

Nowoczesne przetwornice DC-DC

Sposób na redukcję kosztów eksploatacji i ochronę środowiska

Cyfrowe sterowanie przetwornicami DC-DC pozwala zwiększyć sprawność zasilaczy w zakresie, w którym wydawałoby się że nie da się już wiele poprawić. Zastosowanie odpowiedniej konstrukcji przetwornicy w połączeniu ze sterującym nią mikrokontrolerem jest obecnie najlepszym sposobem na poprawę parametrów zasilacza.

Szybujące w górę ceny energii elektrycznej oraz kosztowne ograniczenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery zmuszają producentów zasilaczy do poszukiwania nowych sposobów zwiększenia efektywności przetwornic. Okazuje się, że osiągnięcie realnie większej sprawności urządzeń nie jest możliwe bez uciekania się do technologii cyfrowych. A zapotrzebowanie na wysokosprawne zasilacze stale rośnie, zarówno ze względu na nowe regulacje prawne w Europie i w USA, jak i na rozrost wielkich serwerowni, których zużycie prądu bezpośrednio przekłada się na koszty ich utrzymania.

W efekcie powyższych problemów, producenci zasilaczy coraz częściej implementują w pełni cyfrowe sterowanie przetwornicami stałoprądowymi. Dzięki temu umożliwiają bardziej precyzyjną kontrolę pracy przetwornic, zaawansowane zarządzanie nimi, pozwalają na wprowadzanie dodatkowych funkcji zasilaczy i skutecznie zwiększają sprawność całych urządzeń.

Idea sterowania cyfrowego

Cyfrowe sterowanie przetwornicami wymaga stworzenia programowalnego kontrolera, który bezpośrednio generuje sygnał PWM podawany do układu zasilacza. Ponadto kontroler powinien zapisywać dane na temat pracy urządzenia, komunikować się z otoczeniem, reagować na polecenia i sygnalizować błędy. Układ sterujący o takich możliwościach pozwala projektantom zasilaczy na stworzenie złożonych algorytmów sterujących, dopasowanych do potrzeb danej aplikacji. Sterownik powinien być tak wykonany, by nie utrudniał implementacji obsługi różnorodnych standardów komunikacyjnych czy formatów zapisu danych.

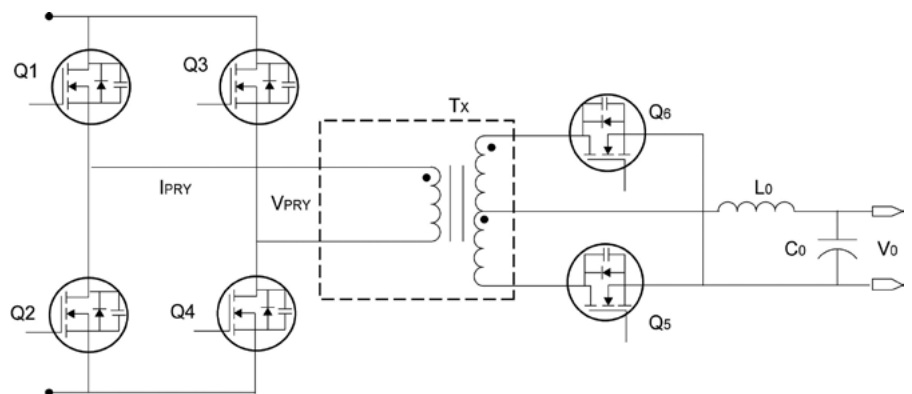
Elastycznie zaprojektowany układ sterowania (DSC – Digital Signal Controller) ułatwia także połączenie go z właściwą częścią przetwornicy o topologii pełnego mostka z przesunięciem fazy (PSFB – Phase-Shifted Full-Bridge), która pozwala na realizację zasilaczy DC-DC o dużej sprawności.

Topologia PSFB

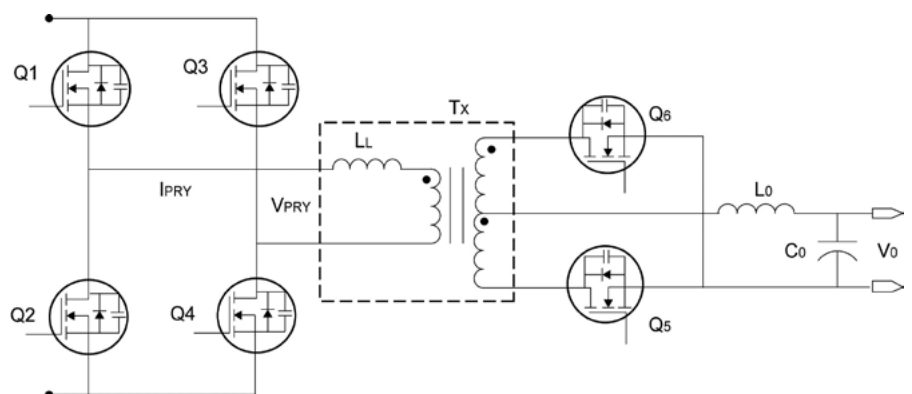
Niezależnie od dostarczanej mocy, prąd przełączania i inne prądy strat w przetwor-

nicach o topologii pełnego mostka są o około połowę mniejsze, niż w przetwornicach półmostkowych. Budowę zasilacza w układzie pełnego mostka z 4 tranzystorami przełączającymi zilustrowano na **rysunku 1**. Umieszczone na przekątnej przełączniki Q1 i Q4 oraz Q2 i Q3 są jednocześnie włączane, dzięki czemu na pierwotne uzwojenie transformatora podawane jest pełne napięcie wejściowe (V_{IN}). Przy każdym przełączeniu tranzystorów polaryzacja napięcia na transformatorze jest odwracana.

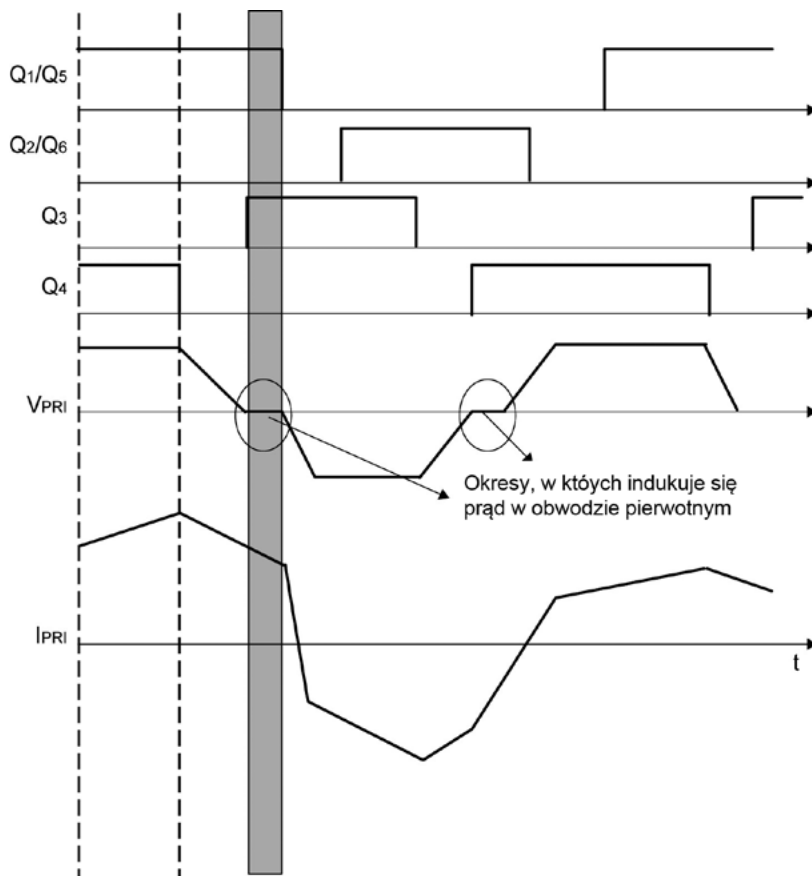
Zmniejszenie wspomnianych prądów w przypadku przetwornicy w układzie pełnego mostka sprawia, że zasilacze tego typu znacznie lepiej nadają się do pracy przy dużych mocach. Jednakże tranzystory Q1, Q4 oraz Q2 i Q3 przełączane w czasie, gdy



Rysunek 1. Przetwornica w układzie pełnego mostka



Rysunek 2. Przetwornica w układzie pełnego mostka z przesunięciem fazowym



Rysunek 3. Klasyczne synchroniczne sterowanie tranzystorami w omawianych przetwornicach

przyłożone jest do nich napięcie, co skutkuje dość dużymi stratami. Ponieważ straty te rosną wraz ze wzrostem częstotliwości przełączania, stanowią de facto górny limit dla częstotliwości kluczkowania przetwornicy. Jest to główne ograniczenie, z jakim musi się zmierzyć inżynier chcący zwiększyć wydajność przetwornicy poprzez zastosowanie większej częstotliwości przełączania tak połączonych tranzystorów.

Przetwornice PSFB z miękkim przełączaniem

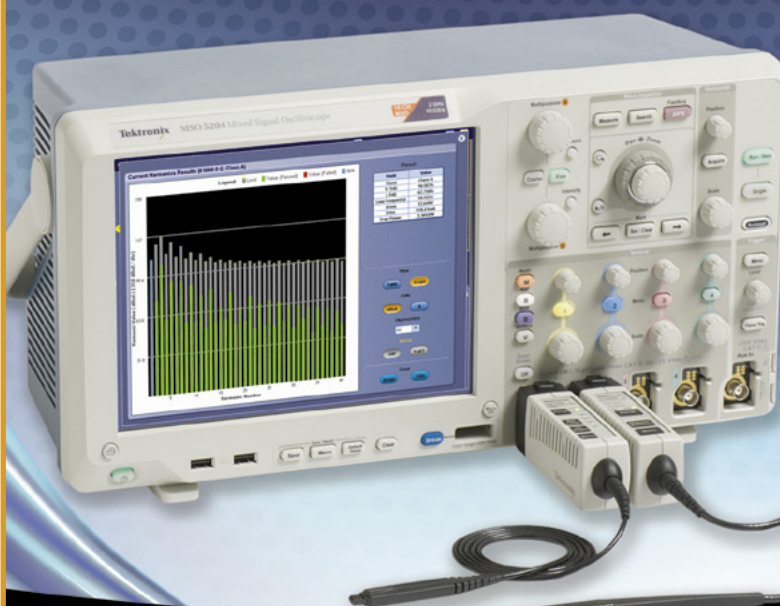
Nowoczesne układy DSC pozwalają konstruktorom znacząco zwiększyć częstotliwość kluczkowania oraz zmniejszyć liczbę komponentów, takich jak np. kondensatory, potrzebnych do budowy zasilacza. Dzięki nim możliwe jest uzyskanie konstrukcji o jednocześnie większej sprawności i wydajności, przy zachowaniu dotychczasowych wymiarów urządzenia.

Przetwornice PSFB z miękkim przełączaniem tworzone są tak, by wykorzystać pasywność pojemności tranzystorów MOSFET i IGBT oraz indukcyjność tranzystorów w celu uzyskania odpowiedniego rezonansu (rysunek 2). Zgranie go z częstotliwością przełączania pozwala zminimalizować wartość napięcia na tranzystorach Q1, Q4 oraz Q2 i Q3 w momentach ich przełączania.

REKLAMA

Oscyloskopy serii DPO5000 oraz MSO5000

to najlepsze rozwiązanie mogące sprostać wyzwaniom, przed jakimi stoją projektanci weryfikując, testując oraz wyszukując błędy w złożonych projektach elektronicznych.



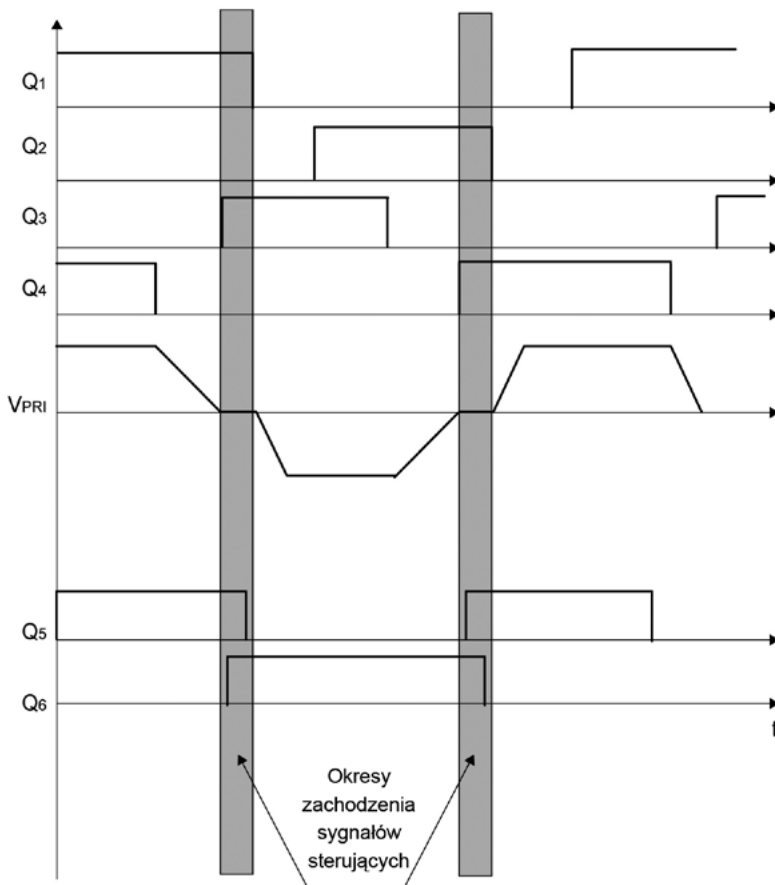
- ▶ Pasma analogowe 350 MHz, 500 MHz, 1 GHz lub 2 GHz
- ▶ Próbkowanie 10 GS/s
- ▶ Rekord do 250 M punktów dla kanałów analogowych oraz do 40 M punktów cyfrowych (wersja MSO),
- ▶ 4 kanały analogowe oraz 16 kanałów cyfrowych (wersja MSO)
- ▶ Zaawansowany system wyzwalania
- ▶ Segmentacja pamięci
- ▶ Zaawansowana analiza sygnałów cyfrowych (wersja MSO) z wykorzystaniem technologii MagniVu zapewniającej rozdzielczość czasową 60,6ps z szybkością pracy 16.5 GS/s w czasie rzeczywistym
- ▶ Szeroka gama wbudowanych narzędzi zaawansowanej analizy przebiegu
- ▶ System operacyjny Windows 7



Tektronix
Enabling Innovation

Siedziba Firmy: 54-413 Wrocław, ul. Klecińska 125, tel. 71 783 63 60, fax 71 783 63 61
Biuro Handlowe: 03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 74, tel. 22 675 75 42

tespol@tespol.com.pl • www.tespol.com.pl



Rysunek 4. Wzrost sprawności przetwornicy dzięki synchronicznemu sterowaniu MOSFET-ami z nachodzącymi na siebie sygnałami sterującymi.

W efekcie, ponieważ napięcie to w chwilach przełączenia spada praktycznie do zera, straty wynikające z kluczowania również stają się pomijalnie małe.

Konwencjonalne przetwornice PSFB z synchronicznym brankowaniem MOSFET-ów

Większość przetwornic DC-DC, ze względu na bezpieczeństwo zawiera transformatory izolujące obwód pierwotny od obwodu wtórnego. Konstrukcje o dużej mocy znamionowej zawierają najczęściej układ o topologii PSFB w obwodzie pierwotnym oraz pełnookresowy synchroniczny prostownik po stronie wtórnej układu, w celu zapewnienia dużej wydajności.

W przypadku przetwornic PSFB sterowanych synchronicznie przełączanymi tranzystorami MOSFET (rysunek 3), tranzystory, gdy tranzystory Q1 i Q3 lub Q2 i Q4 są włączone, moc z obwodu pierwotnego nie jest przenoszona do obwodu wtórnego i tranzystor Q5 jest włączony.

Energia zgromadzona w cewce wyjściowej L_o pochodzi z prądu, który krąży przez tranzystor Q5 i wtórne uzwojenie transformatora Tx. Prąd ten może płynąć zarówno przez kanał tranzystora, jak i diody w jego strukturze. Ponieważ prąd płynący przez uzwojenie wtórne transformatora indukuje również krążący prąd w obwodzie pierwot-

nym, praca przetwornicy jest zaburzona, co powoduje dodatkowe straty całego układu.

Prąd ten w układzie pierwotnym wzbudza głównie wyższe napięcia niż nominalne napięcia wejściowe przetwornicy. W celu minimalizacji tego problemu warto zostawić pewien okres, w którym zarówno tranzystor Q5, jak i Q6 są zatkane. Wtedy to, żaden z ich kanałów nie przewodzi i krążący w układzie wtórnym prąd musi przepływać przez diody w strukturach tych tranzystorów. Diody te cechują się dużym napięciem progowym, w porównaniu do spadku napięcia na rezystancji otwartego kanału tranzystora MOSFET, tj.:

$$(V_f \times I) \gg (I_{rms}^2 \times R_{ds(on)})$$

Dzięki temu w obwodzie pierwotnym indukuje się znacznie mniejszy prąd.

Jednakże, synchroniczne sterowanie tranzystorami Q5 i Q6 w taki sposób, by w krótkich okresach były włączone jednocześnie może zapobiec innym stratom mocy, spotykanym w konwencjonalnych konstrukcjach z synchronicznie sterowanymi bramkami MOSFET-ów.

Zachodzące na siebie sygnały sterujące bramkami

Strat powstałych w czasie, gdy na uzwojenie pierwotne transformatora nie jest podawane żadne napięcie da się uniknąć. W tym celu należy tak zaprogramować sygnały sterujące bramkami tranzystorów po stronie wtórnej,

by na siebie zachodziły (rysunek 4). Zwiększa to sprawność urządzenia na trzy sposoby.

Po pierwsze, w układach pełnookresowych prostowników z odczepem po środku, nachodzenie na siebie sygnałów sterujących bramkami MOSFET-ów znacząco redukuje strumień indukcji magnetycznej wtórnego uzwojenia transformatora, tym samym likwidując przepływ energii z obwodu wtórnego do pierwotnego.

Po drugie, stan w którym oba tranzystory po stronie wtórnej są włączone sprawia, że prąd w obwodzie wtórnym może płynąć jednocześnie równolegle przez każdy z tych tranzystorów i przez obie cewki. W efekcie, rezystancja zastępcza, jaką napotyka w tym czasie prąd jest dwukrotnie niższa, a więc straty z niej wynikające są również dwukrotnie mniejsze, niż w sytuacji gdy tylko jeden z tranzystorów jest włączony.

Po trzecie, w przypadku zwykłego, synchronicznego sterowania, celowo pozostawiony odstęp pomiędzy sygnałami otwierającymi kanały tranzystorów to około 10% cyklu. W okresie tym duży prąd wyjściowy przepływa przez diodę w strukturze tranzystora MOSFET, która cechuje się względnie dużym napięciem progowym. Konfiguracja sygnałów sterujących tak, by na siebie nachodziły sprawia, że prąd ten zawsze płynie przez otwarte kanały tranzystorów. Dzięki temu straty na wyjściu układu związane są tylko z niewielką rezystancją $R_{ds(ON)}$ i są znacznie mniejsze niż gdy prąd ten płynie przez diody w strukturach tranzystorów.

Przekłada się to na realne i łatwe do zmierzenia korzyści. W przypadku urządzenia telekomunikacyjnego o napięciu wejściowym od 36 do 76 V_{DC}, sterowanie za pomocą zachodzących na siebie sygnałów bramek pozwala zwiększyć sprawność całego urządzenia o około 3–4%.

Podsumowanie

Następne generacje zasilaczy będą wymagały zastosowania nowych topologii i nowych technik sterowania, co pozwoli zapewnić bardziej precyzyjną kontrolę nad nimi i wzbogacić je o dodatkowe funkcje. Kluczem do stworzenia takich projektów jest elastyczny układ sterujący z zupełnie niezależnymi wyjściami PWM, które pozwalają m.in. na generowanie synchronicznych sygnałów nachodzących na siebie o wysokiej częstotliwości. Wymagania te spełniają układy dsPIC firmy Microchip, które zostały zoptymalizowane do sterowania nowoczesnymi przetwornicami DC-DC i które pozwalają na tworzenie konstrukcji o bardzo dużej wydajności. Tylko dzięki takim podzespołom możliwa będzie dalsza walka z rosnącymi cenami energii i emisją dwutlenku węgla.

Marcin Karbowiczek, EP

Artykuł napisany na podstawie materiałów nadesłanych przez firmę Microchip.