

# Podstawy projektowania układów z przełącznikami zasilania

*W artykule zawarto informacje i wskazówki, jakie powinien uwzględnić konstruktor używający przełączników zasilania w różnych zastosowaniach. Ponadto, omówiono polecane rozwiązania wspierające konstruktorów w wyborze optymalnego wariantu.*

Dla większości konstruktorów układów elektronicznych, a zwłaszcza dla tych, którzy nie są ekspertami w dziedzinie zasilaczy, wykorzystanie przełączników zasilania może okazać się złożonym, a nawet kłopotliwym zagadnieniem. W wielu zastosowaniach, takich jak przenośne urządzenia elektroniczne, elektronika użytkowa lub systemy przemysłowe i telekomunikacyjne, projektanci w coraz większym stopniu wykorzystują przełączniki zasilania, które mogą być stosowane do różnych zadań, jak np. sterowania, sekwencjonowania, zabezpieczania, dystrybucji zasilania, a nawet zarządzania załączaniem zasilania systemów. To oczywiste, że każde z tych zastosowań wymaga przełączników zasilania o innych charakterystykach.

Pierwszym pytaniem, jakie należy sobie zadać, jest oczywiście: „Co chcę osiągnąć za pomocą tego przełącznika?”. Pytanie jest proste, a odpowiedź na nie pozwoli określić produkt najlepszy dla danej aplikacji. Przełączniki zasilania można wykorzystywać w różny sposób. Najczęściej używa się ich do następujących zadań:

- sterowanie, dystrybucja i sekwencjonowanie (np. załączanie/wyłączanie szyny zasilającej w celu podłączenia podsystemu lub rozdzielania mocy między wiele obciążeń);
- zabezpieczenie przeciwzwarciowe oraz wszelkie zabezpieczenia nadprądowe i nadnapięciowe (np. ograniczenie prądowe portu USB, zabezpieczenie czujników, zabezpieczenie przeciwzwarciowe szyny zasilającej);
- zarządzanie prądem rozruchowym załączania (np. podczas ładowania kondensatora);
- wybór jednego z kilku alternatywnych źródeł zasilania (np. multipleksowanie lub łączenie zasilania z różnych źródeł) lub współdzielenie obciążenia.

W tabeli 1 podano zestawienie właściwości przełączników zasilania, z zaznaczeniem, które z nich są ważne i wymagają rozpatrzenia w poszczególnych zastosowaniach.

## Rezystancja w stanie włączenia, maksymalne prądy i zakres napięć wejściowych

Najważniejszymi właściwościami, jakie zawsze należy rozważyć, są: rezystancja w stanie włączenia ( $r_{ON}$ ), maksymalny prąd stały oraz zakres napięć wejściowych. Są to podstawowe parametry, które należy ustalić przed wybraniem elementu. W zależności od zastosowania konstruktor może łatwo określić, jaki prąd będzie przełączany i przy jakim napięciu. Na podstawie tych informacji można dokonać pierwszej selekcji. W zależ-

**Dodatkowe informacje:**  
Więcej informacji o technologiach i produktach omawianych w tym artykule można znaleźć na stronie: [www.ti.com/loadswitches-ca](http://www.ti.com/loadswitches-ca)

ności od tego, czy potrzebujemy przełącznika na napięcie 1,2 V, czy 36 V, będą to dwie odrębne klasy produktów.

Rezystancja w stanie włączenia jest podstawowym parametrem przełącznika. Konstruktorzy muszą więc dokładnie przyjrzeć się, jakie są maksymalne dopuszczalne wartości dla konkretnej aplikacji (napięcie, prąd). Można to łatwo obliczyć, stosując wzór 1:

$$U_{DROP} = r_{ON} * I$$

gdzie  $U_{DROP}$  oznacza spadek napięcia na przełączniku,  $r_{ON}$  – rezystancję przewodzenia FET ON, a  $I$  – prąd płynący przez przełącznik.

Jeżeli aplikacja ma przełączać prądy o dużych natężeniach lub szynę niskonapięciową (np. rzędu 1,0 V), napięcie na przełączniku powinno zostać zminimalizowane. Należy więc dążyć do jak najmniejszej rezystancji w stanie włączenia, na przykład

Tabela 1. Wymagania w zależności od zastosowania

	Sterowanie, dystrybucja i sekwencjonowanie	Zabezpieczenie przeciwzwarciowe	Zarządzanie prądem rozruchowym	Przełączanie alternatywnych źródeł zasilania
Rezystancja przewodzenia FET ON	Δ	Δ	Δ	Δ
Kontrolowana szybkość narastania	Δ		Δ	
Zabezpieczenie nadprądowe (OCP)		Δ	0	0
Zabezpieczenie nadnapięciowe (OVP)		0		0
Zabezpieczenie zwrotnoprądowe		0		Δ
Moc rozpraszana	Δ	Δ	Δ	Δ
Rozmiary	Δ	0	0	0
Zakres napięcia wejściowego	Δ	Δ	Δ	Δ
Wysoki maksymalny prąd ciągły	Δ	Δ	Δ	Δ
Zabezpieczenie termiczne	0	Δ	0	0
Logiczny układ sterujący, kompatybilność z interfejsem GPIO	Δ		0	0

Δ: Ważna właściwość/cecha, którą należy wziąć pod uwagę

0: Cecha przydatna, ale nieobowiązkowa; własność ta nie jest ważna

stosując przełącznik z serii TPS2292x o rezystancji  $r_{ON}$  14 mΩ przy napięciu 3,6 V. Jeżeli natomiast przełączany prąd będzie niewielki, rezystancja w stanie włączenia nie będzie najważniejsza. W tym przypadku można wybrać element o większej rezystancji w stanie włączenia, np. układ z serii TPS2294x o rezystancji około 1 Ω. Rezystancja w stanie włączenia jest głównym czynnikiem determinującym wielkość płytki półprzewodnikowej przełącznika zasilania, a co za tym idzie koszt układu. Należy więc uważnie przyjrzeć się temu parametrowi, aby wybrać możliwie jak najbardziej opłacalne rozwiązanie.

Oprócz maksymalnego prądu ciągłego, który konstruktor zamierza przełączać, innym ważnym parametrem jest maksymalny prąd impulsowy, jaki przełącznik jest w stanie wytrzymać. W niektórych zastosowaniach wymagane obciążenie ma przez większość czasu postać niewielkich prądów ciągłych. Jednak w chwilach, gdy podukład potrzebuje dodatkowej mocy, pojawiają się skoki. Dobrym przykładem jest impuls transmisji GSM/GPRS, który na 576 μs osiąga wartość 1,7 A, przy wypełnieniu 12,5%. Należy upewnić się, że wybrany element jest w stanie wytrzymać prąd impulsowy o tej wartości.

**Moc rozpraszana i zabezpieczenia**

Kolejną ważną i wartą rozważenia własnością jest moc rozpraszana. Podczas normalnej pracy przełącznika przewodzącego, moc rozpraszana można obliczyć, rozpatrując rezystancję przełącznika w stanie włączenia oraz przełączany prąd. Maksymalną moc rozpraszana przez element oblicza się zgodnie ze **wzorem 2**:

$$P = I^2 \times r_{ON}$$

Jeżeli wybierzemy element o wystarczająco małej rezystancji w stanie włączenia, moc rozpraszana będzie również mała i jej wpływ na temperaturę pracy elementu będzie niewielki. Jeżeli jednak przełącznik ma służyć jako zabezpieczenie nadprądowe lub przeciwzwarciowe szyny, jak np. w przypadku portów USB lub zabezpieczeń czytników linii papilarnych, należy się dobrze zastanowić. W tym przypadku wskazany jest przełącznik z ograniczeniem prądowym, jak np. TPS22944. Jeżeli zastosowany zostanie przełącznik bez ograniczenia prądowego, moc rozpraszana może doprowadzić do poważnych problemów z niezawodnością układu. Na przykład zwarcie rezystancją 0,9 Ω wyprowadzeń przełącznika obciążenia bez ograniczenia prądowego przy napięciu wejściowym 3,3 V (i rezystancji w stanie włączonym) ~100 mΩ, jak np. dla układu TPS22902) prowadzi do wydzielenia mocy obliczonej we **wzorze 3**:

$$P = I_{SHORT}^2 \times r_{ON} = (3,3 / (0,9 + 0,1))^2 \times 0,1 = 3,3^2 \times 0,1 = 1,089W$$

Dla większości dostępnych na rynku obudów podana moc jest za wysoka do rozproszenia, co skutkuje przegrzaniem, usterekami i problemami z niezawodnością.

Podobnie konstruktor używający przełącznika z ograniczeniem prądowym musi upewnić się, że obudowa jest w stanie wytrzymać zwarcie. Jeżeli prąd przepływający przez element wzrośnie do wartości granicznej ograniczenia prądowego, moc rozpraszana będzie maksymalna, gdy wyjście zostanie zwarte do masy. Dla układów takich jak TPS22945, z funkcją autorestartu po czasie  $t_{RESTART}$  i wyłączenia w razie przetężenia (blanking) po czasie  $t_{BLANK}$ , maksymalną średnią moc rozpraszana można obliczyć, korzystając ze **wzoru 4**:

$$P(\text{średnia}) = \frac{t_{BLANK}}{t_{RESTART} + t_{BLANK}} \times U_{IN}(\text{max}) \times I_{LIM}(\text{max}) = \frac{10}{80 + 10} \times 5,5 \times 0,2 = 122mW$$

Dla układów bez pętli autorestartu, takich jak TPS22944, zwarcie wyjścia spowoduje, że element zacznie pracować w trybie stałoprądowym, rozpraszając moc przewidzianą dla „najgorszego przypadku” aż do momentu zadziałania zabezpieczenia termicznego. Następnie, tak długo jak będzie występowało zwarcie przy aktywnym pinie ON, będzie następowało cykliczne załączanie elementu i wyłączenie go przez zabezpieczenie termiczne.

Na rynku są dostępne różne rodzaje przełączników z ograniczeniem prądowym. Dwa najważniejsze parametry, na które należy zwrócić szczególną uwagę, to wartość minimalna ograniczenia prądowego (ograniczenie prądowe stałe lub programowalne za pomocą zewnętrznego rezystora) oraz dokładność ograniczenia prądowego i czas reakcji. W większości zastosowań dokładność ograniczenia prądowego nie jest największym problemem, ponieważ układ jest stosowany jako wyłącznik (tj. w razie zwarcia przełącznik jest ustawiany na pozycję „wyłącz”). Jednak w niektórych zastosowaniach, jak na przykład przy ograniczaniu prądu portu USB, dokładność może być istotna, ponieważ przełącznik jest używany jako źródło stałoprądowe.

Do zastosowań, w których należy się spodziewać przełączania dużych prądów lub występowania przetężenia zaleca się wybór układu wyposażonego w zabezpieczenie termiczne. W momencie stwierdzenia zbyt wysokiej temperatury układu, większość układów aktywuje wyłącznik termiczny, który wyłącza tranzystor FET w celu zabezpieczenia układu przed możliwym uszkodzeniem w wyniku przegrzania.

Oprócz ograniczenia prądowego (lub zabezpieczenia nadprądowego – OCP), które jest konieczne w celu ochrony przed zwarciami, godnym rozważenia mogą okazać się również inne rozwiązania zabezpieczające, takie jak blokowanie prądu wstecznego.

Blokada prądu wstecznego (znana też jako zabezpieczenie przed napięciem wstecznym) jest obowiązkowa, gdy konstruktorzy próbują zaprojektować układ wyboru zasilania (ORing) lub współdzielenia obciążenia.

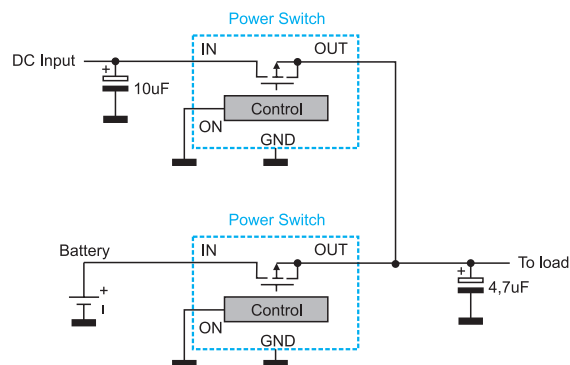
Na **rysunku 1** pokazano przykład przełączników skonfigurowanych do zasilania obciążenia z dwóch potencjalnych źródeł zasilania (tj. wejścia DC i baterii).

W przypadku układu bez zabezpieczenia przed napięciem wstecznym ważne jest, aby napięcie wejściowe tranzystora przewodzenia FET pozostawało wyższe niż jego napięcie wyjściowe. W przeciwnym razie wejście zostanie spięte diodą pasożytniczą do podłoża klucza FET, co spowoduje przepływ niepożądanego prądu od wyjścia do wejścia.

W przykładzie przedstawionym na **rysunku 1**, jeżeli bateria jest baterią litowo-jonową (Li-Ion) o napięciu 4,2 V (maks.), a napięcie na wejściu DC wynosi 5,0 V, wówczas od obciążenia do baterii poplynie potencjalnie duży prąd – co oczywiście jest niepożądane!

Aby układ działał poprawnie, wystarczy użyć układu z zabezpieczeniem przed napięciem wstecznym. Zabezpieczenie przed prądem wstecznym zazwyczaj można zaimplementować, używając przeciwsobnych tranzystorów FET lub przełączając bramkę tranzystora PMOS FET, gdy zostanie wykryte napięcie wsteczne. Należy zwrócić uwagę na wartość wyzwalającą komparatora napięcia wstecznego (próg wartości UOUT – UIN, powyżej którego jest aktywowana funkcja odcięcia prądu wstecznego) oraz czas reakcji od momentu pojawienia się napięcia wstecznego do wyłączenia tranzystora MOSFET.

Innym zabezpieczeniem, które może się przydać w niektórych zastosowaniach, jest zabezpieczenie nadnapięciowe (OVP). Funkcja ta chroni przełącznik i system w sytuacji, gdy do przełącznika zostanie przyłożone zbyt wysokie napięcie. Rozwiązanie to może się przydać np. w niektórych zastosowaniach USB lub w wybranych zastosowaniach bateryjnych.



Rysunek 1.

## Zarządzanie prądem rozruchowym

Innym często spotykanym zastosowaniem przełączników zasilania jest sterowanie prądem rozruchowym w momencie uruchamiania systemu. Jeżeli przełącznik włączy się bez nadzoru, spowoduje to powstanie dużego prądu rozruchowego, który może doprowadzić do spadku na szynie zasilania na wejściu przełącznika. Ostatecznie może to wpłynąć na działanie całego systemu.

Podczas ładowania dużych pojemności wyjściowych pojawiają się duże prądy rozruchowe wymagające kontroli i/lub ograniczenia. Prąd rozruchowy można obliczyć ze wzoru 5:

$$I = C_{LOAD} * \frac{\partial V}{\partial t}$$

Na przykład, gdy  $C_{LOAD} = 1 \mu F$ ,  $U = 3 V$ , a czas narastania wynosi  $1 \mu s$ , prąd rozruchowy może wynieść nawet  $3 A$ .

Prostym sposobem na uniknięcie prądu rozruchowego jest wydłużenie czasu włączania przełącznika. W efekcie dojdzie do powolnego ładowania kondensatora wyjściowego, a wartość szczytowa prądu zostanie zmniejszona. W przykładzie ze wzoru 5 czas narastania  $200 \mu s$  prowadziłby do prądu rozruchowego wynoszącego  $15 mA$ , co jest do zaakceptowania.

W niektórych przypadkach istnieje potrzeba ładowania wyjątkowo dużych kondensatorów (rzędu kilkuset  $\mu F$ ). Zazwyczaj zaleca się odpowiednio długi czas narastania. Można jednak również wybrać przełącznik z wysokim ograniczeniem prądowym. Po włączeniu układ przejdzie w tryb ograniczania prądu i kondensator będzie ładowany prądem o wartości granicznej, z maksymalną dopuszczalną dla przełącznika mocą rozpraszaną.

## Interoperacyjność systemu

Dokonując wyboru przełącznika zasilania, należy każdorazowo starannie uwzględnić potrzebę interoperacyjności. Na przykład w przypadku użycia przełącznika zasilania do podłączania i odłączania obciążeń w celu zoptymalizowania poboru mocy w aplikacji przenośnej, bardzo istotna jest kompatybilność wejść sterujących przełącznika z uniwersalnym, niskonapięciowym ( $1,8 V$ ) interfejsem GPIO. Ponadto przy wyłączeniu przełącznika należy się upewnić, że wyjście nieuziemiowane przełącznika nie wpływa na działanie i parametry systemu. Z tego powodu niektórzy użytkownicy podpinają wyjście wyłączonego przełącznika zasilania dodatkowym tranzystorem do masy lub stosują układ zintegrowany zawierający takie rozwiązanie, jak np. TPS22902.

Kolejnym punktem wymagającym sprawdzenia są pojemności wejściowe i wyjściowe, użyte w projektowaniu stabilnego systemu. Mimo że do stabilizowania dostępnych na rynku przełączników zasilania kondensator wejściowy zwykle nie jest potrzebny, za dobrą praktykę projektowania układów analogowych uznaje się podłączanie na zasilaniu kondensatora rzędu  $0,1...1 \mu F$  o niskiej ekwiwalentnej rezystancji szeregowej (ESR). Taki kondensator kompensuje składową bierną źródeł, poprawia odpowiedź impulsową i tłumienie tętnień oraz szumów. W zależności od obciążenia przełącznika można też rozpatrzyć zastosowanie dodatkowych kondensatorów pamiętających na jego wyjściu. Jeżeli przełącznik nie ma blokady prądu wstecznego, kondensator wejściowy powinien mieć większą wartość niż kondensator wyjściowy. W przeciwnym razie wejście będzie spięte przez diodę pasożytniczą tranzystora FET, co spowoduje przepływ sporego prądu od wyjścia do wejścia.

**Philippe Pichot**  
dyrektor ds. marketingu strategicznego  
Texas Instruments

R
E
K
L
A
M
A

# STEROWNIKI.PL

## Sterowanie w automatyce portal branżowy

- Aktualności z branży • Pliki • Giełda
- Katalog firm • Baza wiedzy • Praca
- Kalendarz imprez • Kursy • Forum

**ul. Grabiszyńska 240**  
53-235 Wrocław

tel. (0-71) 339 00 29  
339 00 30

faks (0-71) 339 05 01  
lemibis@lemi.pl

złącza HDC

złączki listwowe

przyciski sterownicze

przełączniki elektromagnetyczne

SSR

przełączniki czasowe

czujniki indukcyjne i pojemnościowe

czujniki fotoelektryczne

regulatory temperatury PID

impulsowe zasilacze przemysłowe

**www.lemi.pl**

SKLEP INTERNETOWY 24h

❖ POSZUKUJEMY DYSTRYBUTORÓW LOKALNYCH

❖ DOSKONAŁE WARUNKI HANDLOWE

❖ DUŻE RABATY

SPRZEDAŻ PEŁNEGO ASORTYMENTU Z MAGAZYNU ❖ NAJLEPSZE CENY NA RYNKU