

Semikron Danfoss: компактні та ефективні перетворювачі для електроприводів на основі модулів з карбідом кремнію

Carsten Schreiter (Карстен Шрайтер), Semikron Danfoss

Переклад та редагування: Сергій Поліщук, к.т.н, с.н.с., Інститут електродинаміки (ІЕД) НАН України

E-mail: sp.tsdrive@gmail.com

Стаття написана на основі вебінару, проведеного компанією Semikron Danfoss у жовтні цього року, який був присвячений впровадженню SiC модулів в перетворювачах для електроприводів. В ній наведено три приклади використання модулів на основі карбиду кремнію, де показано переваги застосування цих модулів та в яких випадках їх впровадження доцільно в першу чергу, навіть з врахуванням їхньої вищої вартості. Матеріал статті структуровано таким чином: в першій частині розглянуто застосування модулів на основі карбиду кремнію у вхідній ланці перетворювачів, а саме в якості активного випрямляча, в другій частині — класичний інверторний привід. Зауважимо також, що порівняння вартості на рівні окремого модуля (модулів) не має сенсу. Оцінка вартості повинна бути проведена в комплексі. В такому випадку використання в перетворювачах SiC модулів здатне досягти бажаного результату завдяки своїм перевагам в порівнянні з IGBT модулями.

З моменту першої появи силових напівпровідникових модулів на основі карбиду кремнію доцільність їх застосування в перетворювачах для електроприводів викликала чимало дискусій. Висока ціна, швидке перемикання, відсутність можливості витримувати коротке замикання ставали на заваді для їх впровадження. Сьогодні настав час змінити таку точку зору. Об'єднавши найсучасніші технології збірки модулів з останніми поколіннями чипів SiC MOSFET, компанія Semikron Danfoss забезпечує абсолютно новий ступінь свободи при розробленні перетворювачів для електроприводів.

Силові напівпровідники на основі карбиду кремнію не є абсолютно нови-

ми. Вже сьогодні, вони знаходять широке застосування в багатьох сферах, таких як сонячна енергетика, потужні накопичувачі та зарядні станції для електромобілів, що вимагають великої густини потужності та мінімальних розмірів (рис. 1). Додаткові переваги полягають у мінімізації втрат та зменшенні розмірів пасивних елементів перетворювачів завдяки переходу на вищі частоти перемикання. Однак у перетворювачах для керування електроприводом перспективне використання SiC MOSFET практично не просувається і, в першу чергу, це пов'язано з певними стереотипами, такими як:

- ціна, яка ніколи не окупиється в електроприводі;

- SiC MOSFET має сенс лише для високих частот, а не для двигунів;
- висока швидкість перемикання призводить до критичних du/dt ;
- неможливість здійснити захист від коротких замикань — є ключовою завадою;
- традиційно не використовується для приводів двигунів.

Все це призвело до парадигми про неможливість використання SiC модулів в перетворювачах для електропривода. Проте такий підхід не зовсім справедливий та не відповідає реаліям сьогодення.

Розглянемо, чому ж використання модулів на основі карбиду кремнію в перетворювачах для електроприводів має сенс:

1. Пряме падіння напруги. Якщо порівняти IGBT і SiC модулі, що видно з діаграми падіння напруги від навантаження, то для карбиду кремнію це пряма лінія, тоді як IGBT має кривизну (рис. 2). В результаті, наприклад, при однаковому заданому струмі падіння напруги на SiC 1 В, а на IGBT 1.5 В. І це зменшення прямого падіння напруги зменшує фактичні втрати провідності, особливо, коли ми знаходимося в зоні нижче номінального навантаження (заштрихована область на рис. 2).
2. Інтегрований в загальну структуру модуля зворотній діод з низьким значенням Q_{rr} зменшує втрати на перемикання, а також зменшує коливання температури в структурі модуля,

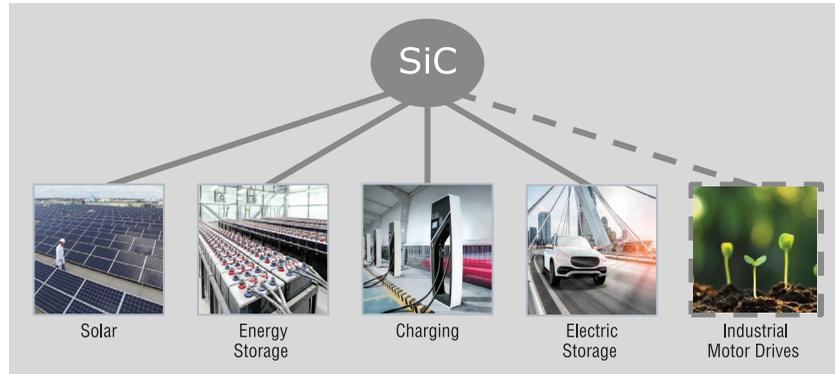


Рис. 1. Сфери застосування напівпровідникових приладів на основі карбіду кремнію

що забезпечує вищу здатність сприймати циклічність навантаження.

3. Набагато швидше перемикання в порівнянні з IGBT.

4. У 2–3 рази краща теплопровідність, що дозволяє розподілити тепло без «гарячих точок».

5. Для нових чипів існує здатність витримувати коротке замикання до 2 мкс.

Таким чином, вище наведені аргументи впливають на термін служби та підвищену здатність до циклічних навантажень. Також, завжди існує можливість перемикання на високих частотах ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), хоч це і не завжди обов'язково. Сам матеріал карбіду кремнію має кращу теплопровідність, що означає більш рівномірний розподіл тепла всередині чипа в порівнянні з IGBT.

Останній, не менш важливий фактор, полягає в тому, що найновіші чипи MOSFET з карбіду кремнію, що використовує Semikron Danfoss, забезпечують можливість витримувати к.з., чого бракувало попереднім поколінням модулів. Саме тому це робить придатними до використання SiC модулі в перетворювачах для електроприводів, особливо в тих випадках, де переваги їх використання доволі суттєві.

ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З АКТИВНИМ ВХОДОМ

Одним із перспективних напрямків впровадження SiC модулів в електропривід можуть стати перетворювачі з активним вхідним випрямлячем (*Active Front End Drive*) (рис. 3).

Зазвичай структура таких перетворювачів, що забезпечують низький вміст гармонік у вхідному струмі, містить вхідний керований випрямляч (трифазна мостова схема IGBT) з частотою комутації 5–6 кГц, доволі великий LCL

фільтр, що вимагає використання певної кількості заліза та міді. Фільтр може бути виконаний окремо, чи інтегрованим в перетворювач та відповідати вимогам певних стандартів в залежності від призначення (IEEE 519 у США, EN81 для ліфтів у ЕС тощо).

Стандартний трифазний інвертор з du/dt вихідної напруги в межах 5–10 кВ/мкс, щоб уникнути перенапруг на двигуні, особливо з довгим вихідним кабелем, зазвичай обмеженою частотою ШІМ 4–6 кГц, здійснює керування приводом і повинен забезпечити малі розміри та низькі втрати.

Перетворювачі з активним входом все частіше зустрічаються, або стають все більш популярними. І причина, звичайно, в тому що вміст гармонік струму у класичних перетворювачів доволі високий. У таких перетворювачів вхід реалізовано на основі повністю керо-

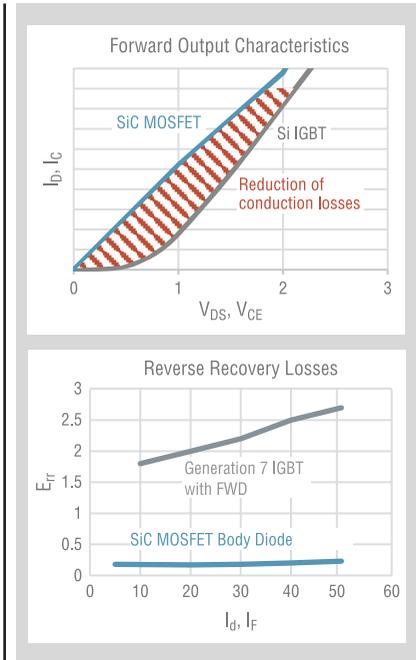


Рис. 2. Діаграма падіння напруги від навантаження

ваного трифазного випрямляча з IGBT модулів з доволі низькою частотою комутації. При цьому завжди є потреба у використанні LCL для фільтрації гармонік струму високої частоти.

Проілюструємо можливість використання модулів на основі карбіду кремнію в наведеній схемі вхідного активного випрямляча (рис. 4) провівши порівняльний аналіз, замінивши в схемі IGBT модулі 7-го покоління на останнє покоління SiC MOSFET — 50 А, одно-

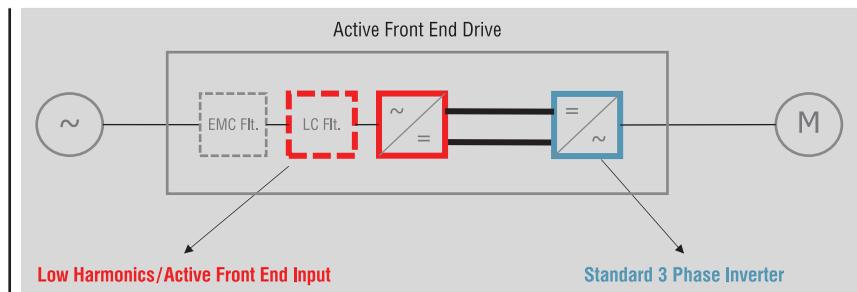


Рис. 3. Застосування SiC MOSFET в електроприводі (*Active Front End Drive*)

Operating Conditions:

- V_{DC} : 750 V
- V_{grid} : 400 V
- I_{Phase} : 30 A
- $\cos \varphi$: 0.98
- f_{grid} : 50 Hz

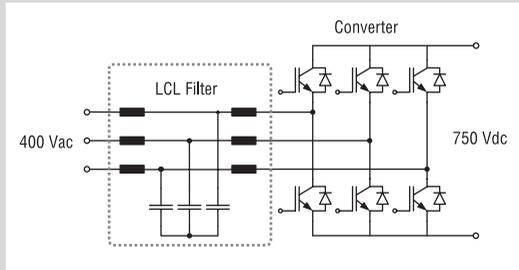


Рис. 4. Схема вхідного активного випрямляча

	Watt Losses	Filter Volume	Filter Weight
Si IGBT		8225 cm ³ 	19.4 kg 
SiC MOSFET	Total: 466W 34% More Efficient 	2448 cm ³  70% Smaller	10.2 kg  47% Lighter

Рис. 5. Результати порівняння використання модулів на основі карбіду кремнію з IGBT модулями 7-го покоління

часно піднявши частоту ШІМ SiC так, щоб отримати аналогічну температуру радіатора при роботі IGBT (до 20 кГц). Для аналізу використано моделювання в програмі *Semikron Danfoss SemiSell*, яку можна безкоштовно використовувати на веб-сайті для проведення теплового моделювання силових схем.

Одночасно проведено порівняння для відповідних фільтрів, до зміни якого привело збільшення частоти ШІМ. Результати порівняння представлено на рисунку 5.

Для стандартного перетворювача (верхній рядок) втрати становлять майже 250 та 463 Вт у фільтрі, що загалом становить 730 Вт при струмі 30 А.

Коли використовували модулі карбіду кремнію, то втрати в перетворювачі зменшились до 175 Вт, а у

фільтрі — до 291 Вт, що загалом становило 466 Вт.

А це означає, що тільки у вхідному перетворювачі та фільтрі втрати стали на 34% менші, лише від переходу на карбід кремнію, при цьому було дещо збільшено частоту комутації. І це ще не весь вигравш.

Об'єм фільтра зменшився на 70%, а його вага — на 47%, що дає можливість інтегрувати перетворювач та фільтр в єдине ціле. Одночасно зменшується звуковий шум, відповідно знижується вартість.

Безумовно, якщо провести просту заміну модулів та порівняти ціни, виграшу ви не отримаєте. Тут необхідний комплексний підхід до всієї системи, тоді отримані переваги можуть легко переважити вартість. Загалом в даному

наведеному конкретному прикладі в результаті можливо отримати:

- більш компактну конструкцію всього перетворювача чи його складової;
- зменшення частотного шуму;
- сукупну економію коштів (*Total Cost of Ownership, TCO*);
- зменшення вартості зберігання та транспортування і в результаті викидів CO₂;
- менші витрати на монтаж, подальша оптимізація по частоті ШІМ та, як результат, більш компактний та ефективний перетворювач для електропривода.

Далі буде

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,
+38 (067) 463-46-62,
+38 (095) 284-96-62,
e-mail: sp.tsdrive@gmail.com,
semikron@ukr.net,
service_danfoss@ukr.net
www.tsdrive.com.ua,
www.semismart.com.ua**

CN

Video Series: Motor Drive Myths

- [SiC Never Pays Back!](#)
- [SiC is too Expensive!](#)
- [SiC Must Be Fast!](#)
- [SiC Is Not Robust!](#)
- [SiC Is Too Complicated!](#)

