Високовольтні 3.3-кВ модулі IHV B, створені із застосуванням технологій IGBT4 й EC4, демонструють чудові характеристики в таких застосуваннях, що вимагають високої стійкості до термоциклування. Силевий ключ IGBT4 1600 А може замінити елемент попереднього покоління IGBT3 1500 А і тим самим зменшити розмір радіатора і всього перетворювача. Для збільшення потужності можна застосувати модуль IGBT4 2400 А замість паралельного з'єднання двох IGBT3 з номінальним струмом 1200 А.

CN

НОВА МІКРОСХЕМА КЕРУВАННЯ ЖИВЛЕННЯМ

Асортимент мікросхем керування живленням (Power Management IC, PMIC) OPTIREG™ забезпечує високоефективне регулювання напруги, пропонуючи архітектури до і після регулятора з DC/DC і лінійними регуляторами, а також трекарами. На додаток до живлення в них вбудовані додаткові функції моніторингу та керування, що дозволяє клієнтам розробляти автомобільні блоки керування для систем, пов'язаних з безпекою. Для подальшої підтримки розробників компанія Infineon Technologies AG розширила сімейство OPTIREG PMIC завдяки OPTIREG PMIC TLF35585, інтегрованому багаторейковому джерелу живлення для вимогливих автомобільних систем. TLF35585 забезпечує надійне живлення для мікроконтролерів AURIX™ та інших мікроконтролерів і дозволяє створювати надійні системи з найвищими вимогами до функціональної безпеки. Тому нові джерела живлення ідеально підходять для забезпечення функціональної безпеки в суворих автомобільних умовах, зокрема, в шасі, силовому агрегаті, системі керування та трансмісії.

TLF35585 PMIC має попередній регулятор, який живить шини пост-регулятора для живлення мікроконтролера, комунікаційного живлення і точного опорного значення напруги. Вона також має два трекари, які слідкують за опорною напругою для живлення зовнішніх датчиків. Основні функції контролю TLF35585 включають конфігурований віконний сторожовий таймер (time-based trigger), функціональний сторожовий таймер (question and response-based trigger), моніторинг виводів помилок, а також моніторинг напруги. Для взаємодії з мікроконтролерами також доступні 16-розрядний SPI, функції переривання і скидання. Пристрій відповідає стандарту ISO 26262 для систем до ASIL D і підтримує розширений діапазон температур переходу до 175 °C.

www.infineon.com