

Transile czy szybkie klucze?

Ochrona czułych wejść analogowych przed przepięciami (2)



Świadomość, że wysokie napięcie uszkadza czułe układy analogowe, jest wśród elektroników niekwestionowana. Większość z nas zdaje sobie również sprawę z tego, że takie napięcia można łatwo wygenerować elektrostatycznie. Ochrona przed wyładowaniami statycznymi to niezwykle istotny aspekt projektowania układów elektronicznych, szczególnie jeśli mamy do czynienia z układami analogowymi, których wejścia czy wyjścia wystawione są na świat zewnętrzny.

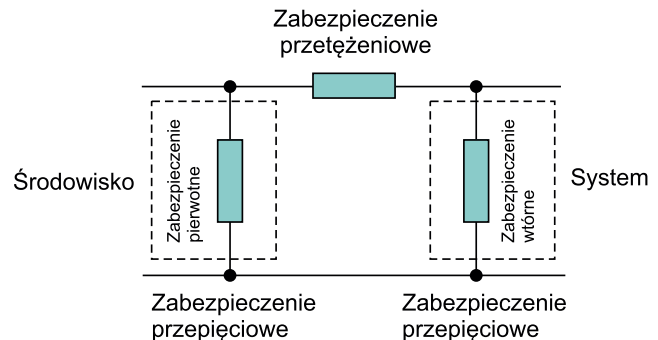
Jak zabezpieczać wejścia

Projektując zespół obwodów ochronnych dla wejść analogowych, projektant musi wziąć pod uwagę kilka głównych elementów:

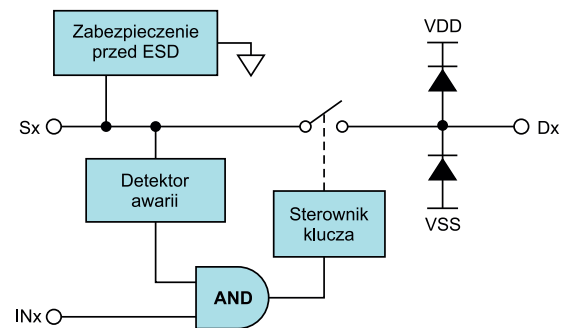
- Zespół obwodów ochronnych musi zapobiegać lub ograniczać uszkodzenia spowodowane przepięciem i umożliwiać powrót systemu do normalnej pracy przy minimalnym wpływie na jego parametry działania.
- System ochrony powinien być wystarczająco wytrzymały, aby poradzić sobie z każdym typem stanów nieustalonych, na jakie system może być narażony w terenie.
- Ważnym czynnikiem jest czas – w przypadku długotrwałych przepięć istotne są również efekty termiczne, które mogą spowodować awarię chroniących układ elementów.
- W normalnych warunkach pracy elementy ochronne nie powinny zakłócać działania systemu.
- Jeżeli obwód zabezpieczający ulegnie awarii podczas przeciążenia, powinien ulec awarii w taki sposób, aby uchronić system.

Na **rysunku 6** został pokazany typowy wielostopniowy system ochrony. Zawiera pierwotny i wtórny stopień ochrony, a ponadto wyposażony jest w zabezpieczenie nadprądowe, które rozłącza się w momencie przetężenia, co także dodatkowo zabezpiecza układ. Podstawowa ochrona, która kieruje większość energii przepięcia z dala od systemu, zwykle znajduje się na styku systemu z otoczeniem. Zabezpieczenia te zazwyczaj kierują energię do masy. Zabezpieczenie wtórne chroni dalsze części systemu przed przepięciami, które mogą przeniknąć do wnętrza układu. Jest ono zoptymalizowane do ochrony przed niższymi, resztkowymi energiami przepięcia, a jednocześnie umożliwia w pełni normalne działanie wrażliwych części systemu.

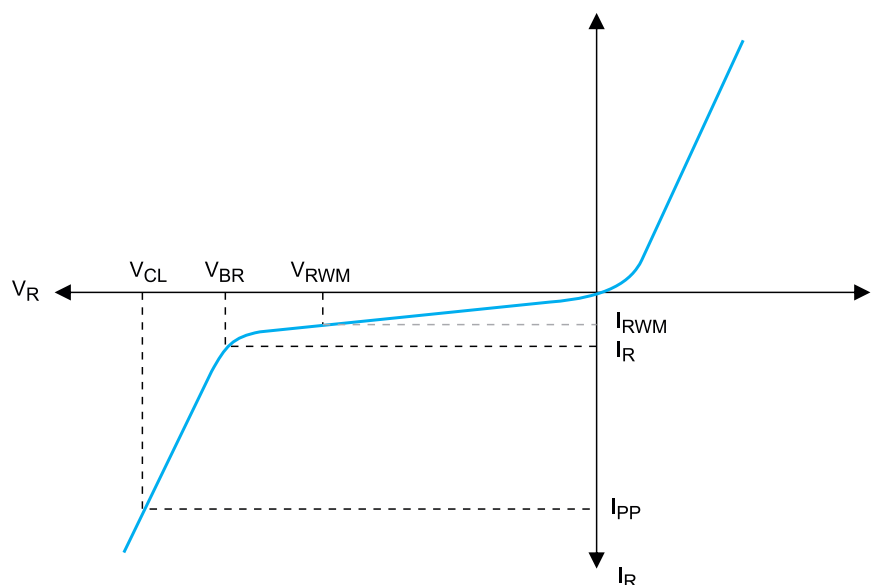
Alternatywnym podejściem jest zastosowanie szybkiego klucza, który odłączy chroniony układ w momencie detekcji przepięcia na wejściu systemu. Zastosowanie go w połączeniu z transilami



Rysunek 6. Uproszczony schemat wielostopniowego systemu ochrony przeciwprzepięciowej urządzenia elektronicznego



Rysunek 7. Uproszczony schemat ideowy systemu ochrony przeciwprzepięciowej, wykorzystujący sterowany elektronicznie klucz



Rysunek 8. Krzywa I-V typowego transila wraz z zaznaczonymi kluczowymi parametrami układu. Krzywa zmierzona dla polaryzacji w kierunku przewodzenia

może chronić wrażliwy obwód wyjściowy, ponieważ może być stosowany do skutecznego blokowania przepięć czy prądów różnicowych, które nie są odprowadzane do masy przez transile. Na **rysunku 7** pokazano uproszczony schemat układu ochronnego, wykorzystującego tego rodzaju elektroniczny przełącznik do ochrony systemu.

Transile a szybkie przetłaczniki

Transile charakteryzowane są szeregiem parametrów. Najważniejsze z nich to maksymalne napięcie pracy, napięcie przebicia, a także moc szczytowa, która pozwala ocenić, jak duże przepięcia transil może zewrzeć do masy przed uszkodzeniem. Różni producenci stosują nieco inne nazwy na poszczególne parametry. Na **rysunku 8** zaprezentowano krzywą I-V typowego transila, wykorzystywanego do ochrony przeciwprzepięciowej. Na wykresie tym zaznaczono podstawowe parametry, jakie wykorzystuje się do charakteryzowania tych elementów.

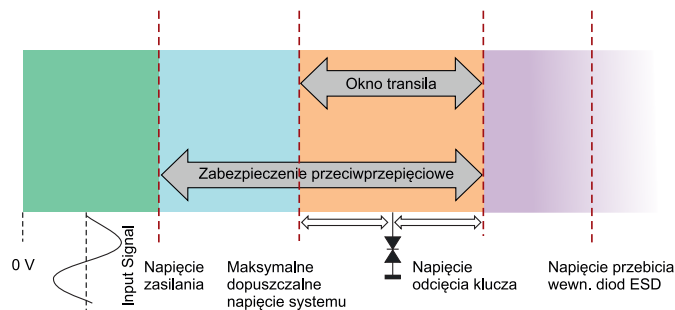
Ponieważ transil pracuje w układzie spolaryzowany zaporowo, parametry tego elementu nie są podawane jak dla zwykłej diody, a odwrotnie. Z pewnością ułatwia to dobór odpowiedniego elementu dla danego układu. Główne parametry tej diody zabezpieczającej to:

- robocze szczytowe napięcie wsteczne, maksymalne napięcie pracy diody VRWM (*Stand-off voltage*) – napięcie, poniżej którego nie występuje znaczące przewodzenie diody,
- napięcie przebicia VBR (*Breakdown voltage*) – napięcie, przy którym następuje przebicie i lawinowo zwiększa się prąd (do napięcia odcięcia lub niżej, zależnie od prądu),
- maksymalne napięcie odcięcia VCL (*Clamping voltage*) – maksymalne napięcie na elemencie podczas przewodzenia określonego prądu maksymalnego (IPP). Napięcia te mogą być podawane dla różnych warunków (przewodzonego prądu, czasu trwania napięcia),
- moc szczytowa (*Peak power*) – maksymalna moc, jaką układ jest w stanie rozproszyć w konkretnych warunkach. Najczęściej specyfikuje się maksymalną moc impulsu o określonych parametrach (czas trwania, prąd, kształt, itd.).

Ponadto dla transili specyfikuje się:

- prąd upływu (*Leakage current*) – prąd płynący przez spolaryzowaną zaporowo diodę, gdy napięcie wynosi poniżej szczytowego napięcia wstecznego (typowo dla napięcia, jakie normalnie może osiągać sygnał). Upływ jest dominującym źródłem błędów w systemach analogowych. Nawet niewielki prąd upływu może się przekładać na istotny błąd na wejściu o wysokiej impedancji wewnętrznej,
- pojemność pasywna (*Junction capacitance*) – pojemność złącza diody zabezpieczającej. Nieprzewodząca dioda zachowuje się jak kondensator i powoduje wydłużanie czasów stabilizacji sygnałów na wejściu, a co za tym idzie ogranicza pasmo toru sygnałowego. Jest to parametr ważny do uwzględnienia przy zabezpieczaniu wejść o wysokiej przepustowości,
- indukcyjność pasożytnicza (*Parasitic Lead Inductance*) – indukcyjność wszystkich elementów doprowadzających prąd do złącza diody zabezpieczającej, także pól lutowniczych. Powoduje ona zmniejszenie prędkości działania układu zabezpieczającego.

Układ pokazany na **rysunku 7** wykorzystuje szybki przełącznik półprzewodnikowy. Należy zauważyć, że nie ma on elementów zabezpieczających przed wyładowaniami elektrostatycznymi na wejściu. Zamiast tego system składa się z komórki zabezpieczającej przed wyładowaniami elektrostatycznymi, która działa powyżej maksymalnego napięcia roboczego pozostałych elementów układu. Dzięki temu układ zabezpieczony jest skutecznie przed szybkimi szpilkami o amplitudzie istotnie wyższej niż napięcie zasilania.

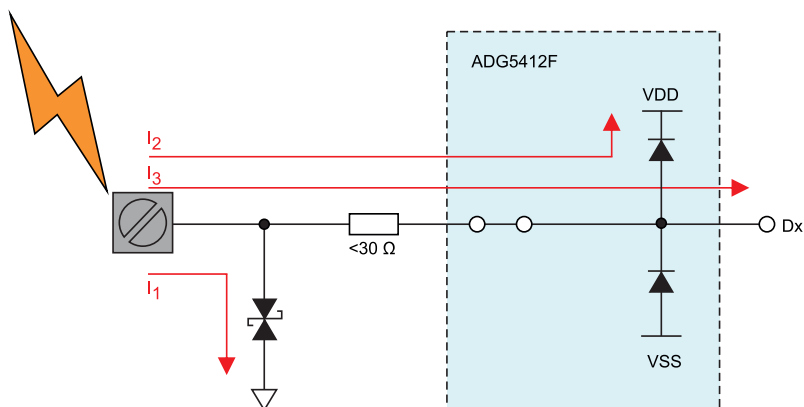


Rysunek 9. Regiony działania różnych zabezpieczeń przepięciowych

Ponieważ system analogowy zwykle wymaga, aby tylko styki przełącznika zabezpieczającego, znajdujące się po „wewnętrznej” stronie układu, były wyposażone w dodatkowe zabezpieczenia przeciwko ESD, to tam znaleźć można diody zabezpieczające. Elementy te służą jedynie jako dodatkowe urządzenie ochronne, które zadziała tylko w przypadku krótkich stanów przejściowych z szybkim czasem narastania, takich jak wydarzenia ESD czy EFT. Podczas dłuższych przepięć z powolnym czasem narastania impulsu napięcie na wyjściu przełącznika jest odcięte na poziomie definiowanym przez diody zabezpieczające do momentu, w którym zadziała wykrywacz awarii w przełączniku – w chwili, gdy aktywowane zostanie to zabezpieczenie przeciwprzepięciowe, klucz otworzy się, aby w pełni odizolować usterkę od zespołu obwodów wewnętrznych.

Na **rysunku 9** pokazano regiony działania różnych zabezpieczeń dla zewnętrznego wejścia systemu analogowego. Obszar najbardziej po lewej stronie (w kolorze zielonym) reprezentuje normalne działanie, w którym napięcie wejściowe znajduje się między napięciami zasilania obwodów wewnętrznych. Drugi od lewej obszar (w kolorze niebieskim) reprezentuje zakres dopuszczalnych długotrwałych przepięć (prądu stałego i przemiennego), które będą się pojawiać na wejściu. Po prawej stronie (w kolorze fioletowym) znajduje się również napięcie wyzwalające dla wewnętrznych diod zabezpieczających ESD zabezpieczenia przeciwprzepięciowego. Napięcie przebicia TVS (w kolorze pomarańczowym) musi być dobrane tak, aby było mniejsze niż maksymalne napięcie odcięcia układów zabezpieczenia nadnapięciowego, znajdujące się w scalonym kluczu, odcinającym sygnał w momencie przepięcia.

Na **rysunku 10** pokazano przykładowy układ ochrony przeciwprzepięciowej (ADG5412F firmy Analog Devices) wykorzystujący półprzewodnikowy klucz do ochrony układu. Wbudowane diody, dołączone do linii zasilania, odcinają przepięcia od napięć zasilania. W momencie wystąpienia krótkiego impulsu wyższego napięcia, energia odprowadzana jest do masy poprzez układ zabezpieczenia ESD. Z kolei w momencie wystąpienia długotrwałego przepięcia, które w normalnych warunkach mogłoby przegrzać diody czy



Rysunek 10. Przykładowy układ ochrony przeciwprzepięciowej wykorzystujący półprzewodnikowy klucz do ochrony układu

transile zabezpieczające, klucz rozłącza wejście, chroniąc układ przed uszkodzeniem.

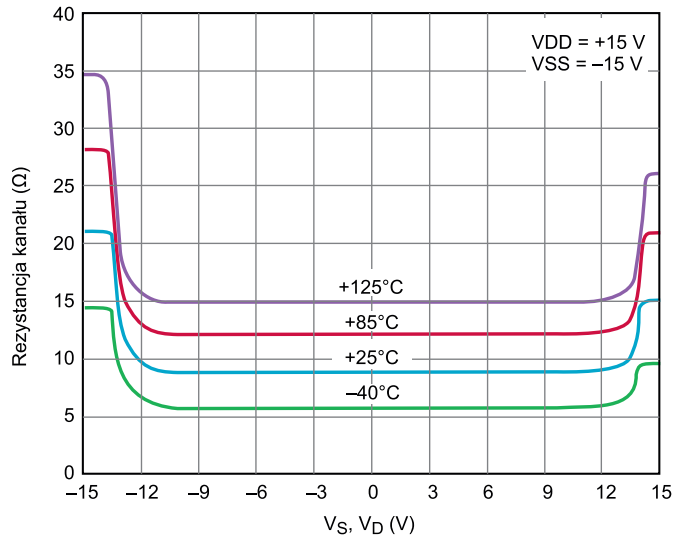
Podsumowanie

Oprócz osiągnięcia dużej odporności, opisane układy do zabezpieczania wejść charakteryzują się także dobrymi parametrami analogowymi. Parametry tego rodzaju klucza to zawsze kompromis między niską rezystancją kanału a małą pojemnością bramki. Wybór konkretnego przełącznika zwykle zależy od tego, czy obciążenie, znajdujące się za zabezpieczeniem, ma wysoką czy niską impedancję.

Dzięki wykorzystaniu w układzie zabezpieczającym tranzystorów NDMOS i PDMOS, oddzielonych od siebie izolującą warstwą tlenku, złącza pasożytnicze, które występują między tranzystorami w przełącznikach, są eliminowane, a wynikiem jest przełącznik, który jest odporny na zatraskiwanie we wszystkich wyobrażalnych okolicznościach. Na przykład układ ADG5412F przechodzi test zatraskowy zdefiniowany w JESD78D dla prądu ±500 mA i szerokości impulsu 1 sekundy, co jest najbardziej rygorystycznym testem w tej normie.

Niezależnie od impedancji wejściowej znajdujących się dalej układów, zastosowanie elektronicznego klucza do ochrony układów ma wiele zalet. W przypadku systemów z niską impedancją wejściową istotny jest fakt, że zastosowany w układzie tranzystor charakteryzuje się małym oporem kanału. Co więcej, rezystancja ta jest stała w szerokim zakresie napięć wejściowych i tylko nieznacznie, ale w znany sposób, zmienia się z temperaturą. Obrazuje to wykres rezystancji klucza w funkcji napięcia, pokazany na rysunku 11. Dzięki płaskiej charakterystyce oporu nie wprowadza on nieliniowości do czułego toru analogowego.

Z kolei w przypadku stosowania tego układu z odbiornikami o wysokiej impedancji istotna jest niska pojemność i upływność elementów zabezpieczających. Typowymi systemami tego rodzaju są czułe wejścia pomiarowe w systemach akwizycji danych – w takim układzie znajdują się wzmacniacze o niewielkim prądzie polaryzacji wejścia i wysokiej impedancji. Mały prąd upływu układu zabezpieczającego pozwala zagwarantować minimalizację błędów pomiarowego systemu. Nowoczesne układy zabezpieczające charakteryzują się prądem upływu na poziomie kilku nanoamperów. Co więcej, w przypadku systemów wielokanałowych (takich jak np. ADG5248F) nawet wystąpienie przepięcia w jednym z kanałów nie zwiększa upływu w pozostałych. Z kolei niewielka pojemność pasożytnicza zabezpieczenia (np. 19 pF dla ASG5248F) nie wpływa znacząco na szerokość pasma w zakresie wysokich częstotliwości.



Rysunek 11. Zależność rezystancji klucza od napięcia sygnału układu ADG5405F dla czterech różnych temperatur układu

Ostatnią z zalet zastosowania do zabezpieczenia przeciwprzepięciowego kluczy półprzewodnikowych jest możliwość monitorowania stanu sekcji wejściowej urządzenia. Układy zabezpieczające wyposażone są w piny informacyjne, które wystawiają flagi, informujące o wystąpieniu (lub trwaniu) przepięcia. Istotnie ułatwia to obsługę urządzenia i jego diagnostykę oraz serwis.



Zastąpienie tradycyjnych dyskretnych elementów zabezpieczających przełącznikami i multiplexerami półprzewodnikowymi zabezpieczonymi przed przepięciem zapewnia wiele korzyści systemowych w precyzyjnym torze sygnałowym. Oprócz oszczędności miejsca na płycie drukowanej, inne korzyści płynące z wymiany dyskretnych komponentów na odpowiednie układy scalone mogą być znaczące.

Nikodem Czechowski, EP

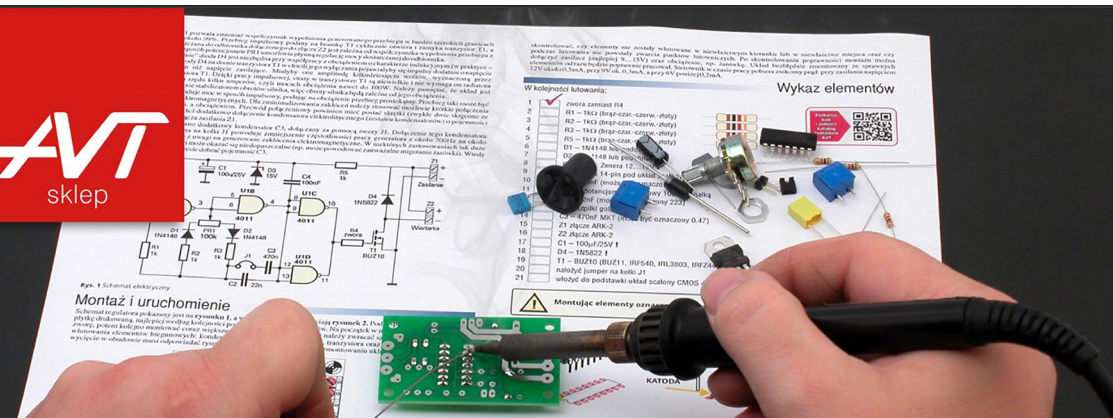
Źródła:

- <https://bit.ly/39BmD7d>
- <https://bit.ly/39zIfAU>
- <https://bit.ly/3Z27QSK>
- <https://bit.ly/3g7v0de>

REKLAMA

KITY AVT
@KITYAVT · Elektronika



Wykaz elementów

1	złącze zasilania H4
2	R1 – 1kΩ (brąz-czar-czerw-żółty)
3	R2 – 1kΩ (brąz-czar-czerw-żółty)
4	R3 – 1kΩ (brąz-czar-czerw-żółty)
5	R4 – 1kΩ (brąz-czar-czerw-żółty)
6	R5 – 1kΩ (brąz-czar-czerw-żółty)
7	R6 – 1kΩ (brąz-żółty)
8	148 lub podob.
9	148 lub podob.
10	148 lub podob.
11	148 lub podob.
12	148 lub podob.
13	148 lub podob.
14	148 lub podob.
15	148 lub podob.
16	148 lub podob.
17	148 lub podob.
18	148 lub podob.
19	148 lub podob.
20	148 lub podob.
21	148 lub podob.

<http://bit.ly/2BjVMN7>