

SiC-прилади в коректорі коефіцієнта потужності зарядної станції електромобілів

Мін Чжоу (Ming Zhou), Андреа Піччоні (Andrea Piccioni)

Переклад та редагування: Віталій Шевченко, Rainbow Technologies

E-mail: svl@rainbow.com.ua

У статті аналізуються тенденції розвитку технологій зарядних станцій постійного струму для електромобілів (EV, Electric Vehicle). Розповідається про поточну ситуацію з приладами з карбіду кремнію (SiC) та їхні переваги. Представлено трифазний випрямляч для односпрямованих зарядних пристроїв за топологією Vienna, топологію активного дворівневого, трифазного випрямляча, а також рішення для двоспрямованих зарядних пристроїв на базі SiC-ключів.

РОЗВИТОК DC-ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Уряди багатьох країн, де останнім часом переважає «екологічне мислення», що вимагає як мінімум скорочення викидів вуглекислого газу, все більше уваги приділяють розвитку електротранспорту. Проте на вибір електромобіля впливають такі фактори, як слабкість інфраструктури і тривалий час його заряджання. Станції змінного струму

підходять для заряджання батареї удома або на роботі, оскільки номінальна потужність сучасних бортових зарядних пристроїв зазвичай не перевищує 11 кВт, що потребує 8–10 год для повного заряджання. Однак при тривалих поїздках, наприклад у відпустку, споживачі хотіли б істотно скоротити цей час.

Зарядні станції постійного струму (DC), що містять AC/DC-інвертор та ізолюваний DC/DC-конвертор мають більшу потужність, ніж AC-пристрої. Номінальна потужність DC EV зарядних блоків, розроблених на основі дискретних приладів, наразі становить 11–22 кВт, у найближчому майбутньому цей показник має збільшитися до 30–50 кВт.

Використання декількох паралельних DC EV блоків підвищує номінальну потужність з 120 до 360 кВт, що дає змогу зарядити акумулятор до 80% ємності менш ніж за півгодини. Завдяки цій можливості в поєднанні зі швидким розвитком індивідуального електротранспорту, ринок зарядних пристроїв DC EV в останні роки переживає бурхливе зростання. Однак для збереження високих темпів розвитку галузі необхідно розв'язати низку технічних проблем, пов'язаних із надійністю, ефективністю та питомою потужністю. Нове покоління силових напівпровідникових карбідокремнієвих приладів сприяють вирішенню цих завдань. У даній статті представлено рішення на базі SiC-ключів, що використо-

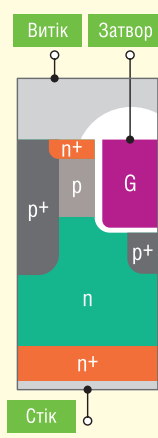


Рис. 1. Структура комірки CoolSiC MOSFET

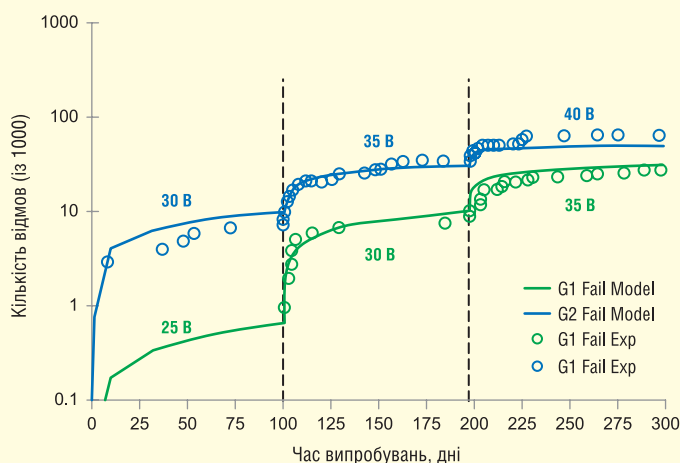


Рис. 2. Тест на перенапругу за VGS

вуються в коректорі коефіцієнта потужності (ККП) зарядних пристроїв постійного струму.

ЗАСТОСУВАННЯ КАРБІДУ КРЕМНІЮ

Останніми роками активно ведеться розробка широконіжних напівпровідникових матеріалів і приладів на їхній основі. Застосування SiC-транзисторів, що мають низькі втрати перемикачання, дає змогу збільшувати частоту комутації. Завдяки цьому SiC-ключі широко використовуються в DC EV заряджувачах, сонячних інверторах, джерелах безперебійного живлення (*Uninterruptible Power Supply, UPS*) та імпульсних джерелах живлення (*Switched Mode Power Supply, SMPS*).

Багато провідних виробників, зокрема Infineon, використовують Trench-структуру затвора (рис. 1), що забезпечує стабільність характеристик оксидного шару у ввімкненому і вимкненому станах. Для демонстрації надійності оксиду затвора було проведено спеціальні тести, результати яких проілюстровано на рисунку 2. Крім вищезазначених переваг, транзистори CoolSiC MOSFET мають вищу порогову напругу, мають стійкість до короткого замикання, вони дають змогу контролювати параметр dV/dt у широких межах.

Однією з відомих проблем є дрейф порогової напруги затвора $V_{GS(th)}$ SiC MOSFET під час тривалої експлуатації. У технічній документації на CoolSiC містяться рекомендації, що дають змогу обмежити пов'язане з цим збільшення опору відкритого каналу ($R_{DS(on)}$), який найбільшою мірою впливає на продуктивність перетворювача [1–5].

ККП ДЛЯ DC EV ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ

Водноспрямованих DC-заряджувачах зазвичай використовують ККП, виконаний за так званою топологією Vienna, DC/DC-конвертор з резонансним перетворювачем LLC і мостовий випрямляч (рис. 3). Існує ще одна поширена DC/DC-схема, що містить повний міст із фазовим зсувом (*Phase-Shifted Full Bridge, PSFB*), що відрізняється топологією і методом керування. У коректорі коефіцієнта потужності DC EV блоку можуть використовуватися діоди Si або SiC з напругою 1200 В як діоди D1–D6, CoolMOS MOSFET і Trench IGBT5 для ключів SW1–SW6. У нашому випадку в первинному каскаді LLC DC/DC встановлено CoolMOS MOSFET серії CFD, у вторинному каскаді — діоди Rapid Si або Infineon CoolSiC з напругою 650 В. Через широкий діапазон вихідної напруги (зазвичай 200–1000 В DC) у схемі використовуються реле, що з'єднують мостові випрямлячі послідовно або паралельно.

У статті основну увагу приділено реалізації ККП у зарядних пристроях постійного струму. Топологія Vienna широко розповсюджена в односпрямованих DC EV системах, як показано на рисунку 4. Струм зворотного відновлення I_{rr} SiC-діодів помітно нижчий, ніж у Si-діодів, причому ця складова струму проходить через ключі SW1–SW6 під час їхнього відкривання. Таким чином, зниження величини I_{rr} дає змогу зменшити втрати ввімкнення SW1–SW6. З цієї причини SiC-діоди напругою 1200 В широко використовуються в односпрямованих DC зарядних пристроях для підвищення ефективності. Зменшення втрат потужності означає зниження

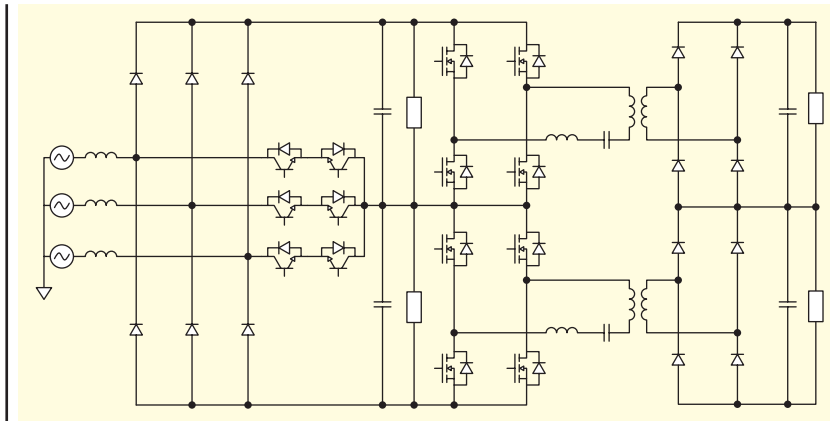


Рис. 3. Топологія зарядного пристрою DC EV

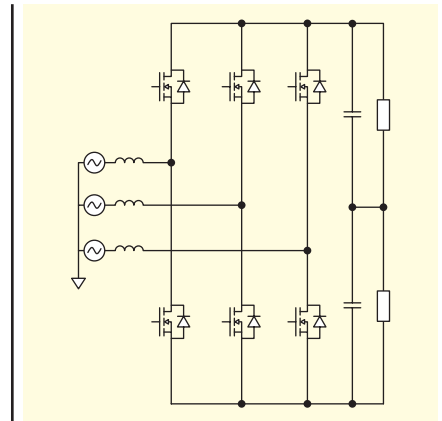


Рис. 5. Трифазний мостовий інвертор (В6)

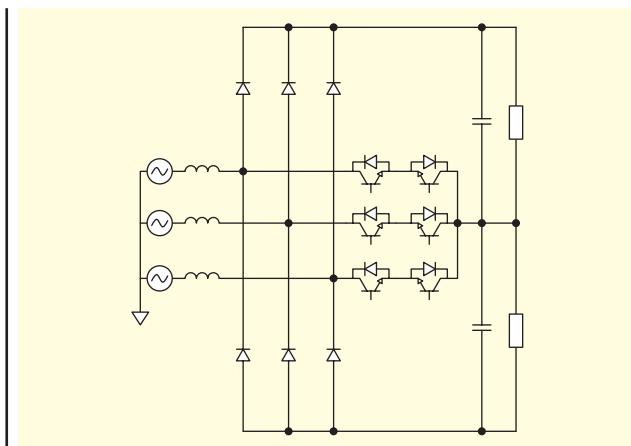


Рис. 4. Схема ККП за топологією Vienna

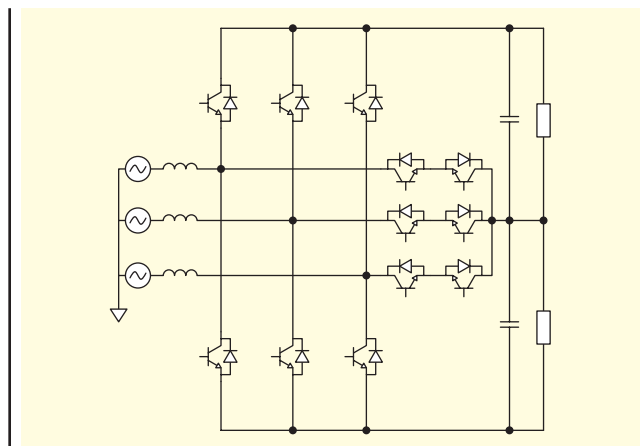


Рис. 6. Топологія NPC2

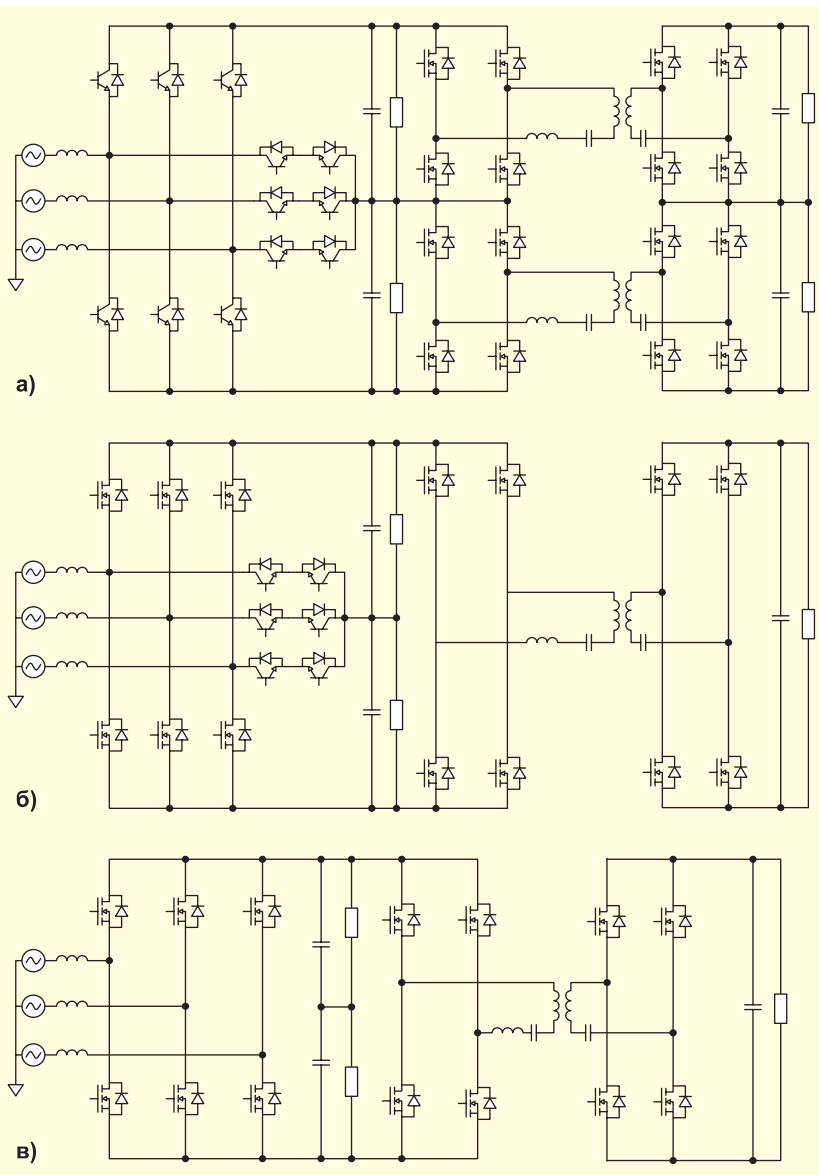


Рис. 7. Двоспрямований DC EV заряджувач: топологія А (а); топологія В (б); топологія С (в)

електроенергії або під час стоянки (у кемпінгу). Цей режим також відомий як V2G (*Vehicle-to-Grid*), до його переваг можна віднести зниження загальної вартості експлуатації електромобіля і підвищення стабільності мережі. Цю технологію, безумовно, використовуватимуть надалі, а двоспрямований зарядний пристрій має стати трендом для DC EV заряджувачів.

Як показано на рисунку 7б, використання 1200-В транзисторів CoolSiC MOSFET для заміни 600 В/650 В CoolMOS у DC/DC-конверторі та використання схеми В6 замість NPC2 (рис. 7в) дає змогу зменшити кількість силових модулів і спростити керування системою. Це дає можливість підвищити ефективність і густину потужності двоспрямованих зарядних пристроїв DC EV, а також знизити їхні габарити та вагу.

**ВИБІР ТОПОЛОГІЇ ККП
ДЛЯ ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ
ПОТУЖНІСТЮ 15 кВт**

Як було зазначено у вступній частині, існує кілька різних шляхів реалізації односпрямованих і двоспрямованих DC EV зарядних пристроїв. У цій статті основну увагу приділено порівнянню ефективності та вартості коректора коефіцієнта потужності, а також напрацюванню рекомендацій щодо вибору односпрямованого та двоспрямованого варіантів схеми. У таблицях 1 і 2 показано варіанти комплектації для трифазного ККП потужністю 15 кВт. Рішення, що одночасно використовує Si і SiC-прилади, називається гібридним.

У результаті моделювання пристрою в умовах, показаних у таблицях 1 і 2, отримано криві залежності втрат потужності від частоти перемикання (рис. 8). Із графіка для односпрямованого ККП на рисунку 8а видно, що гібридна топологія Vienna ККП із діодом CoolSiC 1200 В має майже такі самі характеристики, як і рішення CoolSiC MOSFET В6, і кращі економічні показники, ніж у В6. З кривої для двоспрямованої системи на рисунку 8б зрозуміло, що рішення Si NPC2 має найвищі втрати потужності, у гібридного NPC2 цей показник кращий, ніж у Si NPC2, а схема В6 з CoolSiC

температури кристалів силових модулів, що еквівалентно підвищенню надійності або збільшенню густини потужності.

Трифазна мостова схема (В6) також широко застосовується в DC EV заряджувачах, як показано на рисунку 5. Ця схема може працювати як інвертор, тому її використовують і в системах із двоспрямованим передаванням енергії. Якщо діоди ККП і випрямлячі діоди (D1–D14) на рисунку 3 міняються на силові ключі, то ми отримуємо схему з

нейтраллю, що фіксує (NPC2, рис. 6), і двоспрямований DC/DC-конвертор (CLLC, або подвійний активний міст). Загальна схема, показана на рисунку 7а, є двоспрямованим зарядним пристроєм.

Можливість двоспрямованої передачі енергії в DC EV заряджувачі звичайно означає можливість розрядки акумулятора в мережу, електрообладнання або інші електромобілі, коли рівень заряду батареї високий або за інших умов, наприклад, у разі вимкнення

Таблиця 1. Односпрямований ККП		
	D1–D6	SW1–SW6
Si «віденська» схема ККП	Si топологія Vienna ККП	650-В IGBT
Гібридна топологія Vienna ККП	1200-В SiC-діод	650-В IGBT
SiC MOS B6	NA	1200-В SiC MOSFET

Таблиця 2. Двоспрямований ККП/інвертор		
	SW1–SW6	SW7–SW12
Si NPC2	650-В IGBT	1200-В IGBT
Гібрид NP C2	650-В гібрид IGBT	1200-В IGBT
SiC MOS B6	1200-В SiC MOSFET	NA

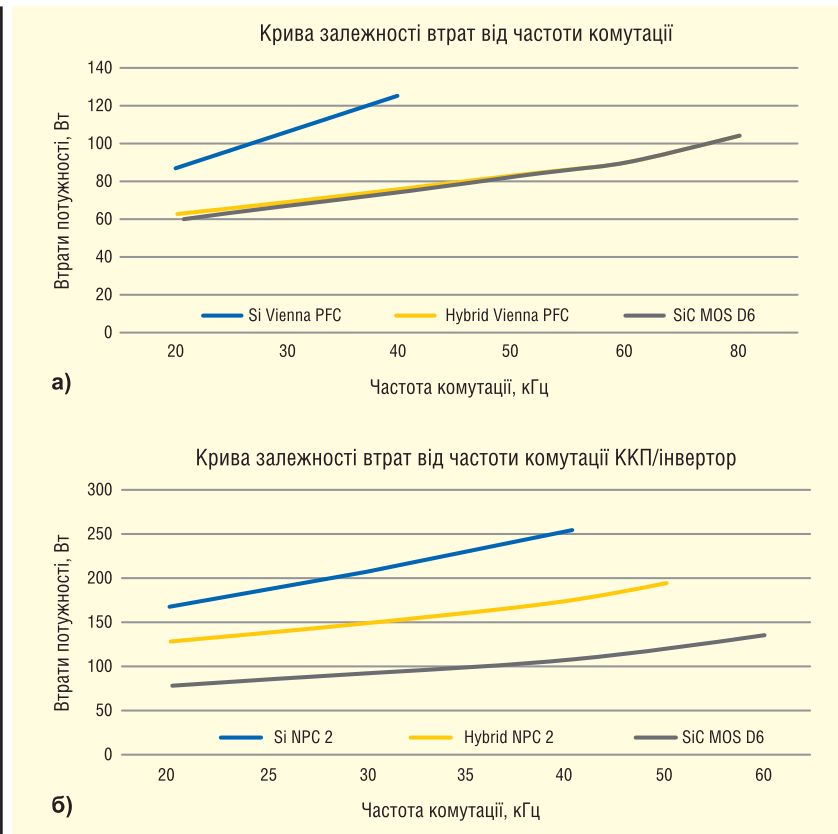


Рис. 8. Залежність потужності втрат від робочої частоти: односпрямованого ККП (а); двоспрямованого ККП/інвертора (б)

MOSFET демонструє найнижчі втрати і найвищу частоту перемикавання. Це дає змогу знизити індуктивність, зменшити розміри радіатора і друкованої плати, і, відповідно, вартість системи.

ВИСНОВОК

У статті представлено односпрямовану та двоспрямовану топологію зарядного пристрою постійного струму для електромобілів (DC EV). Особливу увагу приділено реалізації блоку ККП на основі SiC-приладів — 1200-В діодів і MOSFET-транзисторів, які використовуються в гібридній топології Vienna та схемі V6. На основі графіків залежності втрат потужності від частоти перемикавання можна рекомендувати варіант з 1200-В SiC-діодами в гібридній топології Vienna ККП для односпрямованого DC EV заряджувача, що забезпечує найкраще співвідношення ефективності та економічності. Використання двоспрямованого варіанта ККП з 1200-В SiC MOSFET у топології V6 дає змогу отримати максимальну ефективність і продуктивність за збереження високих економічних показників усієї системи.

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**

Література:

1. Peters D., Basler T., Zippelius B. CoolSiC Trench MOSFET Combining SiC Performance With Silicon Ruggedness // *Power Electronics Europe*. 2017. Iss. 3.
2. Björk F. A SiC MOSFET for Mainstream Adoption // *Bodo's Power Systems*. 2018. No. 4.
3. Friedrichs P. High-performance CoolSiC MOSFET technology with silicon-like reliability. www.infineon.com
4. CoolSiC — Revolution to rely on, SiC solutions enabling radical new product designs with best system cost-performance ratio. www.infineon.com
5. Guidelines for CoolSiC MOSFET gate drive voltage window. AN2018-09. www.infineon.com

COOLSiC™ MOSFET G2 — НАСТУПНЕ ПОКОЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КАРБІДУ КРЕМНІЮ

Компанія **Infineon Technologies AG** відкриває новий розділ в енергетичних системах і перетворює енергію та представляє наступне покоління транзисторів MOSFET з карбідом кремнію (SiC). Нові Infineon CoolSiC™ MOSFET 650 В і 1200 В 2-го покоління покращують ключові показники продуктивності MOSFET, такі як накопичена енергія і заряд, на 20% в порівнянні з попереднім поколінням без шкоди для якості і надійності, що призводить до підвищення загальної енергоефективності та подальшого сприяння процесам боротьби з викидами вуглекислого газу.

Технологія CoolSiC MOSFET 2-го покоління (G2) продовжує використовувати продуктивні можливості карбідів кремнію, забезпечуючи менші втрати енергії, що перетворюється на більшу ефективність під час перетворення енергії. Це дає значні переваги споживачам для різних силових напівпровідникових застосувань, таких як фотовольтаїка, накопичувачі енергії, зарядки електромобілів постійного струму, електроприводи та промислові джерела живлення. Станція швидкої зарядки постійного струму для електромобілів, оснащена CoolSiC G2, дозволяє зменшити втрати потужності на 10% порівняно з попередніми поколіннями, забезпечуючи при цьому більшу ємність зарядки без шкоди для форм-фактора. Тягові інвертори на основі пристроїв CoolSiC G2 можуть додатково збільшити дальність пробігу електромобілів. У сфері відновлюваних джерел енергії сонячні інвертори, розроблені з використанням CoolSiC G2, дозволяють мати менші розміри при збереженні високої вихідної потужності, що призводить до зниження вартості за ват.

Вносячи свій внесок у високопродуктивні рішення CoolSiC G2, новаторська trench-технологія CoolSiC MOSFET від Infineon забезпечує оптимізоване компромісне рішення, що дозволяє підвищити ефективність і надійність у порівнянні з наявними на сьогоднішні технологіями SiC MOSFET. У поєднанні з відзначеною нагородами технологією корпусів XT компанія Infineon ще більше збільшує потенціал конструкцій на основі CoolSiC G2 завдяки вищій теплопровідності, кращому контролю збірки та підвищеній продуктивності.

www.infineon.com