

IGBT драйвер із підвищеною стійкістю ізоляції для напруг до 1500 В постійного струму для 2- та 3-рівневих промислових застосувань

Марко Хонсберг (Marco Honsberg), Ніклас Хофстоттер (Niklas Hofstötter),
Semikron Danfoss

Переклад та редагування: Володимир Павловський, к.т.н, с.н.с., ІЕД НАН України

Драйвери IGBT SKYPER ізолюють і передають сигнали керування, генеровані мікропроцесором, від схем низької напруги до зони високої напруги силових напівпровідників. Окрім важливої функції передачі сигналу, у цій публікації також буде розглянуто стійкість ізоляції та надійність драйверів SKYPER разом із спеціальними стратегіями захисту для 2- та 3-рівневих рішень, реалізованих за допомогою найсучасніших ASIC.

1500 В ПОСТІЙНОГО СТРУМУ — СПИСОК ДИРЕКТИВ ПО НИЗЬКІЙ НАПРУЗІ

Враховуючи тенденцію щодо використання силових електроніки аж до верхньої межі, визначеної в Директиві по низькій напрузі, напруги 1500 В постійного струму або 1000 В змінного струму стали однією з проєктних цілей у фотоелектричних (*photovoltaic, PV*) і акумуляторних системах зберігання електричної енергії, що призводить до більш жорстких вимог до конструкції та вибору матеріалів при розробці електроніки для відповідного драйвера IGBT. Простіше кажучи, підвищена електрична міцність ізоляції, що є ключовою особливістю сімейства драйверів SKYPER IGBT, була розроблена у відповідності до жорсткіших вимог щодо зазорів та дистанцій для уникнення поверхневого розряду на друкованій платі (*printed circuit board, PCB*) для застосувань, які згідно директиви про низьку напругу використовують ланку постійного струму на напругу до 1500 В. Подальша увага була зосереджена на пошуку шляхів розробки перетворювачів, які працюють при на-

прузі постійного струму до 1500 В. Дійсно, проста 2-рівнева система потребує IGBT з робочою напругою, яка перевищує сьогоднішній галузевий стандарт для напруги 1700 В, щоб «перекрити» перехідні комутаційні перенапруги та досягти необхідної тривалості безвідмовної роботи (*long-term DC stability, LTDS*). Нові модулі IGBT на 2.0...2.3 кВ полегшують роботу при напрузі ланки постійного струму 1500 В у 2-рівневій топології та можуть бути оптимальним рішенням для таких напівпровідникових застосувань, які не вимагають 3-рівневих топологій, відомих своїми меншими втратами за певних умов застосування та меншими вимогами до індуктивного фільтра. Типова 3-рівнева конфігурація — це топологія «закріпленої нейтральної точки» (*neutral point clamped, NPC*), яка також відома як 3-рівнева конфігурація «I-type». Ця топологія вимагає належної послідовності завершення роботи модуля у разі виникнення несправності, щоб уникнути більшого можливого пошкодження силового каскаду в результаті помилкового або одночасного перемикання силового каскаду NPC. Тому відповідний драйвер IGBT повинен відповідати вимогам без-

Компанія **Semikron Danfoss** — це світовий технологічний лідер у галузі силових електроніки, об'єднаний компаніями SEMIKRON і Danfoss Silicon Power у 2022 році.

У світі, який стає все більш електричним, технології Semikron Danfoss актуальні як ніколи. Завдяки своїм інноваційним рішенням для автомобільної, промислової та відновлюваної енергетики компанія допомагає світу використовувати енергію більш ефективно та раціонально і, таким чином, значно скоротити загальні викиди CO₂ — одну з найбільших проблем, з якою стикається світ сьогодні.

Продукція Semikron Danfoss включає напівпровідникові пристрої, силові модулі, блоки живлення та системи.

Компанія інвестує значні кошти в інновації, технології, виробничі потужності та сервіс, щоб забезпечити найкращі в галузі показники та забезпечити стаке майбутнє.

печної послідовності вимкнення для 2- та 3-рівневих топологій.

ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ДРАЙВЕРІВ SKYPER 12 PV І SKYPER 42LJ PV

На рисунках 1а та 1б показані драйвер типу SKYPER 12 PV та більш потужний драйвер типу SKYPER 42 LJ PV, відповідно, ілюструючи компактність обох IGBT-драйверів з врахуванням підвищених вимог до зазорів та дистанцій для уникнення поверхневого розряду під

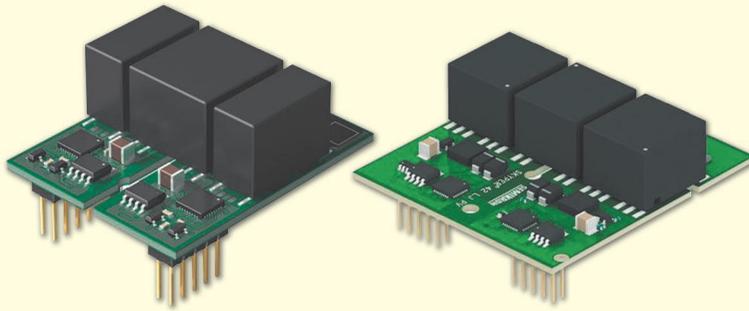


Рис. 1. Драйвер SKYPER 12 PV (а) і більш потужний драйвер SKYPER 42 LJ PV (б)

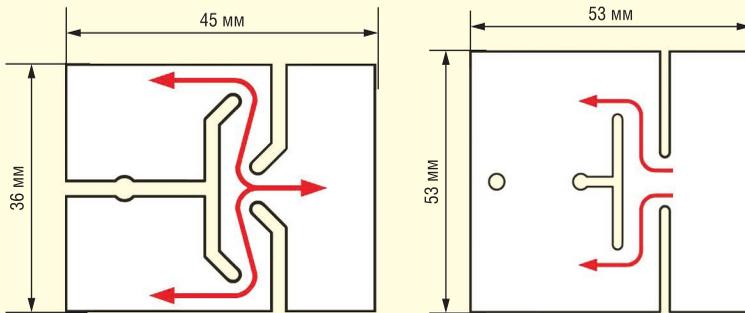


Рис. 2. Друковані плати зі збільшеною дистанцією для уникнення поверхневого розряду

час роботи модулів з класом 1500 В постійного струму. Слід відзначити, що друковані плати, показані на рисунку 2, поєднують збільшення згаданих вище дистанцій, яке досягнуте фрагментуванням плати розрізами, із високоякісною підкладкою, у яких порівняльний індекс СТІ досягає значень 400 і 600 у SKYPER 12 PV і SKYPER 42 LJ PV відповідно. Фрагментування плати розрізами забезпечує реалізацію необхідних дистанцій для уникнення поверхневого розряду згідно з міжнародними стандартами. В обох драйверах SKYPER IGBT, показаних тут, позолочені клеми підключаються до друкованої плати інтерфейсу через стандартні дворядні контактні роз'єми з кроком 2.54 мм. Досягнення такої ж відповідності вимогам щодо ізоляції сигналу та ізоляції для передачі електроенергії є дещо складнішим завданням.

На рисунку 3 показані конструкції корпусу SEMIKRON для трансформаторів, які мають додаткові зазори, що подовжують дистанцію для уникнення поверхневого розряду без збільшення їх розмірів у порівнянні з трансформаторами, які використовуються для 1200-В IGBT-пристроїв. Обидва основні елементи дизайну — фрагментування друкованої плати розрізами, а також конструкція зі «щілинами» для корпусу трансформатора, — забезпечують відповідність вимогам директиви щодо низьковольтного обладнання на 1500 В.

Дивлячись на друковану плату, яка використовується з драйвером SKYPER IGBT, можна побачити, що навколо центральної схеми керування ASIC на друкованих платах розміщено лише декілька зовнішніх електронних компонентів. Обидва драйвери SKYPER міс-

тять останнє покоління власних (запатентованих) схем ASIC SEMIKRON, які контролюють електроживлення, схеми диспетчерського керування, блоки логічного стану та блоки обробки сигналів і помилок, а також вихідний каскад основного драйвера IGBT. Ці ASIC суттєво зменшують кількість зовнішніх компонентів, завдяки чому значно підвищується надійність усієї системи драйвера до рівнів 12×10^6 годин для SKYPER 12 PV і 7.5×10^6 годин для SKYPER 42 LJ PV згідно з розрахунками надійності відповідно до стандарту SN29500.

СТРУКТУРНА СХЕМА ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ SKYPER 12 PV ТА SKYPER 42 LJ PV

На рисунку 4 показана структурна схема ядер драйвера SKYPER, згрупованих у три основні функціональні блоки. Функціональний блок у червоній рамці ліворуч показує первинну сторону, а два блоки в червоній рамці праворуч утворюють дві окремі вторинні сторони ядра драйвера. Первинна сторона драйвера обробляє вхідні сигнали та забезпечує функції керування помилками. Тут цілісність сигналу значною мірою забезпечується генерацією та контролем «мертвого часу» (*dead-time*), а також функціями блокування та придушення коротких імпульсів.

Вищезазначені трансформатори з'єднують первинну сторону з двома незалежними вторинними сторонами, які показані на двох блоках правої сторони схеми. Вторинна сторона містить схеми керування IGBT і вихідний каскад підвищеної потужності. Обидва драйвери дозволяють працювати з максимальною тактовою частотою до 100 кГц і здатні віддавати в затвор IGBT заряд до 20 мкКл на імпульс. Особливо це стосується потужнішого драйвера SKYPER 42 LJ PV, який може віддавати піковий вихідний струм 35 А та має вихідну потужність 4.2 Вт на канал, що відповідає найжорсткішим вимогам для IGBT 7-го покоління, які виробляють кілька компаній. Це означає, що фотоелектричні драйвери сімейства SKYPER підходять для використання в інверторах потужністю від кількох кВт до початку діапазону МВт.

ФУНКЦІЇ ЗАХИСТУ ВКЛЮЧЕНІ/ВБУДОВАНІ

Драйвер SKYPER IGBT містить повний набір функцій захисту, які забез-

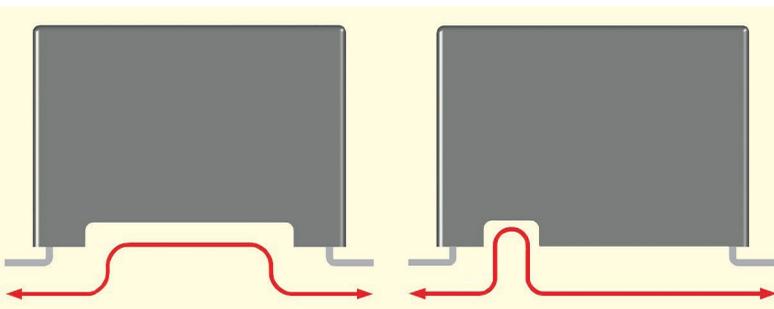


Рис. 3. Додаткові зазори, які подовжують дистанцію для уникнення поверхневого розряду

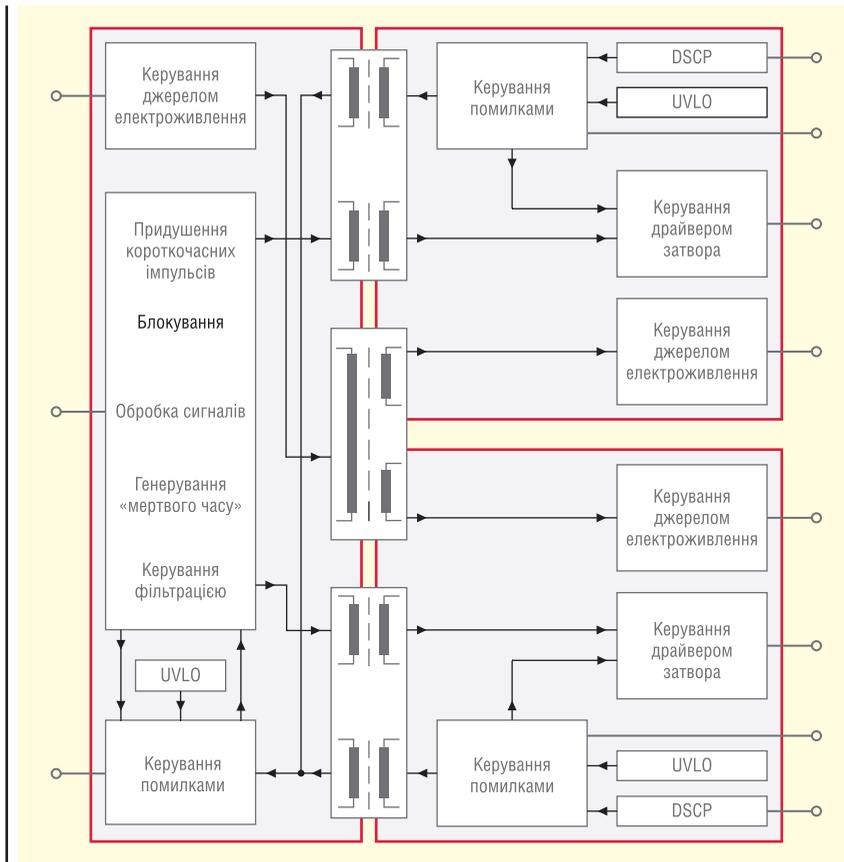


Рис. 4. Ядра драйвера SKYPER, структуровані на три основні функціональні блоки

показано на рисунку 5б. Вибраний приклад ілюструє насичення, яке відбувається невдовзі після початку процесу включення IGBT. Коли напруга $V_{CE(IN)}$ перевищує миттєве значення еталонної напруги $V_{CE(ref)}$, драйвер починає відпрацьовувати програму помилок; залежно від налаштувань режиму помилки, заданого користувачем, драйвер або вимикає IGBT через канал soft-off і повідомляє про виникнення помилки, або повідомляється лише про стан помилки, і драйвер очікує на певну послідовність вимкнення, яка визначена контролером.

Більшість стандартних модулів IGBT використовують термістор NTC (*Negative Temperature Coefficient*) на керамічній підкладці для надання інформації про температуру модуля. Драйвери IGBT SKYPER можуть використовувати цей сигнал від NTC для виявлення ситуації перегріву (*over-temperature*, OT), якщо порогову напругу вибрано правильно. SKYPER може вимкнути IGBT після виявлення перегріву.

Однак у ситуації, коли SKYPER виявив помилку, може бути небажаним, щоб виявлена помилка автоматично призвела до вимкнення відповідного IGBT без «підхоплення» з боку мікропроцесорної схеми контролю. Така «автоматична» реакція на помилку є небажаною, особливо в 3-рівневих конфігураціях із закріпленою нейтральною точкою (NPC), оскільки необхідно дотримуватися певної послідовності вимкнення, щоб запобігти більшому пошкодженню IGBT, силового модуля та всієї системи. З цієї причини у вибраному 3-рівневому режимі роботи SKYPER лише сигналізує про помилку, але не вимикає сигнал на затворі. У цьому випадку сигнал вимкнення надходить від схеми керування мікропроцесора, щоб забезпечити відповідну послідовність вимкнення для всіх напівпровід-

печують нормальну роботу та відключення при виникненні будь-яких помилок або несправностей. Захист «UV» (*under-voltage*) від пониженої напруги електроживлення, яка може бути небезпечною для IGBT і зменшувати швидкість перемикачів та збільшувати втрати провідності, потенційно призводять до перегріву та відмови модуля.

Захист SKYPER від короткого замикання «SC» (*short circuit*) заснований на динамічному виявленні стану недостатнього насичення IGBT. Замість того, щоб порівнювати напругу насичення IGBT з постійним порогом лише у стані провідності модуля, драйвери SKYPER здатні виявляти коротке замикання вже під час переходу IGBT у стан провідності. Коли період часу блокування $t_{bl(VCE)}$ минув, інтегрована схема виявлення SC у SKYPER порівнює миттєву напругу на колекторі та емітері IGBT $V_{CE(IN)}$ під час перехідного процесу ввімкнення IGBT із опорним значенням $V_{CE(ref)}$, яке знижується і яке може бути налаштовано для даного IGBT. Ця спеціальна функція всередині ASIC вимикає IGBT лише у випадку, якщо десатурація IGBT відбувається не так, як визначено або очікувано. Таким чином, SKYPER, по суті, дозволяє

обійтись без часу очікування або блокування і може контролювати процес ввімкнення IGBT в режим онлайн навіть під час перехідного стану модуля.

На рисунку 5а показано нормальний режим увімкнення IGBT. Після ініціювання процесу ввімкнення IGBT драйвером обидві напруги $V_{CE(IN)}$ і $V_{CE(ref)}$ досягають свого сталого рівня $V_{CE(sat)}$ і $V_{CE(stat)}$, не перетинаючись одна з одною. Функція виявлення «SC» активна з моменту, коли напруга $V_{CE(ref)}$ падає нижче фіксованого значення 10 В, встановленого ASIC. Виявлення насичення IGBT

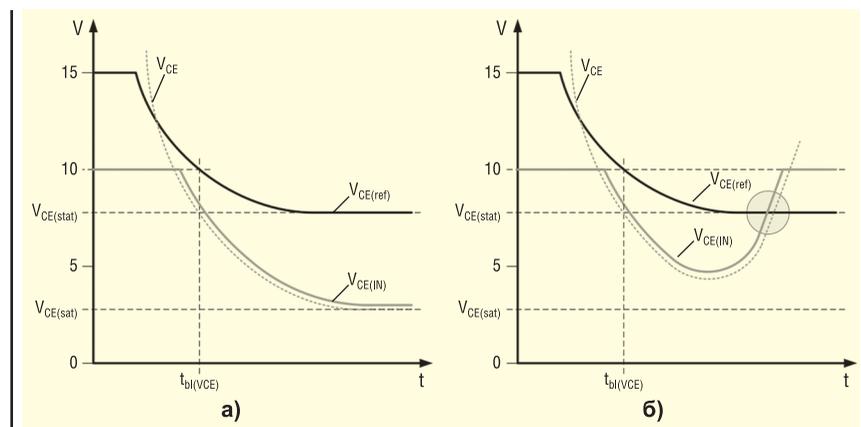


Рис. 5. Поведінка IGBT в процесі переходу в стан провідності

Таблиця 1. Вибраний діапазон ядер драйвера IGBT SKYPER				
Драйвер	P_{out}	$I_{out(peak)}$	V_{DCmax}	3-рівнева конфігурація
SKYPER 12 R	1.25 Вт	20 А	1 200 В	
SKYPER 12 PV	1.25 Вт	20 А	1 500 В	так
SKYPER 32 2nd edition	1.6 Вт	20 А	1 200 В	
SKYPER 32 PRO R	1.1 Вт	15 А	1 200 В	
SKYPER 42 R	3.5 Вт	30 А	1 200 В	
SKYPER 42 LJ R	2.75 Вт	24 А	1 200 В	
SKYPER 42 LJ PV	4.2 Вт	35 А	1 500 В	так

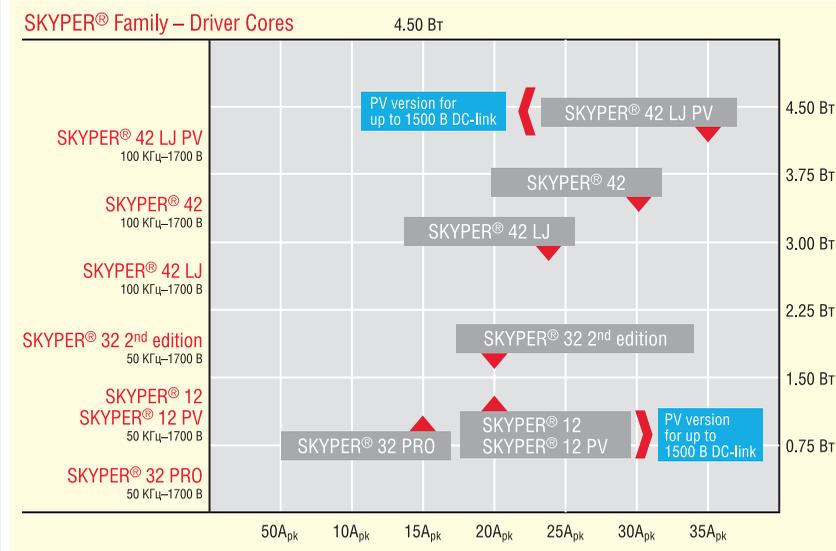


Рис. 6. Вибраний діапазон ядер драйверів SKYPER IGBT

ників, і перевести 3-рівневий силовий каскад в безпечний стан.

АСОРТИМЕНТ ПРОДУКЦІЇ SKYPER

У таблиці 1 та на рисунку 6 показано вибраний діапазон ядер драйвера IGBT SKYPER. Зверніть увагу, що запропоновані два типи SKYPER 12 PV і SKYPER 42 LJ PV можуть бути використані

у застосуваннях до 1 500 В і підходять для IGBT різних розмірів. Всі інші моделі підходять для ланки постійного струму з напругою до 1 200 В.

АКСЕСУАРИ

Використовуючи спеціальні плати розробника для тестів та оцінювання, можна легко протестувати ядро драй-

вера SKYPER 12 PV або SKYPER 42 LJ PV на стандартному модулі. З цією метою SEMIKRON розробив набір плат для швидкої, легкої та ефективної оцінки характеристик ядер драйверів SKYPER. Ці плати, також відомі як «блакитні друковані плати» (*blue PCBs*) SEMIKRON, доступні для кількох 2- та 3-рівневих модулів IGBT. Отже, плати для серії SKYPER PV дозволяють оцінювати роботу драйверів при напрузі до 1 500 В постійного струму відповідно до стандартів EN 62109 і EN 61800-5-1.

Технологія драйвера SKYPER 12 IGBT також використовується в спеціальних драйверах «plug-and-play», які можна підключати до 17-міліметрових модулів, таких як SEMiX IGBT, а також сумісної серії модулів. SKYPER 12 підходить для модулів IGBT на 650, 1 200 і 1 700 В і доступний з двома різними типами роз'ємів.

ІНДИВІДУАЛЬНІ ДРАЙВЕРИ SEMIKRON PLUG-AND-PLAY

Зазвичай драйвери затворів IGBT застосовуються для IGBT з урахуванням його конкретного середовища та умов застосування. З цієї причини стандартні драйвери IGBT (рис. 7) повинні бути спеціально налаштовані, оскільки «стандартні» драйвери рідко можуть досягти максимальної продуктивності роботи. Спеціальні модифікації драйверів затворів SKYPER «plug-and-play» допомагають отримати найвищу продуктивність і надійність для заданої конструкції силового каскаду. Завдяки запатентованому дизайну SEMIKRON ASIC, які мають високу гнучкість налаштування, у більшості випадків дозволяють легко здійснити зміну значення резистора у колі затвора або коригування порогів чи значень часу. Тому без вагань зв'яжіться з нами, якщо вам потрібен SKYPER, зроблений саме для вас!

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**

СН

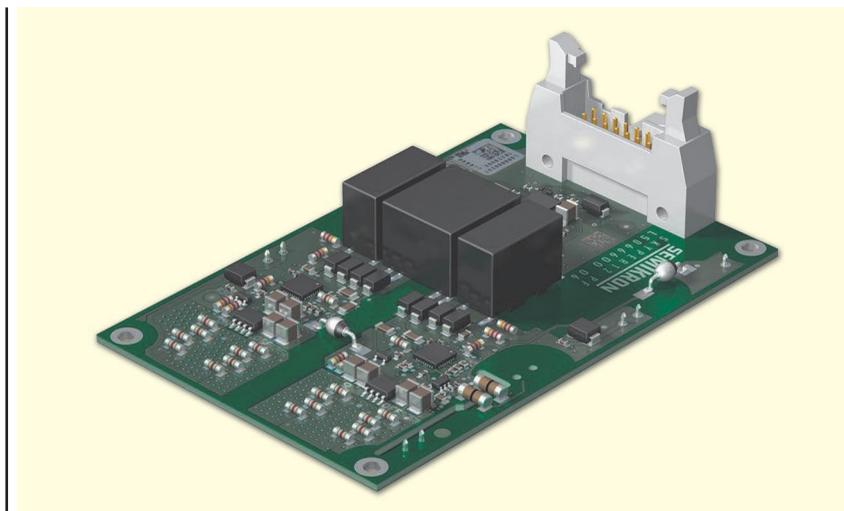


Рис. 7. Стандартний драйвер IGBT