Захист високовольтних електричних систем за допомогою електронних запобіжників на основі SiC

Ехаб Тармум (Ehab Tarmoom), Microchip Technology

Рішення для захисту від переривання електричного кола забезпечують захист електропроводки та обмежують протікання струму короткого замикання й енергію, що подається на несправне навантаження. У цій статті наведено порівняння електронних запобіжників на основі карбіду кремнію (SiC) із традиційними запобіжниками. Дізнайтеся, чим вони відрізняються.

У розвитку силової електроніки важливу роль відіграє технологія карбіду кремнію, оскільки з нею пов'язане скорочення викидів і досягнення цільових показників щодо нульової емісії. Глобальні екологічні завдання вирішуватимуться завдяки широкому впровадженню сучасної силової електроніки в такі системи, як електроприводи, або вдосконаленню наявних пристроїв для підвищення їхньої потужності та ефективності. Ось чому захист силових електричних кіл стає все актуальнішим.

Витрати на обслуговування та заміну компонентів стають досить істотними, тому розробники впроваджують надійніші методи захисту електричних кіл. Пасивні пристрої для розриву кола, здатні захистити лише електричну проводку, не підходять для чутливих електронних навантажень. Досконалішими елементами захисту є електронні запобіжники, що обмежують струм короткого замикання та енергію, яка подається на пошкоджене навантаження, і запобігають його руйнуванню.

МОЖЛИВОСТІ ТА ОБМЕЖЕННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАХИСТУ

Традиційні пасивні запобіжники — це одноразові пристрої, які потребують заміни після усунення несправності. Вони спрацьовують лише за умови тривалих високих струмів, тобто здатні захистити електропроводку, але не чутливі електронні навантаження, відмова яких призводить до простою системи. Параметри таких елементів з часом погіршуються, що істотно впливає на їхню працездатність. Наприклад, вони можуть ставати чутливішими, що збільшує ризик помилкового спрацьовування, або менш чутливими, а отже, для їхнього спрацьовування потрібен ще більший струм. Системи з запобіжниками мають бути простими в обслуговуванні, оскільки є пристроями, що підлягають заміні. Доступність запобіжника важлива з точки зору зручності обслуговування, але негативно позначається на довгостроковій надійності системи. Для підключення кола, що захищається,окрім запобіжника, потрібен його тримач і додаткова проводка до відсіку запобіжників, який зазвичай має панель, елементи кріплення та спеціальні елементи для захисту навколишнього середовища. У високовольтних системах також часто використовується схема блокування для відключення системи при відкриванні панелі запобіжників. Кожен з цих додаткових компонентів, що забезпечують зручність обслуговування, теж може вийти з ладу, що ще більше скорочує термін служби. Крім того, у високовольтних системах заміна запобіжників повинна здійснюватися лише навченим кваліфікованим персоналом.

Для подачі живлення на навантаження зазвичай використовується реле або контактор. Реле має невеликий перепад напруги на контактах навіть при високих навантаженнях, однак їхні властивості погіршуються при комутації ємнісних навантажень або перериванні індуктивних струмів. Схеми попереднього заряду, що складаються з реле та потужного резистора, часто застосовуються для заряджання конденсаторів DC-шини. Це запобігає перевантаженню мережі та «зварюванню» контактів реле під дією екстремально високих струмів. Також необхідні спеціальні заходи, щоб звести до мінімуму окислення, яке підвищує контактний опір і розсіювання надлишкової потужності.

Попри це, контакти зношуються при кожному вмиканні, що скорочує термін їхньої служби. Багато систем розподілу постійного струму, що використовують контактори або реле, які працюють на ємнісне навантаження, містять високоточну схему вимірювання напруги на вході та виході для дотримання умов щодо перепаду сигналу. Чим більша похибка вимірювання, тим вища різниця потенціалів на контактах і тим швидше відбувається їх деградація, що в кінцевому підсумку скорочує термін їх служби. При вимкненні реле або контактора контакти роз'єднуються та утворюється повітряний зазор між вхідним і вихідним колами. Однак це не означає, що електричне коло переривається. У багатьох випадках під час розмикання контактів струм продовжує протікати протягом короткого часу, утворюючи дугу в повітряному зазорі. Це призводить до подальшого зношення контактної пари.

ПЕРЕВАГИ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ЗАПОБІЖНИКА НА СИСТЕМНОМУ РІВНІ

Нестабільність характеристик одноразового пасивного запобіжника, не-

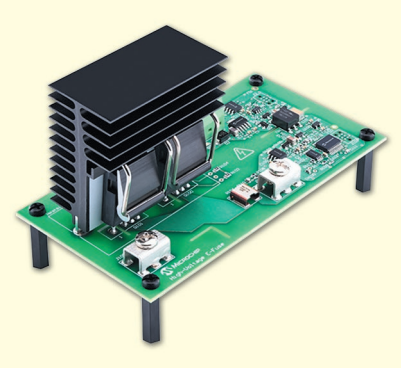

Рис. 1. Рішення E-Fuse від Microchip

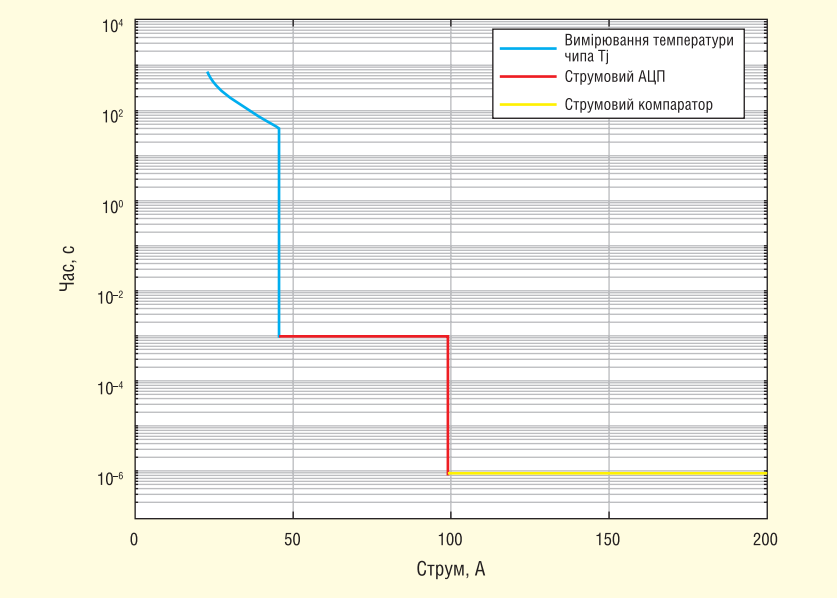

Рис. 2. Крива TCC (Time-Current Characteristic)

обхідність його заміни після спрацьовування та недостатня надійність реле й контакторів — ось кілька факторів, через які розробники звертаються до електронних запобіжників (E-Fuse). У багатьох випадках основною причиною цього стають підвищені вимоги до надійності. Підвищена точність, інтеграція в систему, функціональність, можливість повторного використання та збільшення часу безвідмовної роботи пристрою — очевидні переваги електронного запобіжника. Однак головним фактором є можливість значно підвищити надійність системи.

E-Fuse — це керований і конфігурований твердотільний прилад, призначений для розриву електричного кола. У системах з напругою 400 і 800 В карбід кремнію (SiC) є оптимальним вибором для вирішення цього завдання завдяки високій напрузі пробою, низькому опору відкритого каналу та хорошій теплопровідності. Електронний запобіжник може бути односпрямованим напівпровідниковим ключем, що блокує напругу і струм в одному напрямку, або двоспрямованим ключем, що блокує напругу і струм в обох напрямках (наприклад, від джерела до навантаження і від навантаження до джерела). Прилад E-Fuse поєднує в собі функції запобіжника та електромеханічного реле і може мати додаткові опції, такі як вимірювання струму навантаження, що усуває необхідність у використанні автономного датчика струму.

Електронний запобіжник на основі SiC-ключа, показаний на рисунку 1, обмежує струм короткого замикання на рівні всього декількох сотень ампер. Завдяки широкосмуговій схемі вимірювання струму та використанню налаштувань за замовчуванням пристрій виявляє стан КЗ менш ніж за 700 нс і перериває коло перевантаження за 1–6 мкс, залежно від індуктивності системи. Поріг відключення, що визначається кривою залежності часу від струму (TCC, рис. 2), налаштовується за допомогою ПЗ або через локальну мережу (LIN). Крива TCC містить три методи визначення несправності: вимірювання температури кристала, вибірка величини струму за допомогою АЦП та програмно-конфігурована апаратна схема детектування.

Схема детектування, що показана на рисунку 3, містить резистивний шунт із виводами Кельвіна для точного вимірювання напруги, операційний підсилювач із широкою смугою пропускання, швидкодійний компаратор із настроюваним порогом та тригер SR (*Set-Reset*) для швидкого виявлення та захисту від короткого замикання. При перевантаженнях, що не вимагають негайної реакції, сигнал струму обробляється АЦП мікроконтролера та вбудованим ПЗ. У пристрої передбачено два режими роботи: спрацьовування по фронту або безперервний режим. У першому випадку перевантаження за струмом, що перевищує порогове значення, призводить до негайного вимкнення. У другому режимі при виявленні перевантаження знижується напруга на затворі SiC MOSFET, щоб продовжити

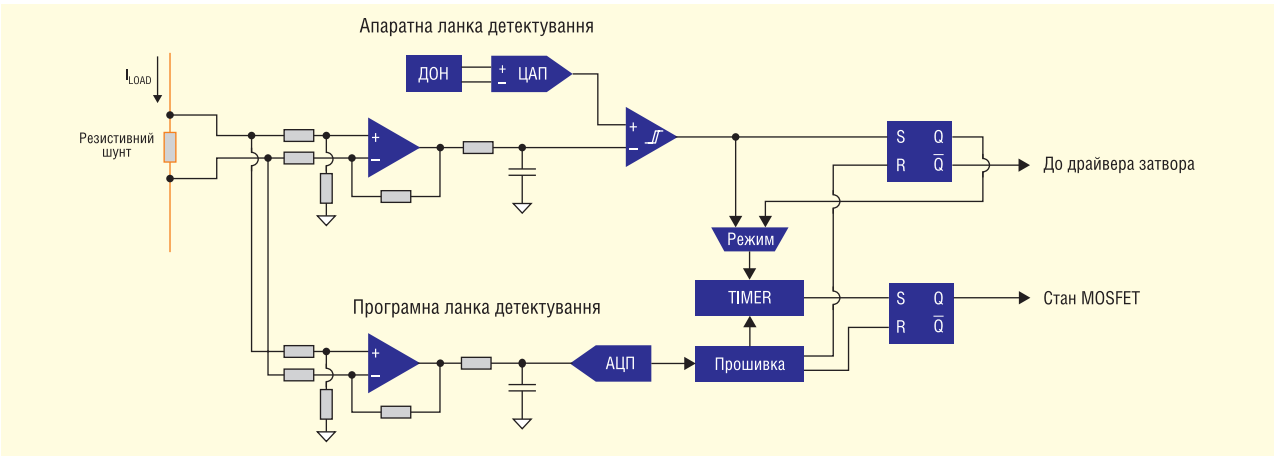

Рис. 3. Схема детектування та захисту від перевантаження за струмом

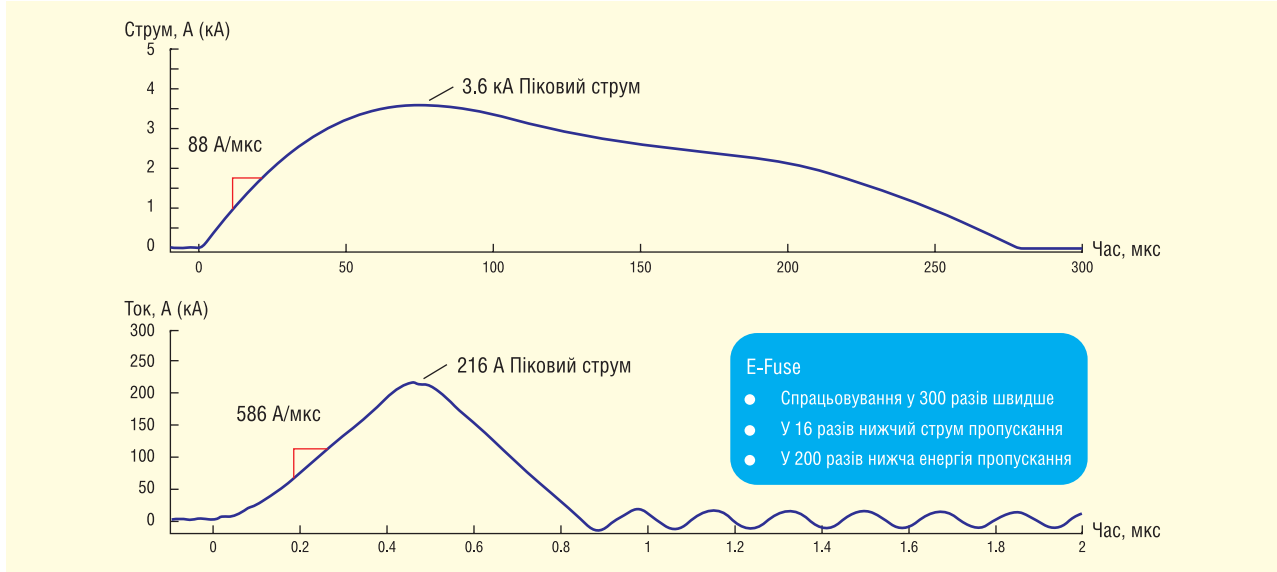

Рис. 4. Тест КЗ: вгорі — зі звичайним запобіжником; внизу — з E-Fuse

час його перебування в стані КЗ. Якщо перевантаження зберігається довше заданого періоду часу, транзистор вимикається, перериваючи коло. Однак якщо струм падає нижче порогового значення, напруга на затворі MOSFET повертається до рівня ввімкнення.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАХИСТУ ВІД КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

На рисунку 4 показано криві струму під час випробувань на коротке замикання зарядженого конденсатора з використанням традиційного запобіжника на 30 А та електронного запобіжника на 30 А. Для демонстрації високої швидкості спрацьовування, E-Fuse було протестовано в жорсткіших умовах при індуктивності джерела, меншій у 6 разів, що дає у 6 разів більший сплеск струму. Навіть у цих умовах максимальний струм КЗ під час випробувань електронного запобіжника становив усього 216 А, тоді як пік струму в пасивному запобіжнику досягав 3.6 кА.

Загальний час переривання несправності склав 672 нс при використанні E-Fuse і 276 мкс з традиційним запобіжником. Крім швидкого спрацьовування електронного пристрою, що забезпечує малий струм пропускання при короткому замиканні, енергія пропускання при цьому також виявляється в сотні й тисячі разів нижчою, ніж у пасивних пристроїв. Під час цих випробувань енергія, що виділяється електронним запобіжником, склала 406 мДж порівняно з 85 Дж у звичайному запобіжнику. Завдяки цьому E-Fuse може запобігти переростанню несправності навантаження в критичну відмову системи.

Під час тестування запобіжників ємність ланки постійного струму повністю розряджалася. Однак у схемі з електронним запобіжником напруга на шині постійного струму знизилася з 450 В лише на 2 В менш ніж за 200 нс. Це є ключовою перевагою, оскільки дозволяє системі продовжувати роботу, не побоюючись, що несправність призведе до помітного падіння напруги на шині живлення.

У багатьох пристроях, де відмови можуть бути небезпечними або призводити до дорогого простою, електронний запобіжник здатний забезпечити достатній рівень захисту. Підбиваючи підсумки результатів тестів, можна сказати, що E-Fuse блокує коротке замикання у 300 разів швидше при зниженні струму пропускання в 16 разів і енергії пропускання у 200 разів при збереженні стабільної роботи ланки постійного струму.

Як було показано в ході випробувань, електронні запобіжники на основі SiC мають низку переваг на системному рівні. Вони не тільки ефективніше захищають проводку та навантаження, але й спрощують проєктування пристрою та інтеграцію схеми керування й датчиків. Попит на широкозонні напівпровідники, такі як SiC, продовжуватиме зростати, оскільки промислові системи потребують постійного підвищення напруги, ефективності та зниження втрат перемикання. Електронні запобіжники усувають конструктивні обмеження, пов'язані зі зручністю обслуговування, та збільшують час безвідмовної роботи, надійність і безпеку системи. CN

НОВИЙ МІНІАТЮРНИЙ КВАРЦОВИЙ ГЕНЕРАТОР

*Компанія **Microchip Technology** оголосила про випуск мініатюрного кварцового генератора з вакуумним корпусом (EMXO) EX-423 — компактного енергоефективного рішення для синхронізації, призначеного для систем, що вимагають високої стабільності, точності та довготривалої надійності. Створений на базі лінійки EX-421, EX-423 забезпечує високі радіочастотні характеристики в компактному корпусі розміром 13 мм × 13 мм для конструкцій з обмеженим простором та енергоспоживанням.*

EX-423 посилений для роботи в складних умовах, герметизований у надвисокому вакуумі, що забезпечує оптимальну теплоізоляцію та сприяє підвищенню стабільності частоти. Його кварцовий кристал має чотириточкове кріплення для підвищення ударостійкості та зменшення чутливості до перевантаження, що робить його ідеальним для систем GPS/GNSS, військових радіостанцій, медичних приладів, сейсмічних систем Ocean Bottom Node (OBN) тощо.

EX-423 поєднує в собі наднизький фазовий шум із суворим контролем температури, високою короткочасною стабільністю (відхилення Аллана), швидким розігрівом та довготривалою стабільністю частоти. Працюючи в стандартному діапазоні частот 10–20 МГц, пристрій споживає 1 Вт під час розігріву та лише 0.2 Вт при +25 °C у стабільному режимі.

www.microchip.com