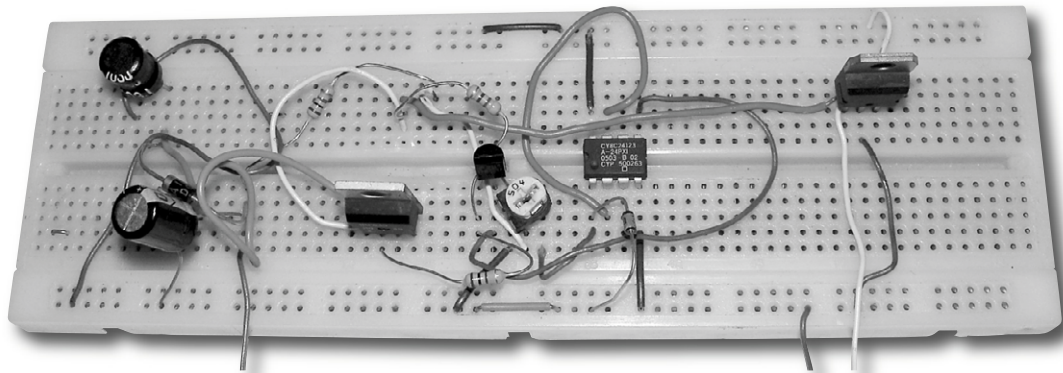
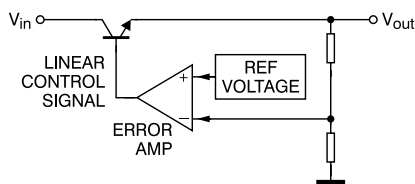


Przetwornice w mikrokontrolerach PSoC



Projektując urządzenia elektroniczne konstruktorzy często muszą rozwiązywać problemy związane z koniecznością stosowania wielu napięć zasilających, w tym napięć ujemnych, gdy dostępne jest tylko pojedyncze napięcie wejściowe, itp. Najwygodniejsze są klasyczne rozwiązania polegające na wykorzystaniu stabilizatorów liniowych. Nie zawsze jednak jest to możliwe, i wtedy należy sięgać po przetwornice.

Proste przetwornice impulsowe, które coraz częściej są stosowane nawet w konstrukcjach amatorskich posiadają wiele zalet funkcjonalnych. Uzyskanie dużej sprawności nie stanowi obecnie wielkiego problemu technicznego, a jest to parametr decydujący o możliwości



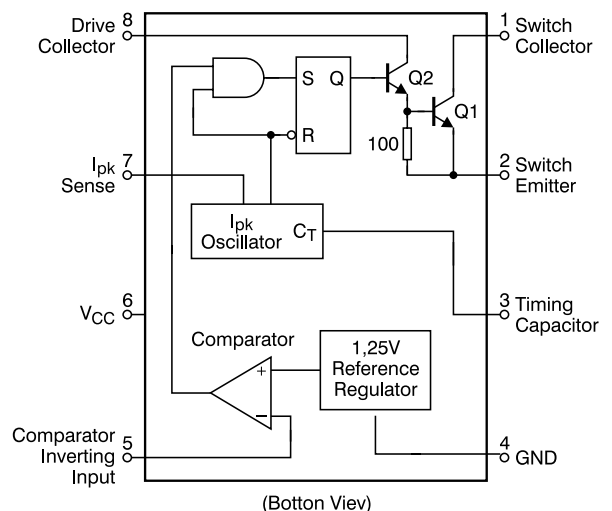
Rys. 1. Schemat blokowy regulatora liniowego

zastosowania przetwornicy w danej aplikacji. Wadą takiej konstrukcji zasilacza jest to, że przetwornice potrzebują do poprawnej pracy kilku elementów zewnętrznych i odpowiedniego sterownika. Istotną zaletą natomiast jest możliwość uzyskania napięć ujemnych oraz napięć mniejszych lub większych od napięcia zasilającego.

W artykule zostaną pokazane sposoby implementacji kilku różnych typów przetwornic z użyciem mikrokontrolerów PSoC. Dzięki proponowanym rozwiązaniom nie będzie potrzebne stosowanie dodatkowych kontrolerów przetwornicy. Co ciekawe – przetwornica w mikrokontrolerze PSoC będzie pracowała bez udziału jego oprogramowania, co jest możliwe dzięki rekonfigurowalnemu blokom cyfrowym i analogowym PSoC-a. Nie będzie więc zależności pomiędzy szybkością pracy przetwornicy, a szybkością wykonywania programu przez mikrokontroler. Większość mikrokontrolerów PSoC firmy Cypress jest już wyposażona w kontroler przetwornicy podwyższającej, pozwalający na zasilanie go napię-

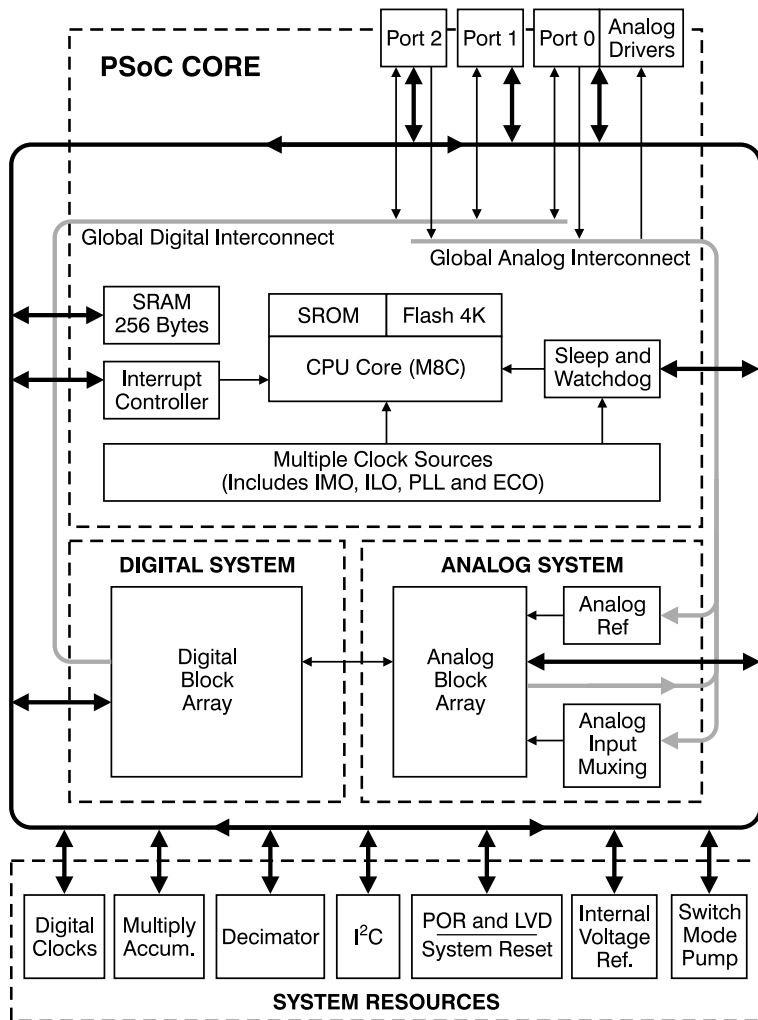
ciem o wartości niewiele większym niż 1 V (praktycznie 1,1 V). Przykładowym zastosowaniem przetwornicy w mikrokontrolerze może być układ zasilania wskaźników NIXIE, które wymagają wysokiego napięcia anodowego. Innym przykładem mogą być zasilacze z ujemnym napięciem wymaganym przez wzmacniacze operacyjne.

W dalszej części artykułu zostanie pokazana implementacja przetwornicy podwyższającej, obniżającej i odwracającej napięcie. Dokładniejszych informacji o działaniu tego typu aplikacji należy szukać w innych źródłach.



Rys. 2. Schemat blokowy przykładowego kontrolera przetwornicy

Z powodu choroby jednego z autorów cyklu „Układy FPGA w przykładach”, kolejna część artykułu ukaże się w jednym z kolejnych wydań Elektroniki Praktycznej. Za kłopoty przepraszamy wszystkich Czytelników zainteresowanych tematyką PLD.
Redakcja



Rys. 3. Schemat blokowy mikrokontrolera PSoC

Implementacja bloków przetwornicy w mikrokontrolerze PSoC

Regulatory napięciowe można podzielić na liniowe oraz impulsowe. Schemat blokowy regulatora liniowego został pokazany na rys. 1. Posiada on prostą budowę i charakteryzuje się dość niską sprawnością, co powoduje, że duża część mocy jest wydzielana w postaci ciepła. Regulator liniowy składa się ze źródła napięcia odniesienia, wzmacniacza błędów, dzielnika i tranzystora mocy. Regulatory liniowe mogą tylko obniżyć napięcie wyjściowe.

W prostych przetwornicach impulsowych dochodzi kilka dodatkowych elementów, takich jak cewka czy dioda. Dzięki pracy impulsowej uzyskuje się wysoką sprawność, a w porównaniu z regulatorami liniowymi można ponadto zwiększyć napięcie wyjściowe w odniesieniu do napięcia zasilającego oraz zmienić jego biegunowość. Stopień skomplikowania prostej przetwornicy nie jest duży. Na rys. 2 pokazano schemat blokowy przykładowego kontrolera przetwornicy. Składa się on z komparatora wykorzystywanego do stabilizacji napięcia wyjściowe-

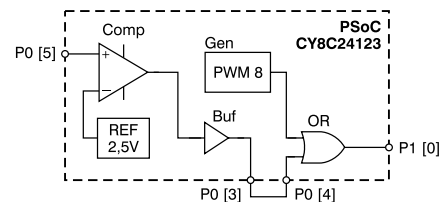
go oraz wymaganego w przypadku przetwornicy impulsowej oscylatora. Oscylator, który steruje tranzystorem mocy jest załączany w zależności od stanu wyjścia komparatora. Przykładowo, jeśli napięcie wyjściowe dla przetwornicy podwyższającej jest za niskie, oscylator jest uruchomiony, a gdy napięcie przekroczy ustawioną wartość jest on wyłączany. Tego typu kontroler umożliwia zbudowanie kilku rodzajów przetwornicy. Dość łatwo można go zaimplementować w mikrokontrolerach PSoC. Pozwoli to obniżyć koszty całego układu i uprościć jego konstrukcję. Jak już wiemy przetwornica może pracować w tle działania programu mikrokontrolera.

W ramach przykładu zaimplementowano przetwornicę w mikrokontrolerze PSoC typu CY8C24123 dostępnego w obudowie DIP8. Bez problemów można użyć także większych mikrokontrolerów PSoC. Na rys. 3 pokazano schemat blokowy mikrokontrolera PSoC. Oprócz rekonfigurowanych bloków analogowych i cyfrowych znajdujemy tu pamięć Flash, RAM, szybki rdzeń M8C pracujący z częstotliwością do 24 MHz, a także inne peryferia. Na rys. 4 pokazano schemat blokowy kontrolera przetwornicy, jaki zaimplementowano w mikrokontrolerze PSoC. Jak widać jest on bardzo podobny do schematu blokowego z rys. 2. Możemy tu wyróżnić komparator *Comp* wraz ze źródłem napięcia odniesienia oraz oscylator *Gen*, generujący przebieg o zmiennym współczynniku wypełnienia (PWM). Wyjście komparatora steruje załączaniem i wyłączaniem generatora za pośrednictwem dodatkowej bramki. Umieszczenie bufora *Buf* zostało podyktowane specyficzną budową mikrokontrolera PSoC. Do zaimplementowania kontrolera przetwornicy w mikrokontrolerze PSoC wykorzystano darmowe oprogramowanie *PSoC Designer*. Na rys. 5 przedstawiono schemat konfiguracji

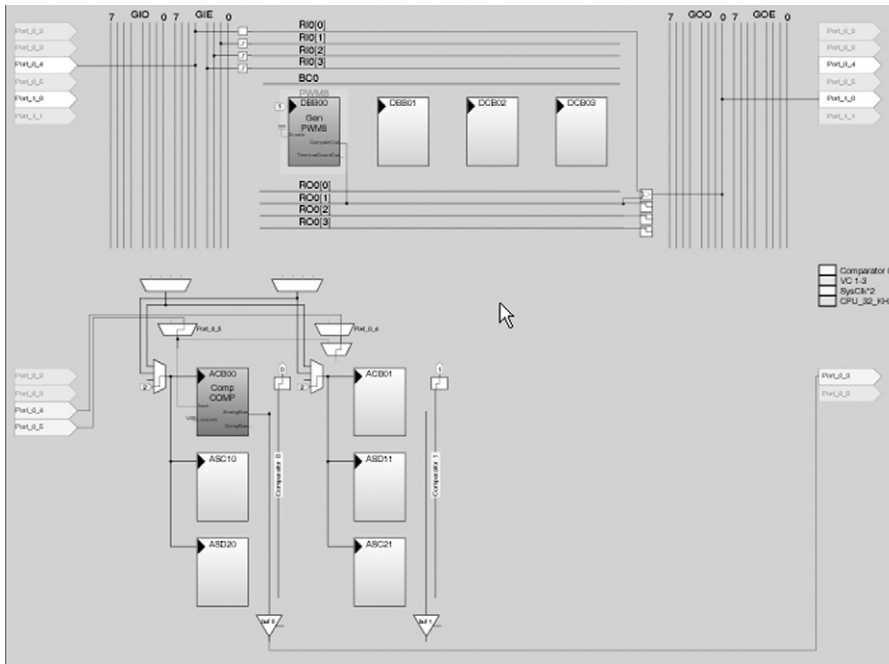
List. 1.

```

;-----
; Assembly main line
;-----
include „m8c.inc”           ; part specific constants and macros
include „memory.inc”       ; Constants & macros for SMM/LMM and Compiler
include „PSoCAPI.inc”      ; PSoC API definitions for all User Modules
export _main
main:
mov A, Comp_HIGHPOWER
call Comp_Start            ;właczenie komparatora
call Gen_Start             ;właczenie generatora PWM
; tutaj kod programu
.terminate:
jmp .terminate
    
```



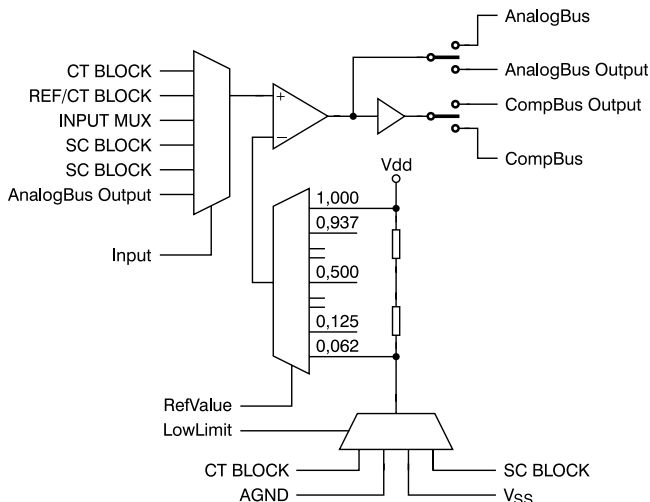
Rys. 4. Schemat blokowy kontrolera przetwornicy zaimplementowanego w mikrokontrolerze PSoC



Rys. 5. Schemat konfiguracji bloków przetwornicy zaimplementowanej w mikrokontrolerze PSoC

bloków przetwornicy zaimplementowanej w mikrokontrolerze. Potrzebne są tylko dwa bloki peryferyjne dostępne spośród ponad 100 możliwych do wyboru. Wykorzystano komparator z regulowanym napięciem odniesienia, którego schemat blokowy pokazano na rys. 6 oraz 8-bitowy generator PWM (rys. 7). Napięcie odniesienia komparatora zostało ustalone na wartość 2,5 V (można je zmodyfikować), a wypełnienie przebiegu generatora PWM będzie zależęć od typu przetwornicy. Częstotliwość generatora ustalono na około 47 kHz. Wyjście komparatora zostało połączone poprzez linie portów P0[3] i P0[4] z wejściem bramki OR, co było po-

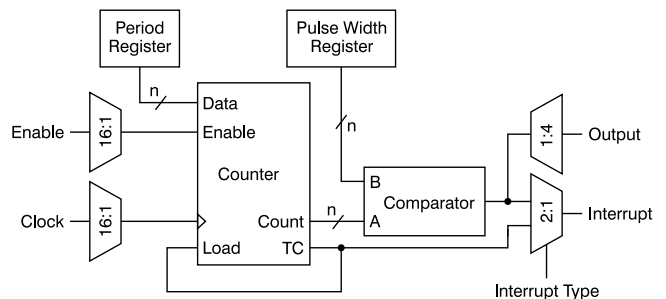
dyktowane ograniczonymi zasobami wewnętrznymi mikrokontrolera. Częstotliwość pracy rdzenia mikrokontrolera została ustalona na 12 MHz, ale nie zależy od niej działanie przetwornicy. Budowa bloków cyfrowych mikrokontrolera PSoC pozwala także na używanie dostępnych (sprzętowych) bramek logicznych. Widoczna na schemacie (rys. 4) bramka OR pochodzi z zasobów mikrokontrolera PSoC. Implementowany w przedstawiony sposób



Rys. 6. Komparator z regulowanym napięciem odniesienia

rator oraz generator PWM. W ten sposób uzyskaliśmy całą implementację kontrolera przetwornicy. Po skompilowaniu programu można zapisać go w mikrokontrolerze wykorzystując do tego celu np. programator dostępny na stronie www.psoc.prv.pl.

Należy jeszcze powiedzieć kilka słów o wpływie parametrów bloków przetwornicy na działanie układu. Nieodzownym elementem przetwornicy jest cewka magazynująca energię. Jej parametry zależą od wielu czynników. Jednym z ważniejszych jest częstotliwość pracy oscylatora. Im będzie ona większa, tym mniejszych rozmiarów może być cewka. Wpływ na parametry przetwornicy ma również współczynnik wypełnienia przebiegu oscylatora umożliwiające regulację czasu gromadzenia energii przez cewkę. Od napięcia odniesienia komparatora zależęć będzie dolny próg napięcia dla przetwornicy obniżającej napięcie. Można eksperymentować z parametrami bloków przetwornicy, dostosowując je do własnych potrzeb. Budowa



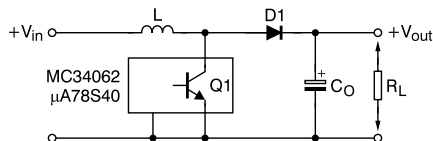
Rys. 7. 8-bitowy generator PWM

trzech rodzajów przetwornic: podwyższającej, obniżającej i odwracającej napięcie zostanie pokazana na przykładzie kontrolera przetwornicy zaimplementowanego w mikrokontrolerze.

trzech rodzajów przetwornic: podwyższającej, obniżającej i odwracającej napięcie zostanie pokazana na przykładzie kontrolera przetwornicy zaimplementowanego w mikrokontrolerze.

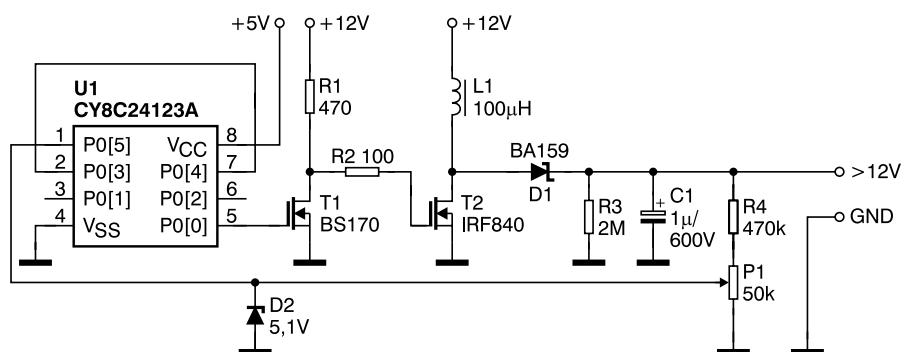
Implementacja przetwornicy podwyższającej (step-up)

Przetwornica podwyższająca jest rodzajem przetwornicy zaporowej. Uproszczony schemat tego typu przetwornicy pokazano na rys. 8. Pracę większości przetwornic można podzielić na dwie fazy. W pierwszej fazie cyklu, gdy klucz Q1 zostanie zwarty, przez klucz i cewkę płynie prąd. W cewce następuje gromadzenie energii. Po otwarciu klucza, w cewce zaindukuje się napięcie takie, aby mógł płynąć prąd i jej energia jest przekazywana

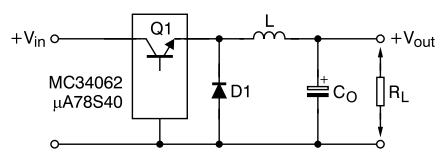


Rys. 8. Uproszczony schemat przetwornicy podwyższającej (step-up)

przez diodę do kondensatora. Jeżeli przetwornica pracuje, cewka na przemian gromadzi i oddaje energię, zwiększając napięcie wyjściowe. Na rys. 9 pokazano schemat ideowy przetwornicy podwyższającej z kontrolerem zaimplementowanym w mikrokontrolerze PSoC. Wyjście generatora PWM steruje tranzysto-



Rys. 9. Schemat ideowy przetwornicy podwyższającej z kontrolerem zaimplementowanym w mikrokontrolerze PSoC

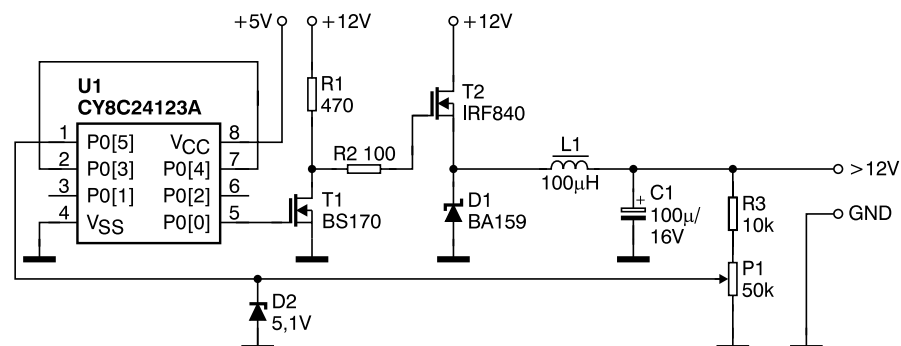


Rys. 10. Uproszczony schemat przetwornicy obniżającej (step-down)

rem T1, który pracuje jako konwerter napięcia dla tranzystora mocy T2. Zwiększa on napięcie bramki tranzystora T2 z 5 V do 12 V, aby się w pełni otwierał. Elementy L1, D1 i C1 są elementami wymaganymi w przetwornicy podwyższającej. Tranzystor T2 i kondensator C1 powinny być elementami zdolnymi do pracy z napięciem większym niż uzyskiwane z przetwornicy. Rezystor R3 wstępnie obciąża przetwornicę, zapobiegając powstaniu na jej wyjściu napięcia mogącego spowodować uszkodzenie tranzystora lub kondensatora C1. Napięcie z przetwornicy jest podawane poprzez dzielnik R4, P1 na wejście komparatora. Potencjometrem P1 można więc regulować napięcie na wyjściu przetwornicy. Dioda Zenera D2 chroni wejście komparatora przed napięciem większym

niż 5 V, co mogłoby spowodować uszkodzenie mikrokontrolera. Jeżeli napięcie z dzielnika jest mniejsze niż napięcie odniesienia komparatora (2,5 V), oscylator pracuje, a gdy większe, oscylator jest zatrzymywany. Gdy napięcie wyjściowe spadnie poniżej 2,5 V przetwornica znów jest uruchamiana. Tego typu działanie umożliwia stabilizację napięcia wyjściowego przetwornicy do potrzebnej wartości. Można zrezygnować ze stabilizacji napięcia, zwierając wejście komparatora (P0[5]) do masy. Nie należy wtedy montować elementów dzielnika R4, P1. W tym przypadku wartość

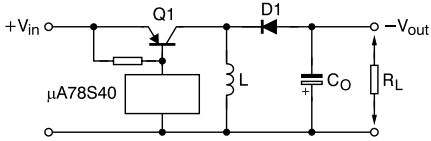
napięcia wyjściowego przetwornicy będzie zależęć od cewki, częstotliwości przebiegu generatora oraz jego wypełnienia. Czas otwarcia tranzystora mocy T2 nie powinien być zbyt długi, aby nie dopuścić do nasycania się cewki. Może to powodować wzrost poboru prądu i strat mocy. W tego typu przetwornicy można uzyskać napięcia od wartości napięcia zasilania cewki (w modelu 12 V) nawet do 400 V. Tak wysokie napięcie wystarczy do zasilania specyficznych czujników zasilanych wysokim napięciem np. lamp NIXIE.



Rys. 11. Schemat ideowy przetwornicy obniżającej z kontrolerem zaimplementowanym w mikrokontrolerze PSoC

Implementacja przetwornicy obniżającej (step-down)

Przetwornica obniżająca (step-down) jest typem przetwornicy przepustowej, której schemat blokowy pokazano na rys. 10. W pierwszej fazie, gdy klucz Q1 zostaje zwarty, kondensator jest ładowany prądem płynącym przez cewkę. W cewce zaczyna się gromadzić energia. W momencie rozwarcia klucza Q źródłem energii będzie cewka, w której indukuje się napięcie o biegunowości przeciwnej niż miało to miejsce przy zwarceniu klucza Q. Prąd będzie płynął w obwodzie L, C, R i D. Bez diody D prąd nie mógłby się zamknąć w obwodzie. W tym typie przetwornicy następuje obniżenie napięcia na wyjściu przetwornicy w odniesieniu do jej napięcia zasilania. Na rys. 11 pokazano schemat ideowy przetwornicy obniżającej napięcie, jaką zaimplementowano w mikrokontrolerze PSoC. Wyjście generatora PWM steruje tranzystorem T1, który pracuje jako konwerter napięcia dla tranzystora mocy T2. Zwiększa on napięcie bramki tranzystora T2 z 5 V do 12 V, aby się w pełni otwierał. Elementy L1, D1 i C1 są niezbędne w przetwornicy obniżającej. Kondensator C1 filtrujący napięcie wyjściowe powinien mieć pojemność minimum 100 μF w celu zminimalizowania poziomu tętnień napięcia wyjściowego. Tranzystor T2 i cewka L1 powinny być dostosowane do mocy jaką ma mieć przetwornica. Napięcie z przetwornicy jest podawane poprzez dzielnik R3, P1 na wejście komparatora (P0[5]). Potencjometrem P1 można regulować napięcie wyjściowe przetwornicy. Dioda Zenera D2 chroni wejście komparatora przed napięciem większym niż 5 V, które mogłoby spowodować uszkodze-

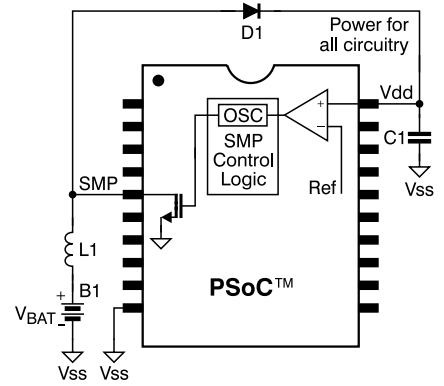


Rys. 12. Uproszczony schemat przetwornicy odwracającej (inverting)

nie mikrokontrolera. Jeżeli napięcie z dzielnika jest mniejsze niż napięcie odniesienia komparatora (2,5 V) oscylator pracuje, a gdy większe oscylator jest zatrzymywany. Użytkiwane na wyjściu napięcia będą niższe od napięcia zasilającego tranzystor mocy T2 i nie mniejsze od napięcia odniesienia komparatora (w tym przypadku 2,5 V). Zmieniając napięcie odniesienia komparatora można bez problemu uzyskać jeszcze mniejsze napięcia. Jeśli nie będzie potrzebna stabilizacja napięcia wyjściowego można zrezygnować z wykorzystywania komparatora zwierając jego wejście (P0[5]) do masy. W tym przypadku oscylator przetwornicy będzie stałe włączony. Nie należy wtedy montować elementów dzielnika R3, P1. Napięcie wyjściowe przetwornicy w dużej mierze będzie zależne od wypełnienia przebiegu wyjściowego oscylatora. Parametr ten można z łatwością ustawić odpowiednio w mikrokontrolerze PSoC. Także i w tym przypadku należy zadbać o to, by cewka nie wchodziła w stan nasycenia, gdyż w znaczny sposób wzrosną wówczas straty mocy. Tego typu przetwornica może znaleźć zastosowanie wszędzie tam, gdzie będzie potrzebne dodatkowe napięcie o wartości niższej od napięcia zasilającego układ. Wydajność takiej przetwornicy w dużej mierze będzie zależne od zastosowanego tranzystora mocy, cewki oraz diody. We własnym zakresie można poeksperymentować z różnymi cewkami i różnym współczynnikiem wypełnienia przebiegu oscylatora.

Implementacja przetwornicy odwracającej (inverting)

Przetwornica odwracająca (inverting) jest typem przetwornicy zaporowej. Jej schemat blokowy pokazano na rys. 12. W pierwszej fazie, gdy klucz Q1 jest zwarty, w cewce gromadzi się energia. Po otwarciu klucza Q1 w cewce indukuje się napięcie o przeciwnej biegunowości i prąd nadal płynie zamykając się w obwodzie L, D, C, R. Prąd ten maleje i zgromadzona porcja energii zostaje przekazana do kondensatora filtrującego C. Napięcie wyjściowe w tego typu przetwornicy posiada odwrotną polaryzację i może być znacznie niższe od dodatniego napięcia zasilającego przetwornicę. Na rys. 13 pokazano schemat ideowy przetwornicy odwracającej napięcie, jaką zaimplementowano w mikrokontrolerze PSoC. Wyjście generatora PWM steruje tranzystorem T1 pracujący jako konwerter napięcia dla tranzystora mocy T2. Zwiększa on napięcie bramki tranzystora T2 z 5 V do 12 V, aby się w pełni otwierał. Elementy L1, D1 i C1 są niezbędne w przetwornicy odwracającej. Kondensator C1 filtrujący napięcie wyjściowe powinien mieć pojemność minimum 100 µF w celu zminimalizowania poziomu tętnień napięcia wyjściowego. W tym przypadku nie wykorzystuje się komparatora, gdyż nie można do niego podać z dzielnika ujemnego napięcia, które jest niższe niż to, które występuje na ujemnym biegunie zasilania komparatora (zasilania mikrokontrolera). Aby oscylator działał nieprzerwanie wejście komparatora zostało dołączone do masy. Ujemne napięcie z przetwornicy w dużej mierze będzie zależne od wypełnienia przebiegu wyjściowego oscylatora. Parametr ten można z łatwością ustawić w mikrokontrolerze PSoC.



Rys. 14. Schemat blokowy przetwornicy podwyższającej ze sprzętowym sterownikiem przetwornicy (SMP)

Tego typu przetwornica może znaleźć zastosowanie wszędzie tam, gdzie będzie potrzebne dodatkowe napięcie ujemne do zasilania wymagających tego układów. We własnym zakresie można poeksperymentować z różnymi cewkami i różnym współczynnikiem wypełnienia przebiegu oscylatora.

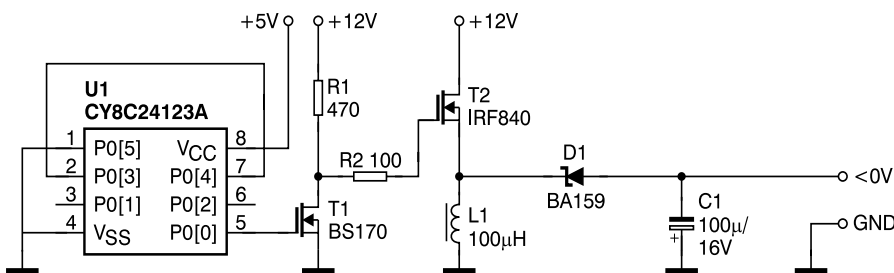
Podsumowanie

Przetwornice w układach elektronicznych są coraz bardziej popularne ze względu na ich sprawność przekraczającą 80%.

Większość mikrokontrolerów PSoC (w obudowach większych niż 8 wyprowadzeń) jest już wyposażona w sprzętowy sterownik przetwornicy (SMP), a dokładnie w przetwornicę podwyższającą. Jej schemat blokowy pokazano na rys. 14. Tego typu przetwornica służy do zwiększenia napięcia zasilania mikrokontrolera. Z zastosowaniem przetwornicy SMP mikrokontroler może pracować już z wykorzystaniem jednej baterii 1,5 V. Dzięki możliwości implementacji kontrolera przetwornicy w zasobach mikrokontrolerów PSoC, można nie tylko uprościć cały układ, ale i w prosty sposób uzyskać potrzebne napięcia. Bez problemu w większych mikrokontrolerach PSoC można zaimplementować jednocześnie nawet kilka sterowników przetwornic, uzyskując możliwość utrzymania kilku różnych napięć wymaganych w danym urządzeniu.

Marcin Wiązania, EP
marcin.wiazania@ep.com.pl

Dodatkowe informacje:
<http://www.cypress.com>
<http://www.psoc.prv.pl>



Rys. 13. Schemat ideowy przetwornicy odwracającej z kontrolerem zaimplementowanym w mikrokontrolerze PSoC