

Простий підхід до збільшення вихідної потужності для відновлюваних джерел енергії та електроприводів

Бернхард Айхлер (Bernhard Eichler), Еміліано Меца (Emiliano Meza),
Semikron Danfoss Elektronik GmbH & Co.

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Володимир Павловський, к.т.н, с.н.с., Інститут електродинаміки НАН України

Силевий модуль SEMITRANS 20 відповідає зростаючим вимогам до потужності перетворювачів для відновлюваних джерел енергії та потужних електроприводів, що вимагають більшої густини потужності. Вихідна потужність перетворювачів постійно зростає, а новітні вітрові турбіни тепер здатні виробляти до 15 МВт. Таке збільшення потужності ставить нові виклики перед розробниками, особливо в галузі відновлюваних джерел енергії та електроприводів, тому що воно досягається шляхом підвищення напруги, струму або того та другого одночасно.

Силевий модуль SEMITRANS 20 дозволяє отримати більший струм, ніж силові модулі попереднього покоління, завдяки новітнім технологіям виготовлення корпусів і чипів. Він також оптимізований для роботи у паралельному з'єднанні, з метою подальшого збільшення вихідної потужності перетворювача. Крім того, SEMITRANS 20 дозволяє легко реалізувати 3-рівневу топологію, що є ключовим рішенням до підвищення робочої напруги.

ЗБІЛЬШЕНИЙ СТРУМ НА РІВНІ МОДУЛЯ

Для збільшення вихідної потужності силових модулів їх чипи IGBT, як і чипи діодів, з'єднують паралельно. При цьому, однак, конструкція силового модуля повинна забезпечувати рівномірний розподіл струму між такими чипами. Нерівномірний розподіл струму призведе до того, що деякі чипи будуть нагріватися сильніше, ніж інші, що, зрештою, скоротить термін служби силового модуля. Конструкція силового модуля

SEMITRANS 20 усуває цю проблему, забезпечуючи рівномірне розподілення струму за допомогою симетричної компоновки мідних шин однакової форми (Direct Bonded Copper, DBC).

Як показано на рисунку 1 (праворуч), кожен IGBT і діод у силовому модулі SEMITRANS 20 підключається до DBC так, щоб забезпечити однакові та симетричні шляхи до вихідних контактів модуля. Таке розташування забезпечує рівномірний розподіл струму між чипами для кожного ключа, що стає особливо важливим при підвищених швидкостях комутації. Однакова індуктивність розсіювання робить силовий модуль SEMITRANS 20 ідеальним кандидатом на використання карбиду кремнію в майбутньому.

Для тактових частот нижче 10 кГц нові IGBT M7 максимізують використання простору за рахунок збільшення струму для заданої площі чипа. У силовому модулі SEMITRANS 20 додатково оптимізовано з'єднання чипів з радіатором; це дало можливість використати понад 70% базової пластини для розміщення чипів, тоді як попередні конструкції силових модулів використовували лише близько 55% площі пластини. Таке технічне рішення збільшує струм і, отже, густину потужності, але тоді потрібен ретельний контроль теплового опору, щоб не перегрівати чипи, що забезпечить нормальну роботу силових модулів та збільшить їх термін служби.

Вища густина струму на квадратний міліметр створює новий виклик: охолодження чипів на обмеженій площі, що вимагає зниження їх теплового опору. Щоб вирішити цю проблему, Semikron Danfoss пропонує новий високоякісний матеріал HP-PCM (High Performance Phase Change Material), який використовують для термоз'єднань; він має тепловий опір, що наближений до теплового опору еталонної термопасти HPTP (High Performance Thermal Paste). Цей матеріал спрощує виготовлення силових модулів, тому що він твердий

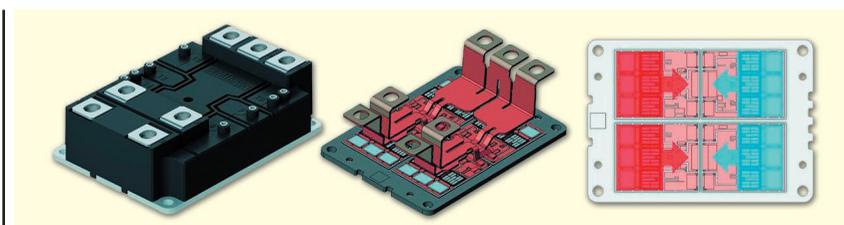


Рис. 1. Симетричне розташування чипів у силовому модулі SEMITRANS 20

при кімнатній температурі та менш чутливий до дрібних залишків, які можна легко змести щіткою. Оскільки такий матеріал є складним у застосуванні, Semikron Danfoss також пропонує силові модулі з попередньо нанесеним матеріалом HP-PCM. Цей матеріал наносять у контрольованому середовищі без пилу з оптимальними шаблонами друку для кожного модуля. В поєднанні з 4-гвинтовим методом монтажу це зменшує загальну вартість і трудовитрати на монтаж модулів.

ЗБІЛЬШЕНИЙ СТРУМ ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА СИСТЕМНОМУ РІВНІ

Якщо необхідна вихідна потужність є більшою, ніж може віддати один силовий модуль, потрібне паралельне увімкнення модулів. Хоча керувати кожним силовим модулем можна за допомогою окремих драйверів, це збільшує вартість всього пристрою і зменшує розрахунковий середній час напрацювання на відмову (*Mean Time Between Failure, MTBF*). Це пояснюється тим, що тоді в схему перетворювача потрібно вбудувати велику кількість компонентів для драйверів, а середній час безвідмовної роботи зменшується з додаванням у схему кожного наступного компонента. Тому один драйвер для кількох паралельно з'єднаних модулів знижує вартість всього пристрою і підвищує його надійність. Керування декількома силовими модулями лише одним драйвером потребує виконання певних вимог: драйвер повинен мати не тільки достатню вихідну потужність; важливим фактором є рівномірний розподіл потужності драйвера між кількома силовими модулями.

Завдяки симетричній компоновці та низькій індуктивності розсіювання (лише 10 нГн), у кожному з паралельно увімкнених модулів SEMITRANS 20, якими керує один драйвер, підтримується рівномірний розподіл струму, як показано на рисунку 2 для випадку короткого замикання. У поєднанні з драйвером SKYPER 42 LJ PV силовий модуль SEMITRANS 20 надійно працює у системах високої потужності з напругою до 1500 В постійного струму. Завдяки збільшеному вихідному струму один драйвер SKYPER 42 LJ PV забезпечує достатню потужність для керування модулями SEMITRANS 20 в кількості до п'яти одиниць при їх паралельній роботі на частоті 2.5 кГц. Це дозволяє створювати силові блоки з водяним охолодженням та вихідною

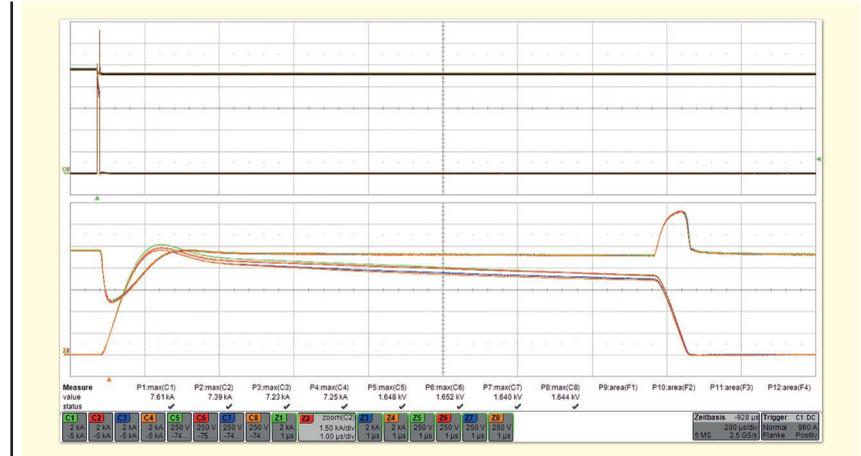


Рис. 2. Коротке замикання чотирьох паралельних модулів SEMITRANS 20 з максимальним струмом 10000 А

потужністю до 3.5 МВт. Конструкція драйвера забезпечує гнучкість налаштування кількості паралельних силових модулів, зберігаючи при цьому високу надійність сертифікованої продукції з торгівельною маркою SEMIKRON. Для 3-рівневої топології цей драйвер також пропонує користувачам опцію з налаштуванням послідовності вимкнення, що реалізує безпечне вимкнення модуля в разі короткого замикання.

3-РІВНЕВА ТОПОЛОГІЯ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ НАПРУГИ ТА ПОТУЖНОСТІ

Оскільки збільшення струму системи потребує дорожчих кабелів з більшим поперечним перерізом, для збільшення її вихідної потужності слід також розглянути збільшення напруги системи. Зараз «Директива щодо низьковольтної напруги для відновлюваних джерел» дозволяє працювати з напругою до 1500 В постійного струму. Реалізація 3-рівневої топології дає можливість перетворювачам нормально працювати на таких високих напругах, навіть використовуючи стандартні силові модулі

для напруги 1200 В. Крім того, для 3-рівневих конструкцій зменшуються затрати на фільтрацію завдяки подвоєнню тактової частоти на виході інвертора.

Для двонаправленого потоку потужності набула популярності топологія з клемою активної нейтральної точки (*Active Neutral Point Clamp, ANPC*), оскільки вона забезпечує рівномірні втрати в усьому діапазоні значень коефіцієнта потужності. Це дозволяє накопичувачу енергії віддавати в мережу та отримувати з неї однакову кількість енергії. Для систем високої потужності таку ANPC конфігурацію можна зробити навіть з використанням стандартних напівмостових модулів.

У конфігурації «висока частота/низька частота» (*High Frequency/Low Frequency, HF/LF*) вхід з боку постійного струму перемикають з тактовою частотою ШІМ (наприклад 3 кГц), тоді як вихід змінного струму перемикають з частотою мережі; зазвичай це частота 50/60 Гц. У такій конфігурації контур, в якому відбувається «швидка» комутація з боку входу, має мінімальну довжину в межах одного силового модуля, що показано пунктирними лініями на рисунку 3. В контурі, який охоплює з'єд-

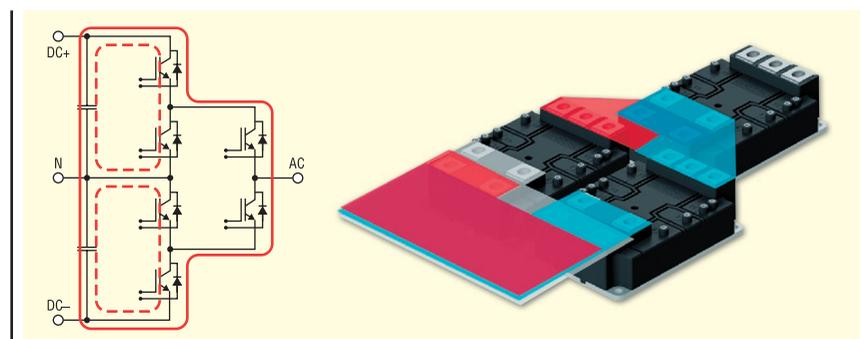


Рис. 3. Компактна схема з низькою індуктивністю для топології ANPC

нання між вхідним і вихідним каскадами, перемикання відбуваються з тактовою частотою мережі; це означає «повільну» комутацію для більшого контуру (суцільна лінія на рис. 3).

Силовий модуль SEMITRANS 20 завдяки продуманому розташуванню контактів легко з'єднати з будь-яким модулем силової електроніки, що має топологію ANPC, як показано на рисунку 3 (праворуч). Це забезпечує просту трирівневу конструкцію ланки постійного струму та можливість легкого з'єднання між усіма трьома модулями для кожної фази. Крім того, усі місця з'єднання драйверів є доступними для огляду та/або монтажних робіт навіть після підключення ланки постійного струму та силових шин.

СПІКАННЯ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЛЯ ВАЖКИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Умовах постійно зростаючої потужності роторна частина схеми вітрових перетворювачів нерідко працює на низькій частоті першої гармоніки; особливо це стосується індукційних генераторів подвійного живлення (*Doubly Fed Induction Generators, DFIG*) або генераторів без редукторів, таких як вітрові турбіни з прямим приводом (*Direct Drive, DD*). Низька частота може призводити до перевантаження силових модулів з-за циклів дуже високих струмових навантажень. Для забезпечення максимальної надійності перетворювача під час роботи вітрової турбіни всі чипи в силових модулях SEMITRANS 20 з напругою 1700 В кріплять до підкладки кожного модуля за допомогою спікання, як показано на рисунку 4.

Запроваджене фірмою SEMIKRON у 2007 році спікання срібним припоєм забезпечує значно вищу температуру плавлення порівняно зі звичайним паяним з'єднанням між чипом та підкладкою: 962 °C для спікання срібним

припоєм і лише біля 250 °C для припаювання олов'яно-свинцевим припоєм. З'єднання спіканням проводиться під високим тиском і за високою температурою, що дає в результаті міцне та монолітне з'єднання. За максимальної робочої температури чипа 175 °C з'єднання спіканням забезпечує значно більший запас щодо температури розплавлення 962 °C. Це дає змогу в три рази збільшити кількість циклів потужності для модулів SEMITRANS 20 порівняно зі стандартними застарілими силовими модулями.

ВИСНОВКИ

Завдяки своїй здатності віддавати великий струм силові модулі SEMITRANS 20 забезпечують збільшену потужність для відновлюваних джерел енергії та потужних електроприводів. Симетричне розташування чипів у корпусі модуля в поєднанні з новітніми IGBT-модулями дає можливість отримати вищу густину струму. Новий високоякісний матеріал HP-PCM забезпечує знижений тепловий опір від силового модуля до радіатора, що підвищує ефективність охолодження енергоємного модуля. Силові модулі SEMITRANS 20 також легко інтегрувати в конфігурацію HF/LF ANPC, яка чудово підходить для роботи у двонаправленому режимі з напругою 1500 В постійного струму для застосування у вітроенергетиці та системах збереження енергії. Щодо застосування у вітроенергетиці модулів SEMITRANS 20, розрахованих на напругу в 1700 В, то технологія спікання втричі збільшує кількість термоциклів цих модулів порівняно зі стандартною технологією паяння, що, в свою чергу, збільшує термін їх служби. Це робить силові модулі SEMITRANS 20 ідеальним рішенням для наступного покоління потужних відновлюваних джерел енергії та електроприводів.

Більш детальну інформацію щодо продукції Semikron Danfoss можна отримати, звернувшись до офіційного дистриб'ютора в Україні — ТОВ НВП «Техносервіс-привід»:

**03057, м. Київ,
пр-т Берестейський, 56,
офіс 335,
тел. +38 (044) 458-47-66,
e-mail: sp.tsdrive@gmail.com,
www.tsdrive.com.ua,
https://semismart.com.ua**

ПАРТНЕРСТВО ЗМІЦНЮЄТЬСЯ: INFINEON ТА SEMIKRON DANFOSS ПІДПИСАЛИ УГОДУ ПРО ПОСТАЧАННЯ МІКРОСХЕМ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

За прогнозами аналітиків, до 2028 року автомобілі з повністю або частково електрифікованою трансмісією становитимуть дві третини вироблених автомобілів. Таке стрімке зростання кількості електромобілів зумовлює попит на силові напівпровідники. На цьому тлі **Infineon Technologies AG** та **Semikron Danfoss** підписали багаторічну угоду про постачання кремнієвих мікросхем для електромобілів. Infineon постачатиме Semikron Danfoss чипсети, що складаються з IGBT-транзисторів та діодів. Ці мікросхеми в основному використовуються в силових модулях для інверторів, які застосовуються для головного приводу в електромобілях.

«Як світовий лідер у галузі автомобільних напівпровідників, Infineon створює революційні рішення для екологічно чистих і безпечних транспортних засобів. Вже сьогодні наші IGBT-транзистори та діоди відіграють важливу роль у трансформації індустрії електромобілів, забезпечуючи ефективне перетворення енергії в електричних силових агрегатах, — говорить Пітер Шифер (Peter Schiefer), президент автомобільного підрозділу Infineon. — Наш широкий асортимент продукції, системний досвід та постійні інвестиції у виробничі потужності роблять нас цінним партнером для таких гравців автомобільної галузі, як Semikron Danfoss».

Клаус А. Петерсен, президент Semikron Danfoss, додав: «Semikron Danfoss надає клієнтам автомобільної галузі силові модулі, засновані на найсучасніших технологіях виробництва, які повністю використовують можливості IGBT та діодів для подальшої декарбонізації транспортного сектору. Клієнти автомобільної промисловості довіряють нам як досвідченому багаторічному партнеру, що сприяє трансформації галузі».

IGBT та діоди для Semikron Danfoss будуть вироблятися компанією Infineon на своїх заводах у Дрездені (Німеччина) та Кулімі (Малайзія). Semikron Danfoss виробляє власні автомобільні силові модулі в Нюрнберзі та Фленсбурзі (Німеччина), в Ютиці (США), а з наступного року — в Нанкіні (Китай).

www.semikron-danfoss.com
www.infineon.com

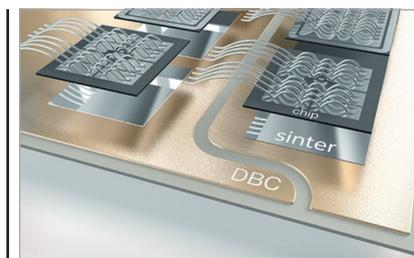


Рис. 4. Технологія для кріплення чипів спіканням