Корпуси TOLT і TSPAK з охолодженням зверху для SiC MOSFET і SBD

Переклад: Олександр Титенко, асистент каф. ПРЕ, РТФ, КПІ ім. І. Сікорського
Редагування: Наталія Апостолюк, директор, Мастек Електронікс ЛТД
E-mail: info@mastek.com.ua

Застосування MOSFET з карбіду кремнію (silicon carbide, SiC) і діодів Шотткі (Schottky barrier diodes, SBD) в потужних системах, наприклад для автомобілів, фотоелектричних батарей та центрів обробки даних, висвітлило вади традиційних корпусів для поверхневого монтажу.
Традиційні корпуси для поверхневого монтажу використовують охолодження знизу, де тепло проходить через друковану плату, яка створює тепловий бар'єр, що обмежує потужність та надійність сучасних SiC-компонентів. Корпуси з охолодженням зверху (top-side cooled, TSC) відводять тепло безпосередньо із верхньої частини корпусу на радіатор, повністю оминаючи друковану плату.
TOLT і TSPAK з виводами мають значні переваги, в тому числі краще охолодження і зменшений рівень завад (electromagnetic interference, EMI).
Покращене охолодження дозволяє використовувати менші й дешевші кристали SiC для досягнення такої ж потужності, як і більші кристали в традиційних корпусах.

ЩО ТАКЕ КОРПУСИ З ОХОЛОДЖЕННЯМ ЗВЕРХУ

Прогрес у пристроях з широкою забороненою зоною, зокрема MOSFET з карбіду кремнію та діодах Шотткі, створив значну проблему з відведенням тепла.

Хоча ці швидкодійні компоненти мають значні переваги в плані ефективності, потужності та густини потужності порівняно з кремнієм, а також мають набагато ширший діапазон робочих температур, MOSFET з SiC та SBD все ще концентрують значну кількість тепла в дуже невеликій площі кристала.

Традиційні корпуси SiC для поверхневого монтажу використовують охолодження знизу, при якому тепло, перш ніж досягти радіатора, проходить скрізь друковану плату, яка є поганим провідником тепла (рис. 1).

Щоб оминути цю проблему, яка знижує надійність, були розроблені корпуси з охолодження зверху (рис. 2). У них тепло відводиться безпосередньо з верхньої частини корпусу на радіатор, що дозволяє пристроям SiC працювати на повну потужність.

Основними корпусами з охолодження зверху є TOLT (*TO-leadless top-side cooling*) і TSPAK (*TO-leaded small-outline package*).

ЗАСТАРІЛІ ТЕХНОЛОГІЇ

Електрифікація транспорту в поєднанні зі збільшенням потужності, що постачається вітровими/сонячними установками, необхідністю підвищення ефективності всіх систем та зростанням попиту на надпотужні пристрої, наприклад для центрів обробки даних, призвели до переходу на матеріали з широкою забороненою зоною, зокрема SiC.

SiC має наднизьке пряме падіння напруги (*Forward Voltage, VF*) та опір у включеному стані (R_{DSon}), що забезпечує ефективне перетворення енергії та зменшення втрат.

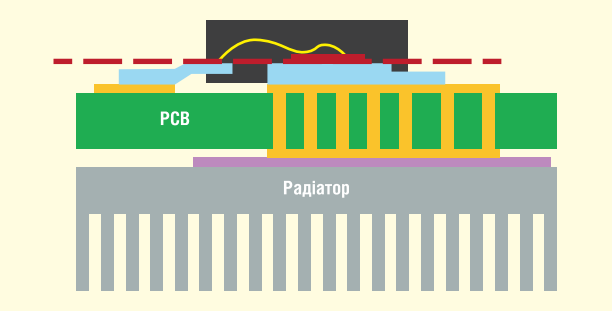

Рис. 1. Традиційні корпуси SiC для поверхневого монтажу з охолодження знизу

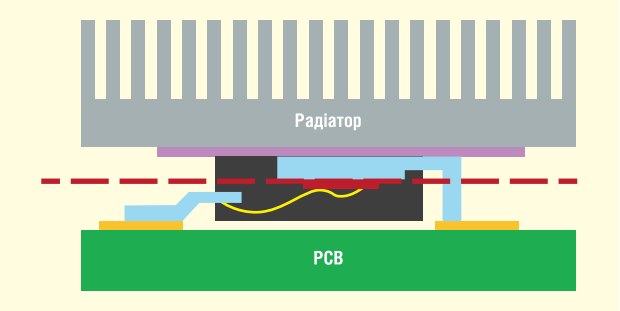

Рис. 2. Корпуси SiC для поверхневого монтажу з охолодження зверху

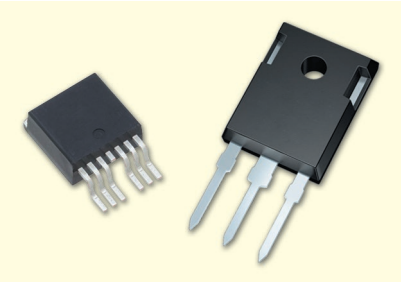

Рис. 3. Традиційні корпуси SMD та THD

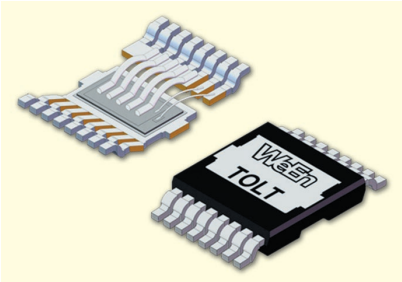

Рис. 4. Конструкція корпусу TOLT

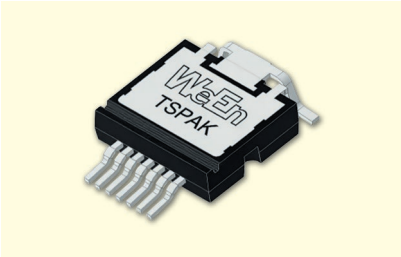

Рис. 5. Зовнішній вигляд корпусу TSPAK

У порівнянні з традиційними конструкціями з наскрізними отворами для відведення тепла (*through-hole devices, THD*), основною перевагою корпусу з охолодження зверху (TSC) є його придатність для автоматизації збірки друкованих плат. Як корпус для поверхневого монтажу, пристрої TSC виключають ручну працю, пов'язану з монтажем через наскрізні отвори і затягуванням гвинтів, тим самим знижуючи витрати й покращуючи стабільність виробництва.

Традиційно корпуси для поверхневого монтажу (рис. 3), такі як D2PAK (TO-263), DPAK (TO-252), TOLL (*TO Leadless*) і DFN (*Dual Flat No-lead*), розсіювали тепло через корпус і друковану плату, розсіюючи його або передаючи на радіатор.

КОРПУСИ З ОХОЛОДЖЕННЯ ЗВЕРХУ

TOLT

Конструкція корпусу

TOLT — це безвивідний корпус для поверхневого монтажу з контактними майданчиками на нижній стороні для припаювання до друкованої плати. На його верхній поверхні розміщена велика відкрита металева пластина. Ця пластина має термічний контакт з кристалом (рис. 4). Це створює високоефективний тепловий шлях, який повністю оминає друковану плату.

Тому корпус використовується в системах із високими вимогами до розсіювання надлишкового тепла.

Продуктивність та електричні арактеристики

Корпус забезпечує прямий шлях з низьким тепловим опором від напівпровідникового переходу до радіатора, що значно зменшує тепловий опір переходу до корпусу (R_thJC).

Безвивідна конструкція також зменшує паразитну індуктивність виводів, що дозволяє реалізувати надшвидкісну комутацію пристроїв SiC. Завдяки низькій індуктивності виводів також зменшуються викиди напруги та паразитні коливання (брязкіт). Таким чином, забезпечуються кращі форми імпульсів комутації з меншими втратами та зниженим рівнем електромагнітних завад.

Багато пристроїв TOLT також мають вивід Кельвіна для подальшої оптимізації керування затвором.

TSPAK

Конструкція корпусу

TSPAK — це корпус з охолодження зверху та виводами, електричні з'єднання якого здійснюються за допомогою виводів типу «крила чайки», припаяних до друкованої плати (рис. 5). Його велика відкрита металева пластина термічно з'єднана з кристалом для прямого монтажу на радіатор.

Продуктивність та електричні характеристики

Як і TOLT, конструкція TSPAK з охолодження зверху забезпечує чудові теплові характеристики, що дозволяє використовувати менші та більш економічні чипи SiC. Обидва корпуси мають низьку індуктивність виводів порівняно з традиційними конструкціями. Конструкція TSPAK з виводами має дещо більшу паразитну індуктивність, ніж TOLT, але корпус також оптимізовано для зниження витрат і підвищення надійності у високопродуктивних варіантах застосування.

Переваги корпусів з охолодженням зверху в плані електромагнітних завад

Електромагнітні поля генеруються струмовими петлями, причому більші петлі генерують сильніші поля та збільшують ризик виникнення завад. Тому важливо, щоб шляхи підведення та відведення струму були якомога ближчими один до одного, що дозволяє мінімізувати площу будь-якого високочастотного електромагнітного поля.

Корпуси з охолодженням знизу часто використовують теплові отвори, просвердлені в друкованій платі безпосередньо під компонентом для відведення тепла. Це ефективно для охолодження, але перешкоджає прямому шляху повернення струму на заземлювальній площині і створює велику обхідну петлю навколо компонента. Тому площу магнітного поля змінного струму неможливо зменшити, і генеруються значні рівні електромагнітних завад.

Ця проблема вирішується в корпусах з охолодженням зверху, де тепловий шлях повністю переміщений з друкованої плати, що означає, що зворотний струм може протікати безпосередньо під пристроєм, тим самим мінімізуючи розмір струмової петлі.

Таким чином, випромінювання магнітного поля значно зменшується в корпусах TOLT і TSPAK, що призводить до зниження загального рівня електромагнітних завад (рис. 6).

Економічна вигода від використання корпусів з охолодженням зверху

Теплові характеристики корпусів TOLT і TSPAK дозволяють використовувати менші та дешевші чипи SiC, які забезпечують таку саму продуктивність, як і більші та дорожчі пристрої SiC у традиційних корпусах.

Цю економію можна побачити, якщо порівняти продуктивність пристрою SiC D2PAK 60 мОм з аналогічним пристроєм TSPAK, що працює при температурі переходу 87 °C і температурі довкілля 25 °C (рис. 7). У цьому сценарії пристрій D2PAK має тепловий опір (RTHj-amp) 10.4 К/Вт, а розсіювання потужності P = 5.96 Вт підтримує струм 9.967 А.

Знижений тепловий опір, який забезпечує пристрій TSPAK, що працює при тій же температурі та з тим же струмом, дозволяє отримати нижчий RTHj-amp 8.8 К/Вт. В результаті P збільшується до 7.45 Вт, що дозволяє використовувати MOSFET TSPAK і, отже, пристрій з R_{DSon} 70.9 мОм (P/I).

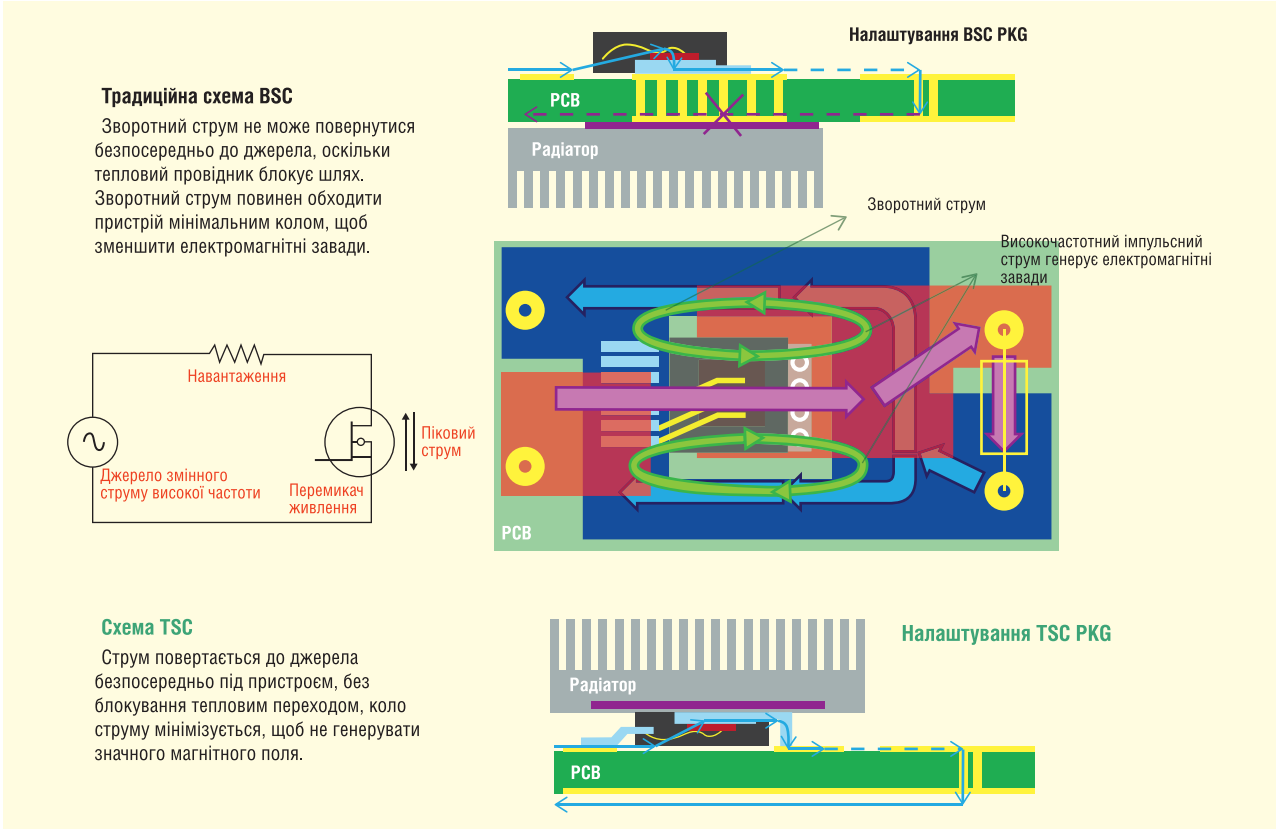

Рис. 6. Зниження загального рівня електромагнітних завад в корпусах з охолодженням зверху

При використанні TSPAK 71 мОм замість D2PAK 60 мОм економія складе близько 15–20%.

Корпуси TSC у комбінованих схемах MOSFET і діодів

Багато розповсюджених топологій базуються на комбінації MOSFET та діодів, що працюють разом. Наприклад, це можна побачити у коректорі коефіцієнта потужності Вієна, а також на первинній і вторинній сторонах LLC перетворювачів (рис. 8).

Для ефективного відведення тепла ці компоненти часто потрібно монтувати на одному спільному радіаторі (рис. 9). Щоб спростити конструювання та забезпечення теплового режиму, компанія WeEn випускає як SiC MOSFET, так і діоди в однакових форматах TOLT і TSPAK. Це значно полегшує впровадження цих сучасних корпусів у нові енергоефективні рішення високої компактності.

ЗАСТОСУВАННЯ

Застосування корпусів TOLT

Теплові характеристики корпусу TOLT у поєднанні з низькою індуктивністю виводів роблять його ідеальним для більш вимогливих варіантів застосування, де критично важливим є максимізація густини потужності та ефективності. До них належать:

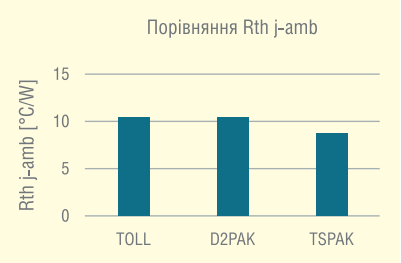

Рис. 7. Порівняння пристрою SiC D2PAK з аналогічним пристроєм TSPAK

- автомобільна промисловість:
  - бортові зарядні пристрої (*On-board chargers*, *OBC*);
  - високовольтні перетворювачі постійного струму;

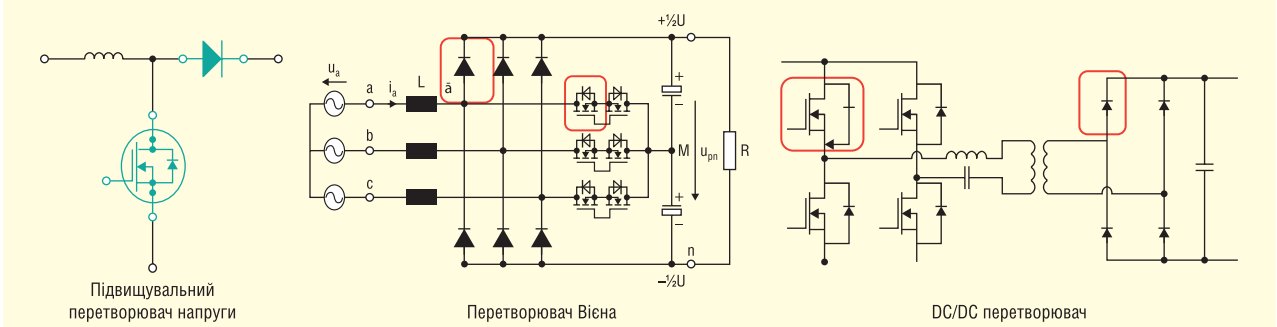

Рис. 8. Топології з одночасним використанням MOSFET та діодів

- 48-вольтні системи з гібридним приводом (*Mild Hybrid Electric Vehicle, MHEV*);
- інвертори для електромобілів;
- промисловість:
  - інвертори фотоелектричних систем;
  - промислові приводи двигунів;
  - джерела безперебійного живлення (*Uninterruptible power supplies, UPS*);
- телекомунікації та центри обробки даних:
  - блоки живлення високої густини потужності для серверів та прискорювачів штучного інтелекту;
  - базові станції 5G;
- інфраструктура заряджання електромобілів:
  - громадські суперзарядні пристрої (40–60 кВт);
  - побутові зарядні пристрої постійного струму (7–22 кВт).

Застосування корпусів TSPAK

У цій статті корпус TSPAK позиціюється як ідеальний варіант для автомобільної промисловості та зарядних пристроїв завдяки ви сокій густині потужності та гнучкості конструкції:

- автомобільна промисловість:
  - вбудовані зарядні пристрої (OBC);
  - електронні компресори;
  - високовольтні перетворювачі постійного струму;
  - інвертори тяги для електромобілів;
- промисловість:
  - високоефективні сонячні інвертори;
  - промислові приводи двигунів;
  - інфраструктура для заряджання електромобілів:
  - громадські суперзарядні пристрої (40–60 кВт) ;
  - побутові зарядні пристрої постійного струму (7–22 кВт).

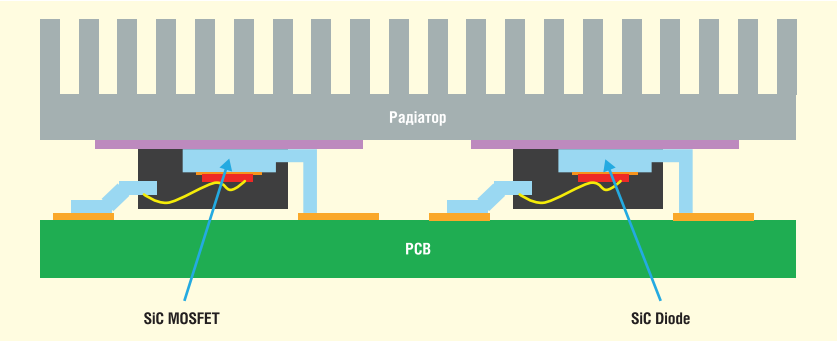

Рис. 9. Радіатор для MOSFET та діода з однаковою висотою корпусів

ПРОДУКТИ WeEn TOLT І TSPAK

Компанія WeEn Semiconductors пропонує продукти SiC в корпусі TOLT на 650 В для використання в широкому діапазоні галузей промисловості та автомобілебудування. MOSFET доступні з R_{DSon} від 20 до 70 мОм, а діоди Шотткі (SBD) — для струмів від 10 до 20 А.

Продукти WeEn Semiconductors з SiC в корпусі TSPAK доступні як для 650 В, так і для 1 200 В, MOSFET з R_{DSon} — в діапазоні від 12 до 150 мОм, а SBD — для струмів від 10 до 40 А.

Додаткову інформацію щодо продукції компанії WeEn Semiconductors можна отримати, звернувшись до офіційного дистриб'ютора в Україні — ТОВ «Мастек Електронікс ЛТД»:

03124, м. Київ,
пров. Ю. Матущака, 3, оф. 307,
тел./факс: (044) 451-60-80,
(067) 919-51-15,
(098) 451-60-80,
office@mastek.com.ua,
info@mastek.com.ua,
alexandr@mastek.com.ua,
www.mastek.com.ua

CN

НОВИЙ ДВИГУН ВИКОРИСТОВУЄ ХОЛОД КОСМОСУ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ

З розвитком технологій відновлюваної енергії вчені шукають способи отримувати електрику не тільки від сонця та вітру, а й з більш незвичайних джерел. Одним із таких напрямків стає використання природного охолодження Землі через відкрите небо для генерації енергії вночі. Інженери Каліфорнійського університету в Девісі продемонстрували пристрій, здатний виробляти струм, використовуючи різницю температур між поверхнею Землі та холодом космосу.

Розробка працює за принципом двигуна Стірлінга — теплової машини зовнішнього згоряння, яка перетворює різницю температур на механічну енергію. На відміну від традиційних двигунів внутрішнього згоряння цей механізм здатний працювати при малих градієнтах температури. Основним джерелом енергії тут є радіаційне охолодження: тепло Землі передається через електромагнітне випромінювання в холод космосу, без спалювання палива.

Професор Джеремі Мандей (Jeremy Munday) пояснює, що такі двигуни особливо ефективні за невеликих перепадів температури. У стандартній конфігурації одна сторона двигуна нагрівається за рахунок Землі, а інша охолоджується, взаємодіючи з космосом. Різниця температур надає руху поршню і створює механічну роботу, яка потім може бути перетворена в електрику. Ключовим елементом системи є панель, що діє як теплова антена, яка спрямована на відкрите небо. Вона забезпечує радіаційний теплообмін між теплою Землею та холодом космосу. При цьому фізичного контакту з космосом не потрібно — передача енергії відбувається виключно через випромінювання.

Протягом року нічних експериментів пристрій показав стабільну генерацію близько 400 мВт на квадратний метр. Енергія безпосередньо приводила в рух вентилятор, а також використовувалася для живлення електродвигуна та вироблення струму. Такий підхід може бути корисним для автономної вентиляції теплиць, будівель та інших систем, де неможливо використовувати викопне паливо.

Вчені відзначають, що найбільша ефективність спостерігається в регіонах з низькою вологістю та ясним небом, що робить технологію особливо перспективною для сухих та сонячних районів. Університет Каліфорнії вже подав попередню патентну заявку на інноваційний пристрій.

Реалізація проєкту поєднує фундаментальні принципи термодинаміки із практичною інженерією, відкриваючи перспективи для нічної відновлюваної енергетики. Використання радіаційного охолодження дозволяє розширити спектр джерел енергії та знизити залежність від традиційних способів генерації.

www.sciencedaily.com