

Transile czy szybkie klucze?

Ochrona czułych wejść analogowych przed przepięciami (1)

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 zewnątrz.

Stany nieustalone powodujące szpilki wysokiego napięcia, które oddziałują z analogowymi węzłami wejściowymi i wyjściowymi systemu, mogą uszkodzić układy scalone w urządzeniu, jeśli nie są odpowiednio chronione. Analogowe styki wejściowe i wyjściowe współczesnych układów scalonych są zazwyczaj zabezpieczone przed wyładowaniami elektrostatycznymi (ESD). Do opisu tych przepięć stosuje się model ludzkiego ciała (HBM), model maszyny (MM) i model naładowanego urządzenia (CDM). Są to standardy działające na poziomie układu scalonego, stosowane do mierzenia jego zdolności do wytrzymywania zdarzeń ESD. Testy te są zaprojektowane tak, aby dany element mógł wytrzymać proces produkcji i montażu PCB, co zwykle odbywa się w kontrolowanym środowisku.

Systemy działające w trudnych warunkach elektromagnetycznych są zazwyczaj odporne na krótkotrwałe wyładowania wysokonapięciowe na węzłach wejściowych lub wyjściowych, ale przy przechodzeniu od standardów na poziomie układów scalonych do standardów na poziomie całego systemu, dotyczących odporności na przepięcia, istnieją znaczne różnice w przekazywanych poziomach energii do układu scalonego. Dlatego też układy scalone, które bezpośrednio łączą się z węzłami wejściowymi i wyjściowymi systemu, muszą być dodatkowo chronione, aby mogły wytrzymać stany wysokiego napięcia, jakie specyfikuje się na poziomie systemu. Jeśli ochrona ta nie zostanie uwzględniona na wczesnym etapie projektowania urządzenia, to późne poprawki i jej dodawanie na ostatnią chwilę prowadzić będą do opóźnienia w produkcji i zwiększenia kosztów urządzenia.

W poniższym artykule przyjrzymy się różnym specyfikacjom i normom, stosowanym do opisu poziomów ochrony przeciwprzepięciowej. W kolejnej części opiszemy sposoby, jakimi można zapewnić ochronę w systemach elektronicznych.

Czym jest przepięcie?

Przepięcie to wzrost napięcia w systemie elektronicznym powyżej górnej granicy

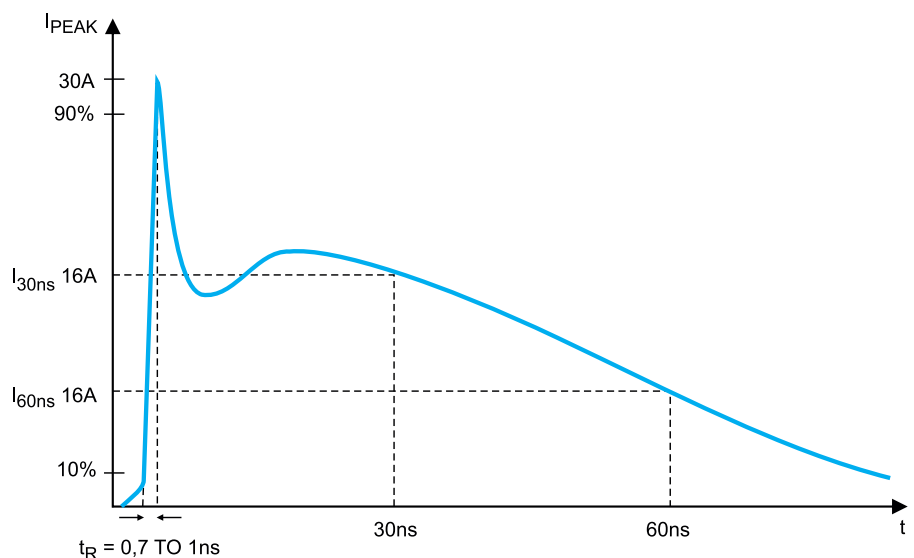
projektowej (lub poniżej dolnej granicy projektowej). Wykroczenie poza znamionowe granice napięcia może prowadzić do uszkodzenia danego urządzenia. Wyróżnia się dwa rodzaje przepięć – przejściowe, czyli mówiąc potocznie szpilkę napięcia o skończonym (zazwyczaj bardzo krótkim) czasie trwania oraz długotrwałe. W elektronice najczęściej do czynienia mamy z przepięciami przejściowymi, wywoływanymi czynnikami zewnętrznymi, takimi jak impulsy elektromagnetyczne, wyładowania elektrostatyczne, zakłócenia radiowe, itp.

Aby scharakteryzować, czym dokładnie jest tego rodzaju zdarzenie, należy sięgnąć do stosownych norm. Przepięcia opisują normy PN-EN IEC 61000 (w częściach 4-2, 4-4 oraz 4-5) oraz ISO 7637 (w części 2) i ISO 16750 (w części 2), z czego te dwie ostatnie to normy motoryzacyjne. W ogólności normy te opisują odporność elektryczną i zgodność elektromagnetyczną urządzeń elektronicznych.

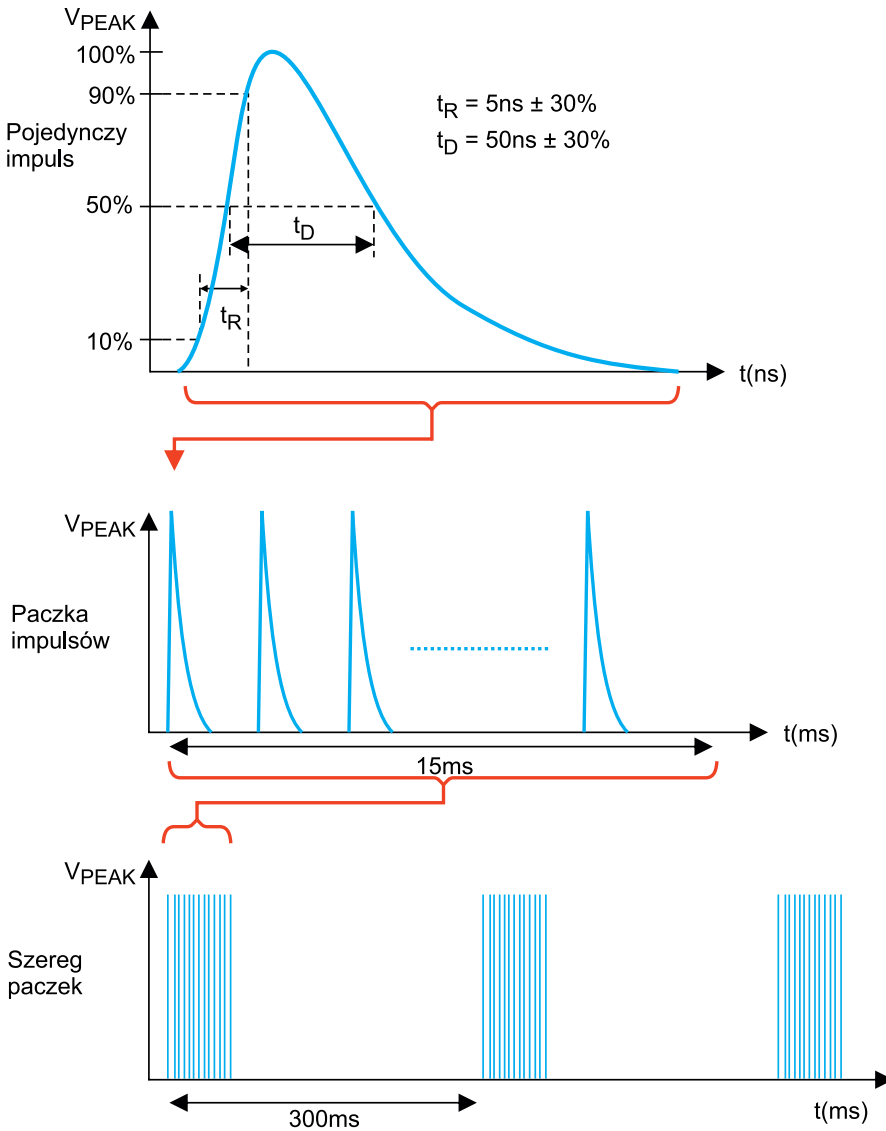
IEC61000

Norma IEC 61000 (i jej polska implementacja PN-EN IEC 61000) opisuje odporność urządzeń elektrycznych na zakłócenia elektromagnetyczne na poziomie całego systemu. Trzy sekcje tej normy, dotyczące stanów nieustalonych wysokiego napięcia, to IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4 i IEC 61000-4-5. Opisują one systemowe standardy testów dla, odpowiednio, wyładowań elektrostatycznych (ESD), szybkich stanów nieustalonych (EFT) i uderów. Normy te definiują kształty przebiegów testowych, metodykę badań i poziomy wartości poszczególnych testów, potrzebne do oceny odporności badanego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.

Głównym celem testu opisanego w normie IEC 61000-4-2 jest badanie odporności systemów na zdarzenia ESD, zachodzące poza systemem podczas jego działania. Test ten pozwala sprawdzić jak zachowa się urządzenie, gdy np. jego wejście lub wyjście zostanie dotknięte



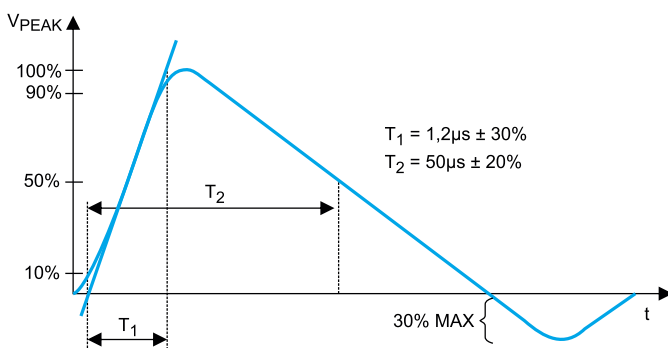
Rysunek 1. Znormalizowana krzywa wyładowania ESD z zaznaczonymi kluczowymi punktami



Rysunek 2. Znormalizowane wyładowanie EFT, wykorzystywane do testów odporności

przez naładowanego człowieka. Norma ta specyfikuje krzywą wyładowania, jaka używana jest do znormalizowanego testowania systemów. Pokazano ją na **rysunku 1**. Norma IEC 61000-4-2 określa testowanie przy użyciu dwóch metod sprężania: rozładowania stykowego i rozładowania szczeliny powietrznej.

Z kolei testowanie EFT opisane jest w IEC 61000-4-4. Sygnał testowy tego badania obejmuje sprężenie szeregu bardzo szybkich impulsów przejściowych z liniami sygnałowymi w celu symulacji przejściowych zaburzeń, związanych z zewnętrznymi obwodami przełączającymi, które są pojemnościowo sprzężone z liniami sygnałowymi. Testy te odzwierciedlają sygnały pochodzące od impulsów indukowanych przez styki przełączające lub stany nieustalone



Rysunek 3. Znormalizowana krzywa udaru napięciowego

generowane przez przełączanie obciążeń indukcyjnych lub pojemnościowych, które są powszechne w środowiskach przemysłowych. Znormalizowane wyładowanie EFT pokazano na **rysunku 2** na samej górze. Pośrodku pokazano szereg impulsów, formujących paczki, a na samym dole szeregi oddalonych od siebie paczek impulsów.

Udary napięciowe, opisane w IEC 61000-4-5 powodowane są przepięciami wynikającymi z przełączania lub błyskawicznych stanów przejściowych. Mogą one wynikać z przełączania systemu elektroenergetycznego, zmian obciążenia w systemach dystrybucji energii lub różnych usterek systemu, takich jak zwarcia czy zapalenie łuku w systemie uzziemia instalacji. Udar napięciowy może być także związany z uderzeniem pioruna. Norma IEC 61000-4-5 specyfikuje przebieg, wykorzystywany do testowania odporności urządzeń. Znormalizowana krzywa udaru napięciowego pokazana jest na **rysunku 3**.

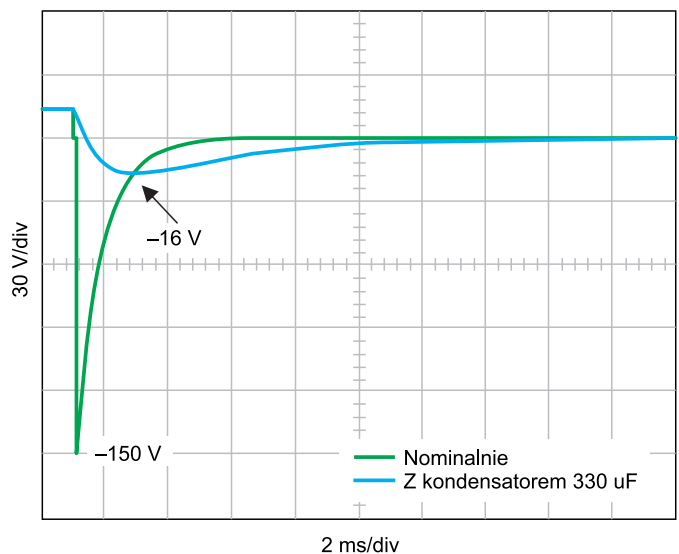
ISO7637

W najnowszej iteracji specyfikacja ISO 7637-2 koncentruje się na krótkotrwałych (od 150 ns do 2 ms) stanach przejściowych o wysokim napięciu (>100 V), pochodzących ze źródeł o stosunkowo wysokiej impedancji (od 2 do 50 Ω). Te skoki napięcia często można złagodzić za pomocą elementów pasywnych. **Rysunek 4** pokazuje jeden ze zdefiniowanych w normie ISO 7637-2 impulsów przepięcia (linia zielona) i analogiczny przebieg po dodaniu kondensatora filtrującego 330 µF (linia niebieska). Jest to najsilniejszy, zdefiniowany w tej normie impuls, pozostałe mogą być efektywnie tłumione nawet mniejszą pojemnością.

ISO 16750-2

Druuga z motoryzacyjnych norm koncentruje się natomiast na impulsach o dłuższym czasie trwania i pochodzących ze źródeł o znacznie niższej

ISO 7637-2:Pulse 1



Rysunek 4. Impuls przepięcia zgodny z normą ISO7637-2 (linia zielona) i ten sam impuls przefiltrowany kondensatorem 330 µF (linia niebieska)

impedancji. Te impulsy nie mogą być tak łatwo odfiltrowane za pomocą samych pojemności.

Na testy zgodności z ISO16750-2 składają się m.in. z profilu rozruchowego silnika (test 4.6.3), zrzutu ładunku (test 4.6.4), odwrotnego podłączenia akumulatora (test 4.7) oraz testu napięcia przemienne nałożonego na napięcie zasilania (test 4.4). **Rysunek 5** pokazuje przebieg wymienionych impulsów testowych. Różnorodność warunków opisanych w ISO 16750-2, a także wymagania dotyczące napięcia i prądu w komputerze pokładowym samochodu często wymagają kombinacji różnych podejść, aby spełnić wszystkie wymagania i zagwarantować bezawaryjną pracę systemów pokładowych.

Nikodem Czechowski, EP

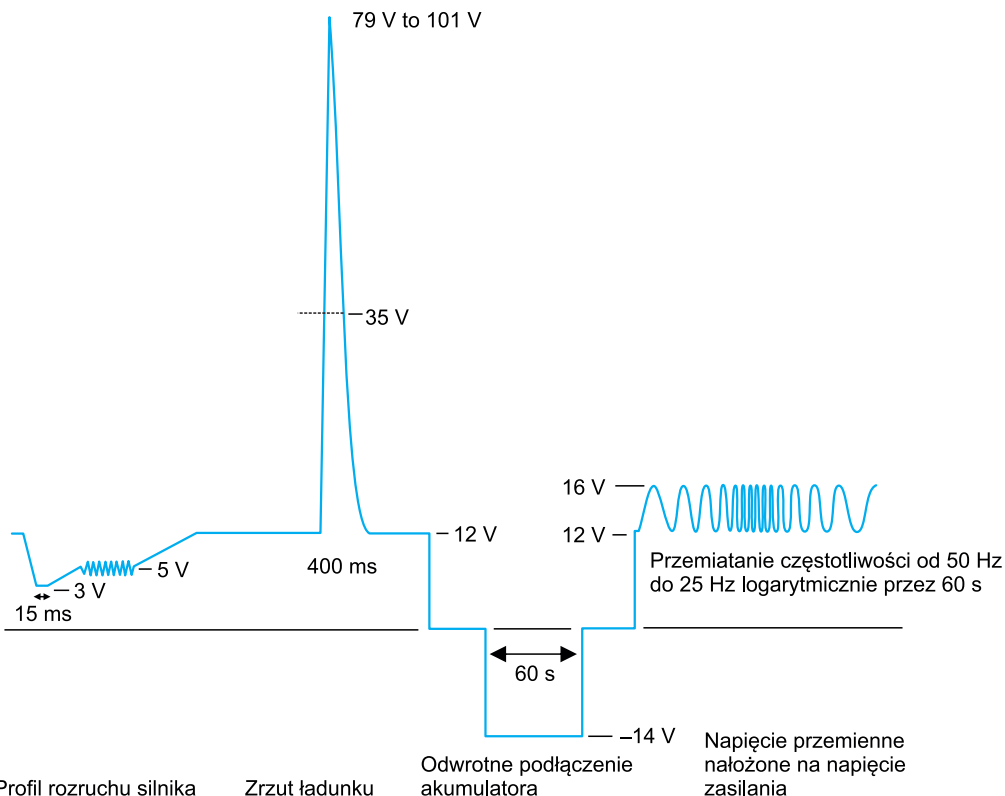
Źródła:

<https://bit.ly/39BmD7d>

<https://bit.ly/39zJfAU>

<https://bit.ly/32Z7QSK>

<https://bit.ly/3g7v0de>



Rysunek 5. Różne przebiegi testowe, definiowane w normie ISO16750-2 (od lewej): profil rozruchu silnika, zrzut ładunku, odwrotne podłączenie akumulatora i napięcie przemienne nałożone na napięcie zasilania

KAP

Dzięki uprzejmości firmy Kamami, mamy dla czytelników EP zestaw startowy z serii STM32 Nucleo wyposażony w mikrokontroler STM32F446RET6. Seria STM32 Nucleo jest niedrogą i uniwersalną linią zestawów startowych dla hobbystów. Płytkę ma złącza rozszerzeń kompatybilne z Arduino oraz z ST Morpho. Na wyposażeniu jest programator ST-Link v.2.1.

Wybrane parametry modułu:

- mikrokontroler STM32F446RET6
- złącza rozszerzeń:
 - zgodne z Arduino Uno R3,
 - STMicroelectronics Morpho,
 - wbudowany programator/debuger ST-Link v.2.1,
 - zasilanie: USB lub zasilacz (3,3 V, 5 V, 7..12 V),
 - współpraca z wieloma środowiskami, m.in.: IAR, Keil, środowiska z kompilatorem GCC.

Klub Aplikantów Próbek to inicjatywa redakcji „Elektroniki Praktycznej”. W kontaktach z firmami redakcja często otrzymuje do przetestowania próbki podzespołów, modułów, a nawet całych urządzeń elektronicznych. Są to zwykle najnowsze typy/modeli produktów na rynku. Z chęci podzielenia się z Czytelnikami tymi próbkami zrodziła się inicjatywa pod nazwą Klub Aplikantów Próbek.

Członkiem KAP może stać się każdy, kto zgłosi chęć przetestowania próbki. Wykaz i krótki opis próbek, którymi dysponuje redakcja EP, można znaleźć na stronie <http://ep.com.pl/nowosci/kap>. Wystarczy wybrać próbkę i zaplanować jej zastosowanie. Następnie należy wysłać wiadomość poprzez formularz kontaktowy, dostępny również na wspomnianej stronie, z prośbą o przesłanie bezpłatnej próbki, opisując swój pomysł oraz podając dane do wysyłki.

Mile widziane, choć nieobowiązkowe, jest też przysłanie do redakcji EP opisu wykonanej aplikacji próbek. Najciekawsze opisy opublikujemy na naszej stronie <http://ep.com.pl> lub na łamach „Elektroniki Praktycznej”.

Z uwagi na ograniczoną liczbę dostępnych próbek i niemałe zainteresowanie nimi, warto opisać swój pomysł na projekt na naszym forum internetowym, w dziale poświęconym Klubowi Aplikantów Próbek <http://bit.ly/2qeN28e>. Ponadto, by dodatkowo zwiększyć swoje szanse należy polubić fanpage Elektroniki Praktycznej na Facebooku (<http://bit.ly/2WygF09>) oraz udostępnić post, w którym opisujemy rozdawane próbki.

