

Moja pierwsza przetwornica impulsowa Zasilacz rezerwowy



Projekt dla każdego

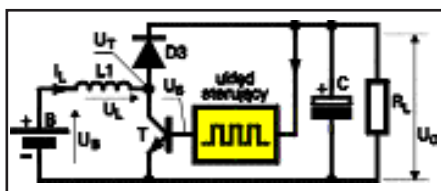
Układ pozwalający bezboleśnie wejść w tajemniczy świat zasilaczy impulsowych.

* Prosta budowa

* Podczas regulacji nie wymaga posiadania przyrządów pomiarowych, za wyjątkiem woltomierza.

Do czego to służy?

Temat zasilaczy impulsowych i przetwornic jest uważany za bardzo ciekawy, ale i bardzo trudny. W tej opinii jest dużo prawdy. W Elektronice dla Wszystkich przedstawiono już ogólne informacje o elementach indukcyjnych, które są kluczowymi składnikami takich układów. W jednym z najbliższych numerów zostanie zaprezentowany bardzo interesujący układ umożliwiający sprawdzanie właściwości cewek oraz dobór cewek do określonych potrzeb. Podane zostaną informacje na temat podstawowych układów przetwornic. Materiał ten umożliwi samodzielne projektowanie zasilaczy impulsowych. Natomiast niniejszy artykuł przedstawia prostą przetwornicę, zaprojektowaną specjalnie do zaspokojenia następujących potrzeb: Wiele układów zasilanych jest z baterii lub akumulatorów. Niektóre spośród tych układów "nie lubią" wahań napięcia zasilania, bo zmienia to ich parametry. Tymczasem przykładowo, napięcie świeżej baterii 9-woltowej często przekracza 10V. Podczas pracy napięcie to stopniowo spada. Baterię taką zwykle uznaje się za wyczerpaną, gdy napięcie spadnie poniżej 7V. Taka róż-



Rys. 1 Schemat blokowy przetwornicy

nica napięć zasilania, od 7...10V jest dla wielu układów niedopuszczalnie duża. Trzeba zastosować układ, który stabilizowałby to napięcie.

Najprostszym rozwiązaniem jest użycie jakiegokolwiek stabilizatora, na przykład 7805 lub 7806. W takim przypadku stabilizowane napięcie będzie wynosić tylko 5V lub 6V, a sam stabilizator będzie pobierał około 5mA cennego prądu z małej baterii 6F22. Straty będą duże, a sprawność mała (50...70% zależnie od prądu).

Lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie nowoczesnego mikromocowego stabilizatora typu low drop o regulowanym napięciu wyjściowym. Można wtedy, z uwagi na mały minimalny spadek napięcia na stabilizatorze, ustawić napięcie wyjściowe równe 7V. Stabilizatory takie są jednak trudniej dostępne i stosunkowo drogie.

Jeszcze lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie stabilizatora impulsowego - przetwornicy. Wtedy można bez problemu uzyskać stabilne napięcie wyjściowe w całym spodziewanym zakresie napięć baterii. Opisany dalej układ jest taką przetwornicą. Dołączona do baterii 9-woltowej da stabilizowane napięcie wyjściowe nie mniejsze niż 10V (!) i może pracować przy prądach obciążenia od zera do co najmniej 50mA. Jej działanie jest następujące: gdy napięcie baterii jest mniejsze od potrzebnego napięcia wyjściowego, układ dodaje do napięcia baterii brakującą różnicę. Gdyby przypadkiem napięcie baterii było wyższe od potrzebnego

go napięcia wyjściowego, układ dodający nie pracuje i napięcie na wyjściu jest równe napięciu baterii, pomniejszonemu o spadek napięcia na jednej diodzie.

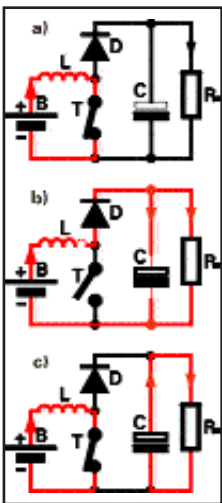
Jak z tego widać, ustawione napięcie wyjściowe przetwornicy powinno być większe lub równe maksymalnemu napięciu baterii. Przykładowo dla baterii 9-woltowej, należy ustawić napięcie wyjściowe nie mniejsze niż 10V. W razie potrzeby napięcie wyjściowe może być znacznie wyższe i wynosić 10...25V, a nawet więcej.

Układ jest bardzo prosty, a z jego budową i uruchomieniem nie powinni mieć kłopotów nawet początkujący.

Jak to działa?

Uproszczony schemat blokowy przetwornicy pokazany jest na rysunku 1. Gdy napięcie baterii jest większe niż potrzebne napięcie wyjściowe, tranzystor T jest stale wyłączony (nie przewodzi). Prąd stały płynie po prostu z baterii przez cewkę L i diodę D do obciążenia R_L . Gdy natomiast napięcie baterii jest niższe, tranzystor T jest włączany i wyłączany z częstotliwością około 100kHz. Najprościej można to sobie wyobrazić następująco: przy pierwszym włączeniu tranzystora T przez cewkę płynie prąd i cewka "ładuje się" - gromadzi się w niej energia. Obwód przepływu prądu pokazany jest na rysunku 2a. Gdy tranzystor zostanie wyłączony, zgromadzona w cewce energia jest przekazywana do obciążenia przez diodę D3. Indukowane w cewce napięcie dodaje się do napięcia baterii. Obwód prądu w tej fazie pokazany jest na rysunku 2b. W następnym cyklu, gdy tranzystor znów będzie przewodził, cykl

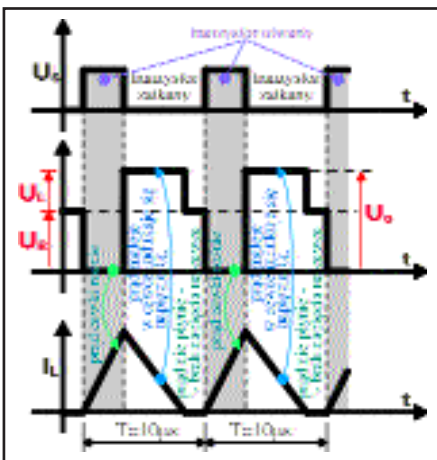
Rys. 2 Przepływ prądu w dwóch fazach pracy



powtórzy się, a źródłem energii dla obwodu wyjściowego będzie w tym czasie kondensator C. Ostatecznie obwody przepływu prądu pokazują rysunki 2b i 2c. W układzie tym tranzystor pełni jedynie rolę klucza załączony/wyłączony i może to być tranzystor bipolarny albo MOSFET.

Dlatego na rysunku 2 zamiast tranzystora narysowano wyłącznik.

Mniej zorientowani Czytelnicy mogą się zastanawiać, jak przebiega stabilizacja napięcia wyjściowego, które przecież musi być niezależne zarówno od napięcia wejściowego (baterii), jak i prądu obciążenia. Nie trzeba się nad tym szczegółowo zastanawiać, wystarczy rozumieć następującą podstawową zależność: regulacja polega na zmianie czasu włączenia klucza tranzystorowego, czyli inaczej mówiąc, czasu ładowania cewki energią. Gdy czas ten jest krótki, i tylko tyle energii zostanie przekazane do obciążenia w drugiej fazie cyklu. Gdy napięcie wyjściowe obniży się, tranzystor będzie włączany na dłużej, ilość przekazywanej energii będzie większa i napięcie wyjściowe podwyższy się do wymaganego poziomu. **Rysunek 3** ilustruje zasadę pracy, pokazując przykładowe przebiegi w układzie z rysunku 1. Szczegółowa analiza przebiegów z rysunku 3, a w szczególności rozważania, skąd układ "wie", jakie ma być napięcie indukowane na cewce w drugiej fazie cyklu



Rys. 3 Podstawowe przebiegi

są ciekawe, ale wykraczają poza ramy tego artykułu i nie są niezbędne do wykonania i uruchomienia układu.

Schemat ideowy modułu przetwornicy podwyższającej pokazany jest na **rysunku 4**.

W najprostszym zastosowaniu diody D1 i D2 nie są potrzebne i zostaną zastąpione zworami. Diody te będą potrzebne tylko wtedy, gdy przetwornica byłaby wykorzystana w obwodzie z rezerwowym zasilaniem z baterii. Wtedy do punktów A, O1 należy dołączyć baterię rezerwową, a do punktów B, O2 – zasilacz sieciowy (którego napięcie normalnej pracy będzie większe od napięcia baterii). Normalnie, układ będzie zasilany z zasilacza, a gdy napięcie sieci spadnie lub zaniknie, nastąpi automatyczne przełączenie na baterię, i napięcie wyjściowe na obciążeniu pozostanie takie same.

Działanie samej przetwornicy jest następujące. Bramki U1A oraz U1B wraz z elementami R1, R2, C1 tworzą klasyczny generator o częstotliwości pracy około 100kHz, co daje okres 10µs. Bramki U1C i U1D pełnią jedynie rolę bufora. Na wyjściu bramki U1D (nóżka 8) występuje przebieg prostokątny. W zasadzie powinien on mieć wypełnienie 50% (5µs impuls, 5µs przerwa), jednak w praktyce wypełnienie okaże się ono nieco inne ze względu na rozrzut napięć progowych poszczególnych układów scalonych. Ewentualne niewielkie różnice czasów trwania impulsu i przerwy nie mają jednak większego znaczenia w przypadku tak prostego układu, pracującego z niezbyt dużymi prądami.

Przebieg prostokątny z wyjścia bramki U1D jest podany na obwód różniczkujący R3C5. Gdyby nie było tranzystora T1, dzięki dużej stałej czasowej R3C5 (oraz obecności diody D4) przebieg na wejściu bramki U1E (nóżka 11) byłby praktycznie taki sam, jak na wyjściu bramki U1D. W rezultacie tranzystor MOSFET T2 otwierany byłby na cały czas trwania impulsu (5µs) i zamykany na czas przerwy (5µs).

Obecność tranzystora T1 pozwala zmienić czas otwarcia tranzystora T2. Tranzystor T1 w pierwszym przybliżeniu można traktować jako zmienną rezystancję, dołączoną równolegle do R3. Otwieranie tranzystora T1, czyli zmniejszenie jego rezystancji zmniejszy stałą czasową obwodu różniczkującego, a tym samym skróci dodatnie impulsy na nóżce 11 i czas przewodzenia tranzystora T2 - zobacz **rysunek 5**.

Gdy napięcie na wyjściu przetwornicy (punkty C, O) jest za małe, napięcie z suwaka potencjometru PR1 jest mniejsze od napięcia progowego T1, i tranzystor ten nie przewodzi. Wtedy impulsy z nóżki 8 U1D nie są skracane (rys. 5a) – tran-

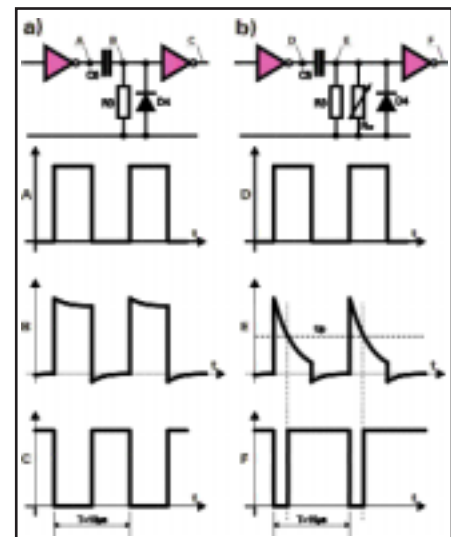
zystor T2 jest otwierany na 5µs, i przez ten czas w indukcyjności L1 zdąży się zmagazynować znaczna ilość energii. Gdy tranzystor T2 jest zamknięty (następnie 5µs), prąd w cewce (który nie lubi gwałtownych zmian) płynie nadal w tym samym kierunku, a energia z cewki jest przenoszona przez diodę D3 do kondensatorów C2, C3 i do dołączonego obciążenia.

Gdy spowoduje to zwiększenie napięcia na wyjściu, napięcie z suwaka PR1 otworzy T1 i tym samym skróci czas otwierania T2 (rys. 5b). W praktyce będzie się tu utrzymywać równowaga, tranzystor T1 będzie częściowo otwarty, a szerokość impulsów na bramce T2 będzie zależała od napięcia wejściowego i prądu obciążenia.

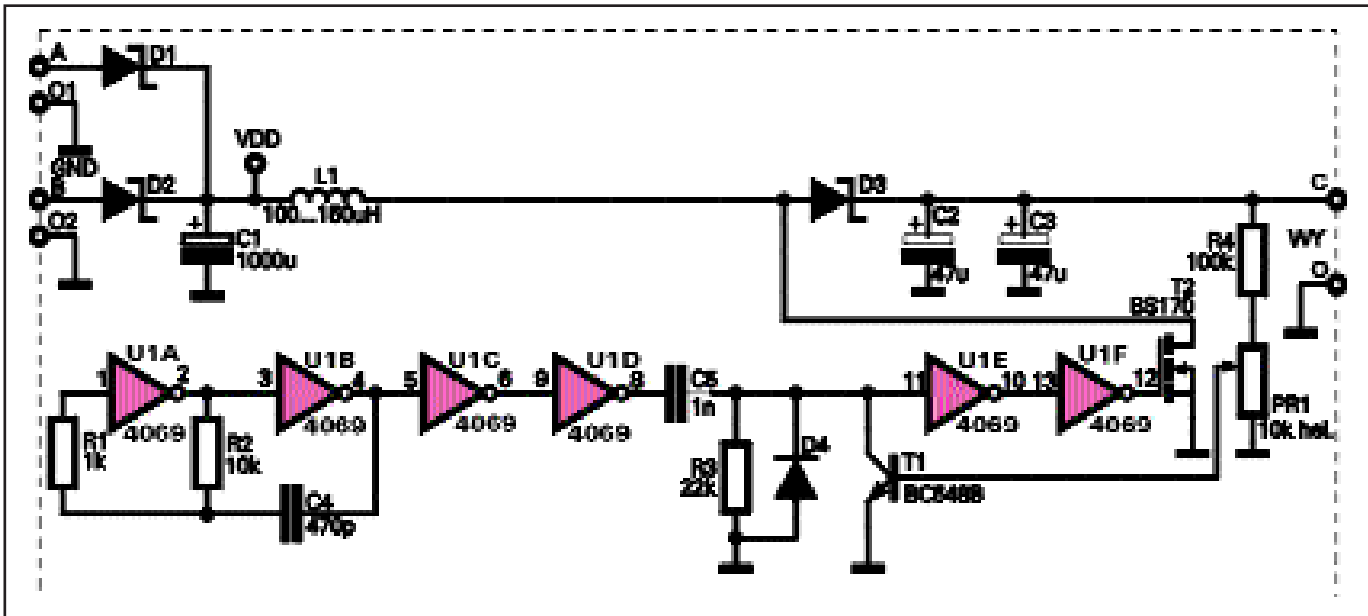
Jak wspomniano, szczegółowa analiza działania układu nie jest konieczna do zbudowania i uruchomienia tego prostego modułu. Należy tylko zwrócić uwagę na kilka ważnych szczegółów:

Obecność diody D4 może wydawać się niepotrzebna, jednak bez niej układ może nie pracować. Przeprowadzając dokładniejszą analizę układu bez tej diody, należałoby wziąć pod uwagę także wewnętrzne obwody zabezpieczenia bramki U1E (zawierające rezystor i diody dołączone do szyn zasilania). Taka dokładna analiza nie jest konieczna - wystarczy stwierdzenie, iż dioda D4 jest potrzebna.

Bramki U1E i U1F też są niezbędne, bo tranzystor T2 musi być sterowany impulsami prostokątnymi o ostrych zboczach, a na rezystorze R3 mogą występować przebiegi o łagodnym zboczach opadającym (zobacz rysunek 5b). Wzmocnienie dwóch niebuforowanych inwerterów z kostki 4069 wystarczy do uzyskania przebiegów o stromych zboczach do sterowania tranzystora T2. Niedoświadczeni



Rys. 5 Skracanie impulsów sterujących



Rys. 4 Schemat ideowy

konstruktorzy wpadną tu może na pomysł ulepszenia układu przez zastosowanie kostki "ze szmitem" - 40106 zamiast 4069. Choć układ 40106 jest chętnie stosowany w wielu układach prezentowanych w EdW, jednak w tym wypadku zamiana nie jest możliwa – niech bardziej zaawansowani Czytelnicy samodzielnie zastanowią się, dlaczego?

Należy jeszcze zwrócić uwagę na stosunkowo duże pojemności C1 – C3. Jak wiadomo, przy dużych częstotliwościach pracy przetwornicy wymagane pojemności filtrujące mogłyby być radykalnie mniejsze. W przypadku kondensatorów filtrujących do przetwornicy nie chodzi jednak tylko o pojemność. Dużą rolę odgrywa także (szkodliwa) rezystancja szeregowa kondensatorów (ESR), która rośnie ze wzrostem częstotliwości. Choć przy małych prądach, przy jakich ma pracować moduł, pojemności mogłyby być mniejsze, celowo je zwiększono, by wskazać na ten aspekt. Stąd także w układzie pojawiły się dwa kondensatory wyjściowe C2, C3 (47µF) połączone równolegle zamiast jednego 100µF. Jak można sprawdzić w wykazie elementów, mają one wyższe niż potrzeba napięcie pracy (25V) – to też jest częsty "chwyt" konstruktorski. Elektrolity na wyższe napięcie mają mniejszą rezystancję szeregową (ESR).

Uwaga! W roli diody D3, która pracuje z przebiegami o częstotliwości rzędu 100kHz, musi być zastosowana dioda odpowiednio szybka. Może to być zwykła dioda impulsowa małej mocy, np. 1N4148 (lub BAYP75, BAV17). W żadnym wypadku nie może to być powolna dioda prostownicza z rodzaju 1N400X czy podobna. Zwykła powolna dioda prostownicza ma zbyt dużą pojemność i obniżyłaby radykalnie sprawność układu.

Najlepiej zastosować diodę Schottky'ego (która z racji swych właściwości przez niektórych jest nazywana diodą szybkiego), np. BAT85. Wtedy spadek napięcia na przewodzącej diodzie będzie mniejszy, co zmniejszy straty.

W module zastosowano miniaturowy dławik o indukcyjności 100...150µH o wyglądzie rezystora. Przy tak małej indukcyjności konieczna jest wysoka częstotliwość pracy, w przeciwnym razie dławik się nasyci, będzie się grzał, a sprawność radykalnie spadnie. Nie wolno więc zmniejszać częstotliwości pracy generatora, wyznaczonej przez elementy R2, C4.

Wartość napięcia wyjściowego zależy od wartości napięcia otwierania tranzystora T1, a ta zależy od temperatury. Kto chciałby zmniejszyć wpływ temperatury, może zamiast rezystora R4 wlotować diodę Zenera na napięcie 8,2...10V.

Montaż i uruchomienie

Układ może być zmontowany na małej płytce drukowanej pokazanej na rysunku 6. Montaż jest prosty, nie powinien sprawić trudności. W wersji podstawowej wykorzystane będzie tylko jedno z wejść A, B i w miejsce D1, D2 należy wlotować zwory.

Układ scalony 4069 oraz delikatny tranzystor T2 należy wlotować na końcu. Praktyka pokazuje, że tranzystory MOSFET małej mocy, choćby właśnie BS170 czy BS107 potrafią się czasem uszkodzić z niewiadomych przyczyn, dlatego należy się z nimi obchodzić delikatnie, jak z układami scalonymi CMOS.

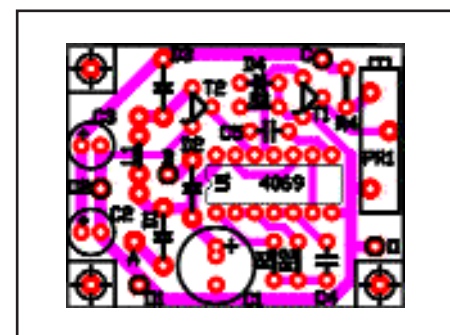
W roli T2, w miejsce MOSFETA można zastosować zwykły tranzystor bipolarny, ale o jak największym wzmocnieniu, na przykład BC548B lub 548C. Wtedy między nożkę 12 U1F a bazę trzeba włączyć

rezystor ograniczający prąd. Prąd bazy musi zapewnić nasycenie tranzystora w stanie otwarcia. Wstępna wartość takiego rezystora – 3,3kΩ.

Zmontowany układ powinien od razu pracować poprawnie, a jedyną regulacją będzie ustawienie potrzebnego napięcia wyjściowego (nie mniejszego niż napięcie wejściowe) za pomocą potencjometru PR1. W tej roli zastosowano helitrim, co zapewni wygodną i precyzyjną regulację.

Podczas ustawiania napięcia wyjściowego układ należy obciążyć – do punktów C, O trzeba dołączyć półwatowy rezystor o wartości 200...470Ω

Uwaga, zaleca się, by przy pierwszym włączeniu zasilania suwak PR1 był ustawiony w górnym położeniu (na schemacie). Przetwornica będzie wtedy wyłączona i dopiero przesuwanie suwaka w dół spowoduje wzrost napięcia do potrzebnej wartości. Zwarcie suwaka z masą (wyłączenie T1) przy braku obciążenia doprowadzi do tego, że nieobciążona przetwornica będzie pracować "pełną mocą", a napięcie wyjściowe wzrośnie powyżej 25V, co może spowodować eksplozję kondensatorów C2, C3.



Rys. 6 Schemat montażowy

Tabela 1			
Uwe [V]	Napięcie wyjściowe [V]		
	RL=100kΩ	RL=420Ω	RL=200Ω
3,0	10,10	-	-
4,80	10,13	9,5	7,65
6,52	10,16	9,82	9,5
9,0	10,24	10,12	10,0
10,0	10,30	10,22	10,15
11,4	10,83	10,55	10,40

Tabela 2 Sprawność			
RL=200Ω (~50mA)		RL=420Ω (~25mA)	
Uwe	Sprawność	Uwe	Sprawność
7,0V	78,2%	7,0V	78,5%
9,0V	81,6%	9,0V	77,4%
10,0V	83%		

Nie wolno zapominać, że układ pracuje z częstotliwością około 100kHz. Gdyby opisywana przetwornica miała być częścią jakiegoś precyzyjnego przyrządu pomiarowego, należałoby zwrócić baczna uwagę na problem zakłóceń. W takim przypadku płytkę należałoby zaekranować, umieszczając ją w metalowym pudełku, połączonym z masą układu.

Opisywana przetwornica została zaprojektowana do współpracy z małą baterią 9-woltową. Właściwości takiej baterii

ograniczają wartość prądu obciążenia do kilkunastu, a co najwyżej kilkudziesięciu miliamperów. Działanie przetwornicy sprawdzono dla prądów obciążenia od 0 do 50mA.

Sam układ przetwornicy pobiera około 3mA (przy napięciu baterii 9V).

Tabelki pokazują właściwości przetwornicy: napięcie wyjściowe w zależności od prądu obciążenia i napięcia wejściowego (baterii) oraz sprawność. Jak widać, napięcie wyjściowe niewiele się zmienia w szerokim zakresie napięcia wejściowego i prądu obciążenia. Przy prądzie obciążenia 25mA napięcie wyjściowe może wynosić tylko 4,8V.

Pozwoli to wykorzystać całą dostępną pojemność baterii. Także sprawność jest bardzo dobra - przekracza 70, a nawet 80%. Oczywiście sprawność przy małym prądzie obciążenia będzie mniejsza ze względu na pobór prądu przez przetwornicę (głównie kostkę 4069) – wspomniane 3mA.

Uzyskane wyniki można uznać za znakomite. Podczas montowania i regulacji układu nie wystąpiły żadne nieprzewidziane trudności. Z tego względu układ

ten można polecić wszystkim tym, którzy do tej pory bali się przetwornic i zasilaczy impulsowych.

Piotr Górecki

Wykaz elementów

Rezystory

R1: 1kΩ
R2: 10kΩ
R3: 22kΩ
R4: 100kΩ
PR1: 10kΩ helitrim

Kondensatory

C1: 1000μF/16V
C2,C3: 47μF/25V
C4: 470pF
C5: 1nF

Półprzewodniki

D1-D3: diody Schottky'ego np. BAT85
D4: 1N4148
T1: BC548B
T2: BS170
U1: 4069

Pozostałe

L1: 100...150μH (miniaturowy)

Uwaga! Diody D1 i D2 nie wchodzi w skład kitu AVT-2344.

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit AVT-2344