

## ЕЛЕКТРОННІ ЗАПОБІЖНИКИ ЗВОРОТНОГО СТРУМУ

У статті наведено коротку інформацію про ІМС електронних запобіжників, що випускаються компанією Vishay. Ці пристрої виконують кілька функцій – захист від короткого замикання, обмеження пускового струму, захист від перенапруги та зниженої напруги, захист від перегріву та зворотних струмів. Малі габарити, широкий температурний діапазон дозволяють використовувати ці запобіжники в автомобільній промисловості.

V. Макаренко

### ELECTRONIC REVERSE CURRENT FUSES

*Abstract – The article provides brief information about the IC of electronic fuses manufactured by Vishay. These devices perform several functions - short-circuit protection, inrush current limitation, overvoltage and undervoltage protection, overheating protection and reverse current protection. Small dimensions, wide temperature range allow these fuses to be used in the automotive industry.*

V. Makarenko

Захист джерел живлення від перевантаження струмом необхідний для запобігання їх виходу з ладу і, як наслідок, відмови систем, які вони живлять. Автомобільна, промислова та авіаційна електроніка повинна виживати та працювати в умовах стрибків напруги, характерних для їх режимів роботи. Традиційний захист від перенапруги (OVP – Over Voltage Protection) та перевантаження по струму (OCP – Over Current Protection) заснований на конденсаторах, обмежувачах перехідної напруги (TVS), запобіжниках, діодах та котушках індуктивності, але ці рішення або мають великі габарити і низьку точність, або виходять із ладу (перегорають) при тривалій несправності. Крім того, час спрацьовування таких пристроїв часто виявляється неприпустимо великим.

Електронні запобіжники (eFuse) забезпечують розширені функції захисту та більш високий рівень контролю параметрів у електричних колах порівняно із звичайними одноразовими запобіжниками. На додаток до функції захисту від короткого замикання запобіжники eFuse забезпечують придушення перенапруги в електричних колах, мають регульований захист від перевантаження струмом і дозволяють контролювати швидкість наростання струму для мінімізації пускових струмів, а також містять систему захисту від перегріву – термовимикач (OTP – Over Temperature Protection). Деякі моделі додатково включають функцію блокування зворотного струму. Швидке відключення несправної підсистеми від загальної шини живлення дозволяє решті підсистем продовжувати роботу без перезавантаження або переходу в автономний режим.

Одним з головних компонентів, що забезпечують високу продуктивність eFuse, є вбудований контро-

лер і силовий польовий МОП-транзистор з опором відкритого каналу, що не перевищує кілька десятків мОм. Під час нормальної роботи дуже низький опір транзистора дозволяє сформувати вихідну напругу трохи менше ніж вхідна напруга запобіжника.

На відміну від пасивних запобіжників, eFuse постійно контролює струм, що протікає, і коли він досягає встановленого порогового рівня, спрацьовує захист від короткого замикання. При спрацьовуванні функціонуюча схема захисту знижує струм практично до нуля, а щодо швидкості – в порівнянні з часом спрацьовування 1 с і більше для звичайних запобіжників, eFuse розриває ланцюг за 150...300 нс. Такий малий час реакції знижує навантаження компонентів схеми та підвищує стійкість до незворотних збоїв.

Порівняно з одноразовими запобіжниками eFuses скорочують витрати на технічне обслуговування та час ремонту. Ці елементи дозволяють встановити два способи реагування після закінчення збою – автоматичне повернення в нормальний режим роботи або блокування, яке знімається при подачі зовнішнього сигналу. До того ж, захист від перенапруги та тепловий захист, що забезпечується eFuse, не може бути забезпечений за допомогою звичайних запобіжників.

Електронні запобіжники з обмежувачами перенапруги з низьким струмом спокою забезпечують надійний захист автомобільних джерел живлення відповідно до стандартів ISO 7637-2 та ISO 16750-2.

В автомобільних джерелах живлення часто мають місце перехідні процеси, що створюють значні кидки напруги, які можуть легко вивести з ладу бортову електроніку. Виробники автомобілів незалежно один від одного розробляли стандарти та

процедури випробувань, щоб запобігти виходу з ладу чутливої електроніки при таких подіях. Однак останнім часом виробники автомобілів об'єднали зусилля з міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) для розробки стандартів ISO 7637-2 та ISO 16750-2, що описують можливі перехідні процеси та регламентують методи тестування для їхньої імітації [1].

Хоча стандарт ISO 7637 в основному є специфікацією електромагнітної сумісності, до 2011 року він також включав перехідні процеси, пов'язані з якістю електроживлення. У 2011 році ті розділи, які стосуються якості електропостачання, а не електромагнітної сумісності, були перенесені до стандарту ISO 16750 "Дорожні транспортні засоби – умови довілля та випробування електричного та електронного обладнання" у другій із п'яти частин "Частина 2: Електричні навантаження".

У той час як більшість виробників, як і раніше, дотримуються своїх власних специфікацій та вимог, а не приймають ISO 7637-2 та ISO 16750-2 повністю, спостерігається тенденція до більш точної відповідності стандартам ISO, при цьому специфікації виробників відповідають міжнародним стандартам із незначними змінами.

Стандарти ISO 7637-2 та ISO 16750-2 містять специфікації як для систем 12, так і для систем 24 В. Розглянемо особливості роботи схем захисту в різних режимах.

Одноканальні електронні запобіжники SIPQ32433A та SIPQ32433B від компанії Vishay об'єднують декілька функцій керування та захисту. Вони захищають як джерела живлення, так і вихідні схеми, підключені до виходу, від перевантажень, коротких замикань, стрибків напруги та надмірних пускових струмів [1].

Обмеження вихідного струму можна встановити

за допомогою одного зовнішнього резистора. Порогові рівні захисту вхідної напруги ( $V_{IN}$ ) від перенапруги та блокування від зниження напруги можна встановити за допомогою декількох зовнішніх резисторів. Параметри пускового струму можна встановити за допомогою одного зовнішнього конденсатора плавного пуску.

Після вимкнення через неполадки, які можна виявити, SIPQ32433A зафіксує вимикач живлення в розімкненому стані, а сигнал Power Good (PGD) залишиться на низькому рівні. Запобіжник можна перезапустити, скинувши напругу на вході EN (Enable) або  $V_{IN}$ .

Запобіжник SIPQ32433B автоматично повторить спробу, якщо немає спрацювання систем OTP або OVP. Час затримки повтору в 32 рази перевищує час плавного запуску, встановлений за допомогою конденсатора CSS підключеного до входу SS (рис. 1).

SIPQ32433 сертифіковані для застосування в автомобілях відповідно до специфікації AEC-Q100 зі стрес-тестів, контролю продуктивності для відповідності жорстким умовам експлуатації в кінцевому застосуванні.

Основні параметри SIPQ32433:

- діапазон робочих частот переходу від  $-40$  до  $+125$  °C (відповідає 1 класу приладів)
- класифікація чутливості до електростатичного розряду (ESD) HBM (Human Body) класифікації ESD рівень 2 (від 2000 до 4000 В)
- відповідає CDM (Charged Device Model) ESD, рівень класифікації C4B, метод 2 (від 500 до 1000 В)
- діапазон вхідної напруги від 2.8 до 22 В
- максимальна вхідна напруга 28 В
- типовий внутрішній опір у робочому стані 78 мОм
- діапазон налаштування обмеження струму (OCP) від 0.3 А до 4.5 А

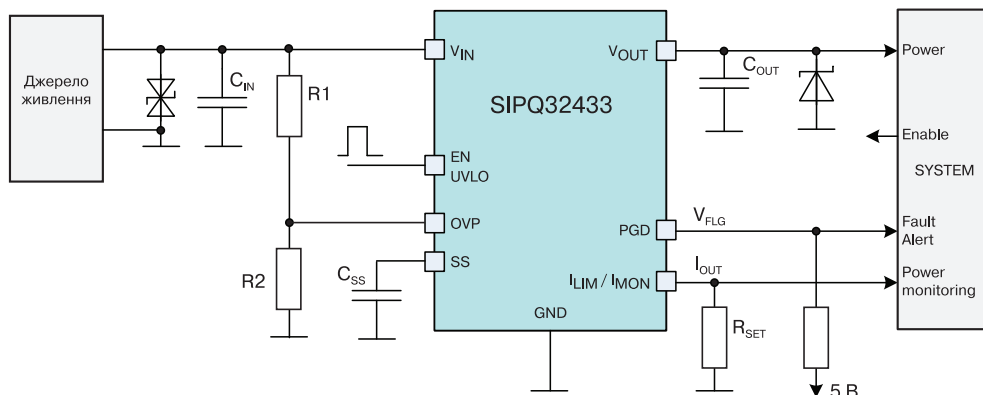
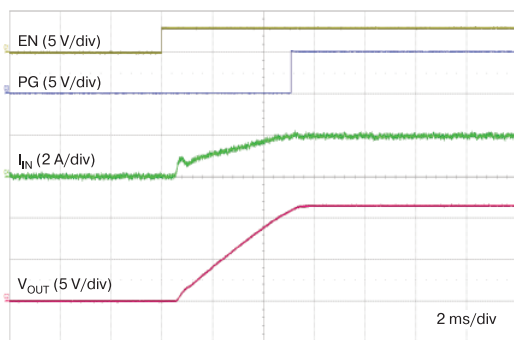


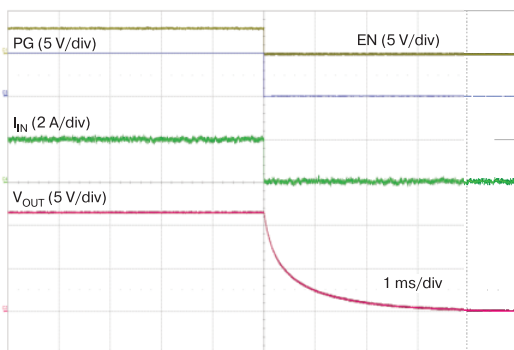
Рис. 1. Схема підключення електронних запобіжників SIPQ32433

- точність спрацювання системи обмеження струму  $\pm 8\%$
- швидка реакція системи захисту від короткого замикання
- запуск ОСР без зовнішнього струму
- програмована швидкість увімкнення
- затримка включення 190 мкс
- регульований рівень OVP і фіксований OVP 24 В для  $V_{IN}$
- регульований рівень порогу відключення під напругою  $U_{VLO}$  (Under voltage lock-out threshold)
- захист від перегріву (OTP)
- відповідність стандарту безпеки IEC 62368-1 2018, сертифіковано 2020/A11, E531343-A6001-CB-1
- корпус TDFN10 3x3 мм (для автомобільних датків, що відповідають вимогам AEC-Q100).

На рис. 2 наведені часові діаграми сигналів на входах та виходах SIPQ32433 в режимі включення (рис. 2,а) та виключення (рис. 2,б) при вхідній напрузі  $V_{IN} = 12$  В, опорі навантаження 6 Ом, вихідній ємності  $C_{OUT} = 47 \times 3$  мкФ,  $C_{SS} = 133$  нФ,  $R_{SET} = 2.49$  кОм.



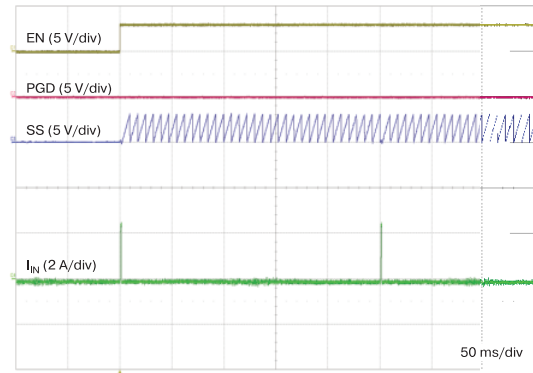
а)



б)

**Рис. 2. Часові діаграми сигналів на входах та виходах SIPQ32433A в режимі включення (а) та виключення (б) при вхідній напрузі  $V_{IN} = 12$  В, опорі навантаження 6 Ом, вихідній ємності  $C_{OUT} = 47 \times 3$  мкФ,  $C_{SS} = 133$  нФ,  $R_{SET} = 2.49$  кОм**

На рис. 3 наведені часові діаграми сигналів на входах та виході SIPQ32433В при включенні і короткому замиканні на виході.



**Рис. 3. Часові діаграми сигналів на входах та виході SIPQ32433В при включенні і короткому замиканні на виході**

Як випливає з рис. 3, електронний запобіжник автоматично перевіряє наявність короткого замикання на виході і періодично (через кожні 32 періоди сигналу на вході SS) намагається включити польовий транзистор. Під час включення (тривалість приблизно 5 мс) стрибок струму складає приблизно 2 А. Як тільки КЗ на виході буде усунене запобіжник SIPQ32433В переходить в робочий режим автоматично.

В [1] можна знайти функціональну схему запобіжника і велику кількість графіків залежності вхідного струму та часових діаграм сигналів на входах та виходах мікросхеми в різних режимах роботи,

Розрахувати опір резисторів дільника R1, R2 що зумовлює рівень порогу відключення від перевищення вхідної напруги (OVP) можна за формулою

$$R_1/R_2 = (V_{IN}(OVP) - 1.2 \text{ В})/1.2 \text{ В},$$

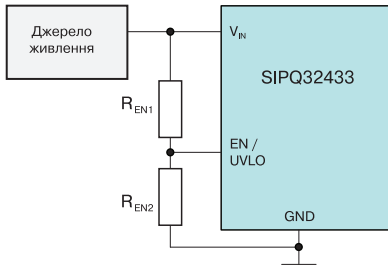
де  $V_{IN}(OVP)$  – напруга спрацювання системи захисту OVP.

Опір резисторів повинен бути достатньо великим, щоб мінімізувати постійний витік від джерела живлення до загального проводу через резисторний дільник. У той же час струм через дільник має бути значно більшим, ніж струм витіку на вході OVP. Загальний опір резисторів дільника напруги не повинен перевищувати 2.5 МОм.

У разі перевищення напруги на вході (яке зазвичай становить 24 В) пристрій вимикає вихід. Поки фіксується перевищення напруги на вході, пристрій залишається вимкненим. Коли вхідна напруга повернеться до нормального робочого діапазону, при-

стрій спробує нормально запуститися.

Для встановлення рівня спрацьовування системи захисту від зниження вхідної напруги нижче заданого рівня використовується дільник  $R_{EN1}$ ,  $R_{EN2}$  (рис. 4).



**Рис. 4. Підключення дільника для встановлення рівня захисту від зниження напруги**

Розрахувати опори резисторів дільника можна за формулою

$$R_{EN1} = R_{EN2}(V_{IN} - V_{UVPR})/V_{UVPR},$$

де  $V_{UVPR}$  – напруга спрацьовування системи захисту.

Пусковий струм виникає, коли перемикач вмикається на велику вихідну ємність. Якщо пусковий струм не контролюється, це може пошкодити вхідні роз'єми та/або призвести до падіння системного живлення, що призведе до неочікуваних перезапущів в іншому місці в системі.

SIPQ32433A і SIPQ32433B забезпечують інтегрований контроль швидкості наростання вихідного сигналу для керування пусковим струмом під час запуску. Це досягається шляхом примусу  $V_{OUT}$  слідувати напрузі на конденсаторі плавного пуску. Джерело постійного струму 5 мкА заряджає конденсатор  $C_{SS}$ , генеруючи лінійну напругу наростання на цьому конденсаторі.

Пусковий струм пропорційний ємності навантаження та швидкості наростання вихідної напруги. Для розрахунку можна використати наступне рівняння

$$S_R(\text{В/мс}) = I_{INRUSH}(\text{мА})/C_{OUT}(\text{мкФ}),$$

$$T_{SS} = V_{IN}C_{OUT}/I_{INRUSH},$$

де  $S_R$  – швидкість наростання вихідної напруги,  $I_{INRUSH}$  – пусковий струм,  $C_{OUT}$  – ємність навантаження.

Швидкість наростання вихідної напруги залежить від ємності  $C_{SS}$ , яку можна розрахувати за формулою

$$C_{SS} = 9I_{SS}/S_R.$$

SIPQ32433A і SIPQ32433B активно відстежують струм, що протікає через запобіжник, і забезпечують швидку реакцію на умови перевищення струму шляхом його активного регулювання до заданої межі. Обмеження струму встановлюється підключенням резистора між контактом  $I_{LIM}$  і загальним проводом. Розрахувати  $R_{SET}$  можна розрахувати за формулою

$$R_{SET} = 10300 \cdot 0.6 \text{ В}/I_{LIM},$$

де  $I_{LIM}$  – струм обмеження.

Блокування зворотного струму відбувається у випадку коли вихідна напруга  $V_{OUT}$  стає більше ніж вхідна  $V_{IN}$  на 20 мВ (типове значення), запобіжник вимикається.

Як тільки  $V_{OUT}$  падає нижче порогу відновлення (20 мВ зазвичай), запобіжник вмикається без плавного пуску. Коли перемикач є вимкнено, струм блокується в обох напрямках.

Більш детальну інформацію про особливості та параметри запобіжників можна знайти в [1].

## ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.vishay.com/docs/62096/sipq32433.pdf>