

Ciche LED-y – czyli sterowanie pracą diod LED wysokoczęstotliwościowym sygnałem PWM

Wzrastająca liczba zastosowań diod LED zwiększa wymagania stawiane nowoczesnym układom sterującym pracą LED-ów. Dotyczy to szczególnie zasilaczy umożliwiających przyciemnianie diod z użyciem sygnału PWM. Ich wybór na rynku jest bardzo duży, ale jeśli ograniczyć się do takich, które pozwalają na generowanie sygnału PWM o częstotliwości powyżej 20 kHz, to może okazać się, że wybór dostępnych rozwiązań znacznie się pomniejsza. Niestety, tylko niektóre układy są wystarczająco zaawansowane, by zapewnić sprawną pracę w tych warunkach. Ale dlaczego akurat 20 kHz?

Większość konstruktorów, dobierając parametry sygnału PWM sterującego pracą diod LED stara się jedynie, aby jego częstotliwość przekraczała 100 Hz. Wynika to z faktu, że poniżej tej częstotliwości, ludzkie oko jest w stanie dostrzec migotanie światła. Niestety, powyżej tej częstotliwości oko nie zauważy już migotania, ale... fakt przełączania diod może być wykryty przez ludzkie ucho, ponieważ częstotliwość kluczkowania może „roznieść się” po obwodach elektronicznych urządzenia i docierać do głośników czy słuchawek, ale też powodować zmianę wymiaru ciała pod wpływem pola magnetycznego (magnetostrykcja), elektrycznego (elektrostrykcja) lub napięcia (zjawisko piezoelektryczne odwrotne). Na przykład powszechnie stosowane kondensatory ceramiczne zmieniają swoje wymiary w trakcie pracy, zmniejszając i powiększając się z częstotliwością zmian napięcia, które do nich dociera. Wibracje te przenoszą się na płytkę drukowaną, na której są zamontowane i docierają do uszu użytkownika. Aby uniknąć tego problemu, konieczne staje się takie projektowanie urządzenia, by wyeliminować w nim wszelkie drgania i zakłócenia w paśmie audio, czyli właśnie do 20 kHz. Dzięki temu drgania te nie będą powodowały słyszalnych efektów.

Przykładami sterowników, które pozwalają na zasilanie diod LED i uzyskanie tak dużej częstotliwości sygnału PWM, są układy LT3755 i LT3756 firmy Linear Technologies. Pozwalają one uzyskać współczynnik wypełnienia sygnału na poziomie nawet 1:50 przy

częstotliwości 20 kHz, co umożliwia przyciemnianie diod o ponad rząd wielkości jasności. Ponadto, układy te pozwalają na pracę w konfiguracji przetwornic obniżających, podwyższających i obniżająco-podwyższających.

Precyzyjne przyciemnianie diod LED

Przyciemnianie diod LED z użyciem sygnału PWM jest z założenia nieskomplikowane. Dzięki bardzo krótkim czasom włączania i wyłączenia jest możliwe uzyskanie dużej częstotliwości impulsów światła, które przez ludzkie oko są odbierane jako światło ciągle. Barwa, czyli długości fal świetlnych emitowanych przez diodę LED, nie zależy od czasu jej załączania czy czasu trwania impulsów, dzięki czemu dobrze działające sterowanie PWM nie zmienia koloru LED-ów. Barwa ta zależy jednak od wielkości prądu przepływającego przez diodę, w związku z czym, aby się nie zmieniała, jest konieczne utrzymywanie stabilnego prądu w czasie włączenia diody i zupełne jego odcięcie, gdy dioda jest wyłączona. Niestabilność wartości prądu będzie powodować zauważalne zmiany w barwie czy nawet natężeniu światła diod LED.

Z opisanych względów sterowanie LED-ami za pomocą sygnału PWM przy bardzo dużych częstotliwościach okazuje się jednak dosyć trudne i wymaga precyzyjnych komponentów. Czas narastania i opadania sygnału zasilającego powinien być jak najkrót-

Dodatkowe informacje:
Arrow Electronics Poland
ul. Rzymowskiego 53, 02-697 Warszawa
tel. 22-856-90-90, faks 22-558-82-83
www.arroweurope.com



szy, a w praktyce nie powinien przekraczać 100 ns. Przygotowanie impulsów zasilających diodę LED, przy wykorzystaniu dowolnego źródła napięcia wymaga zazwyczaj użycia przetwornicy DC/DC pozwalającej dostosować prąd i napięcie do wymagań projektowych, kondensatorów, które pozwoliłyby dostarczyć odpowiednio dużo prądu w trakcie, gdy dioda jest zasilana oraz odpowiedniego klucza mającego możliwość skutecznego, błyskawicznego odcinania prądu diody.

Zastosowanie regulatora z pętlą histerezy raczej nie sprawdzi się w tym wypadku, ponieważ za jego pomocą uzyskać strome zbocza sygnału zasilającego diodę. Wynika to z faktu, że do wyrównywania prądu zamiast kondensatora jest stosowany dławik o dużej indukcyjności. Co więcej, fakt że średni prąd diody w takim układzie jest zależny od tętnień prądu cewki sprawia, że cały układ jest wrażliwy na parametry źródła zasilania. Inaczej mówiąc, to w jaki sposób będzie świeciła dioda LED jest zależne od zasilacza. Z tego powodu, w wielu wypadkach układ tego typu nie jest wystarczający do uzyskania pożądaných efektów świetlnych z użyciem LED-ów.

Steruj LED-ami Po Swojemu



▼ Wysoko-wydajne sterowniki LED

Model	Topologia	Stopień przyciemniania	Zakres napięć wejściowych [V]	Maksymalne napięcie wyjściowe [V]	ILED (MAX) [A]*	Obudowa
LT* 1618	Buck, Boost, Buck/Boost Mode	DC/PWM	1.6 to 18	36	1.00	3mm x 3mm DFN-10, MSOP-10
LT3466	Dual Boost	DC/PWM	2.7 to 24	39	0.02 x 2	3mm x 3mm DFN-10
LT3474/-1	Buck	400:1 PWM	4 to 36	9/25	1.00	TSSOP-16E
LT3475/-1	Dual Buck	3000:1 PWM	4 to 36 (40 Max.)	9/25	1.50 x 2	TSSOP-20E
LT3476	Quad Buck, Boost, Buck/Boost Mode	1000:1 PWM	2.8 to 16	36	1.00 x 4	5mm x 7mm QFN-38
LT3477	Buck, Boost, Buck/Boost Mode	DC/PWM	2.5 to 25	40	2.00	4mm x 4mm QFN-20, TSSOP-20E
LT3478/-1	Buck, Boost, Buck/Boost Mode	3000:1 PWM	2.8 to 36 (40 Max.)	40	4.00	TSSOP-16E
LT3486	Dual Boost	1000:1 PWM	2.7 to 24	35	0.10 x 2	3mm x 5mm DFN-16
LT3496	Triple Buck, Boost, Buck/Boost Mode	3000:1 PWM	3 to 30 (40 Max.)	45	0.50 x 3	4mm x 5mm QFN-28
LT3517/18	Buck, Boost, Buck/Boost Mode	5000:1 PWM	3 to 30 (40 Max.)	45	1.0/2.0	4mm x 4mm QFN-16
LT3590	Buck Mode	200:1 PWM	4.5 to 55	n/a	0.05	2mm x 2mm DFN-6, SC-70
LT3595	Buck Mode	3000:1 PWM	4.5 to 45	n/a	0.05 x 16	5mm x 9mm QFN-56
LT3755/56	Buck, Boost, Buck/Boost Mode	3000:1 PWM	4.5 to 40/6 to 100	60/100	Ext. FET	3mm x 3mm QFN-16, MSOP-16E
LTC* 3783	Buck, Boost, Buck/Boost Mode	3000:1 PWM	3 to 36	40	Ext. FET	4mm x 5mm DFN-16, TSSOP-16E

* Faktyczny prąd wyjściowy będzie zależał od napięć wejściowych, wyjściowych i topologii

▼ Informacje i próbki

www.linear.com/LEDdrivers
1-800-4-LINEAR



Darmowa broszura na temat zarządzania mocą LED-ów

www.linear.com/ledsolutions

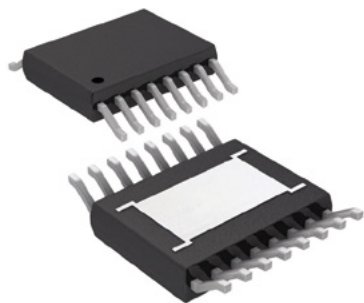
LTC, LTC i LT są zarejestrowanymi znakami towarowymi Linear Technology Corporation. Wszystkie pozostałe znaki towarowe należą do odpowiednich właścicieli.

Oficjalny dystrybutor firmy Linear Technology

ARROW
ARROW ELECTRONICS

Arrow Electronics Poland Sp. z o.o.
ul. Rzymowskiego 53
02-697 Warszawa
tel. +48 22 55 88 282
SalesOffice.Warsaw@arroweurope.com

LINEAR
TECHNOLOGY



Wymagania względem sygnału PWM

Wróćmy do cech, jakie powinien mieć dobry regulator jasności LED-ów, w którym jest stosowany sygnał PWM. Przyjmijmy, że ludzkie oko na pewno nie będzie w stanie zaobserwować migotania o częstotliwości wyższej od 125 Hz, co odpowiada okresowi równemu 8 ms. Dobry układ regulacji jasności świecenia diod LED powinien zapewniać możliwość ich silnego przyciemnienia. Aby to osiągnąć, konieczne jest zbudowanie takiego zasilacza, który pozwoli generować impulsy trwające wielokrotnie krócej, niż okres sygnału PWM. W wypadku częstotliwości 125 Hz, ustalenie minimalnej długości impulsu na poziomie 8 μ s dałoby w rezultacie zdolność do 1000-krotnego przyciemnienia diody. Jednakże, gdy sygnał PWM ma częstotliwość 20 kHz, dzięki czemu nie wprowadza słyszalnych zakłóceń, długość okresu to jedynie 50 μ s, w efekcie czego utrzymanie długości minimalnego impulsu na poziomie 8 μ s pozwoliłoby na ściemnianie diod LED co najwyżej 6-krotnie. Wspomniane wcześniej układy LT3755 i LT3756 umożliwiają generowanie impulsów o czasie trwania nawet 1 μ s zapewniając duże możliwości ściemniania również wtedy, gdy pracują w zakresie częstotliwości niewykrywalnych przez ludzkie ucho.

Tryb przewodzenia przerywanego

Kluczem do osiągnięcia bardzo krótkich czasów włączania i wyłączania diod LED jest praca w trybie DCM (*Discontinuous Conduction Mode*) zwanym nieciągłym lub przerywanym. W trybie tym prąd elementu indukcyjnego przetwornicy zaczyna się od zera na początku każdego cyklu przewodzenia. Szczytowa wartość tego prądu zależy od obciążenia i zmienia się wraz ze współczynnikiem wypełnienia sygnału elementu kluczującego. Dla porównania, w trybie przewodzenia ciągłego CCM (*Continuous Conduction Mode*) współczynnik wypełnienia sygnału sterującego kluczem jest utrzymywany praktycznie na stałym poziomie, a odpowiedni prąd na obciążeniu uzyskuje

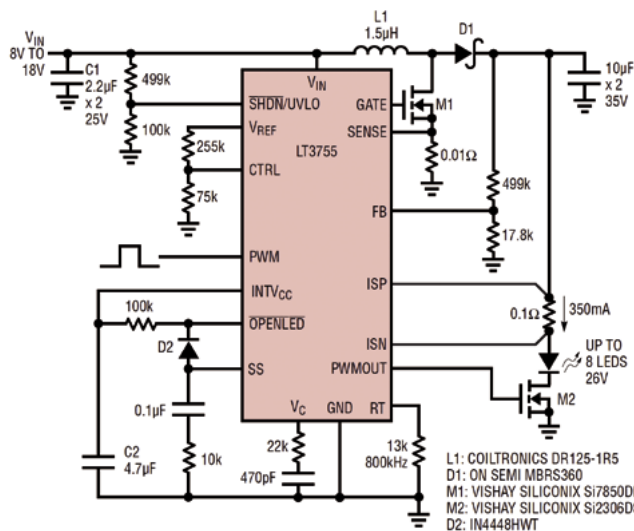
się poprzez regulację prądu elementu indukcyjnego.

Tryb DCM jest korzystniejszy w wypadku układów do ściemniania diod LED pracujących z użyciem sygnału PWM, gdyż pozwala dostarczyć całą ilość potrzebnej energii (prądu) w trakcie pojedynczego okresu przewodzenia. Pozwala to na uniknięcie problemu opóźnionej stabilizacji pracy układu, która w przeciwnym wypadku dla sygnału PWM trwa zazwyczaj kilka cykli.

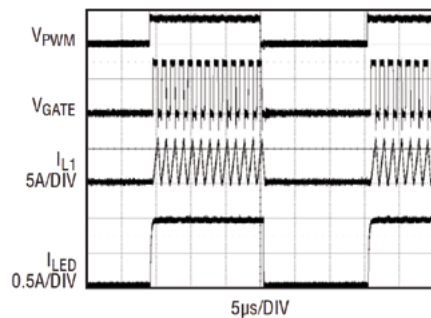
Jednakże praca w trybie przerywanym stawia większe wymagania wobec elementów przełączających zastosowanych w układzie, co wynika z faktu, że są one narażone na większe prądy. Z tego względu zastosowanie oddzielnego sterownika PWM jest korzystniejsze niż użycie gotowej scalonej przetwornicy, bowiem pozwala dostosować prądy i zastosowane podzespoły do wymagań konkretnej aplikacji. Niestety, praca w trybie nieciągłym ma także pewne wady. W porównaniu do trybu ciągłego, DCM charakteryzuje się mniejszą sprawnością oraz stawia większe wymagania wobec źródła zasilania. Ważna jest jednak korzyść w postaci nawet 4- lub 5-krotnie skróconego minimalnego okresu sygnału PWM.

Przykładowe konfiguracje

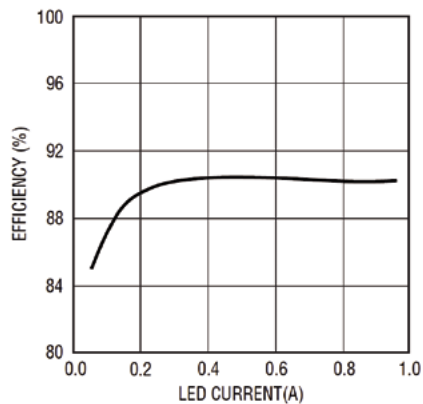
Zastosowanie układu LT3755 można zobaczyć na przykładzie trzech aplikacji. Na **rysunku 1** pokazano przetwornicę o mocy 9 W podwyższającą napięcie i dostarczającą prąd o natężeniu 350 mA przy napięciu na obciążeniu 26 V. Przetwornica jest zasilana napięciem z zakresu od 8 do 18 V. Jeśli ma ono stałą wartość np. 12 V, regulator pracuje ze stałą częstotliwością przełączania dostarczając prąd o wartości z zakresu od 125 mA do 1 A ustalony za pomocą wejścia CTRL. Pozwala to dostarczać do obciążenia moc od 2,4 W do 27 W. Minimalne czasy przewodzenia i odciążenia wynoszą 1 μ s. Oscylogramy zmierzone podczas pracy przetwornicy ze współczynnikiem wypełnienia 50%, obciążeniem 1 A, przy napięciu wyjściowym 27 V i napięciu zasilania 12 V, pokazano na **rysunku 2**. Warto zwrócić uwagę na bardzo krótkie czasy narastania i opadania prądu. Przy maksymalnym obciążeniu bramka klucza przetwornicy jest spolaryzowana napięciem 7 V przez



Rysunek 1. „Niesłyszalna” przetwornica o mocy 9 W, podwyższająca napięcie do zasilania diod LED, pozwalająca na 50-krotne ściemnianie z użyciem sterowania PWM



Rysunek 2. Przebiegi pracy przetwornicy z rysunku 1



Rysunek 3. Sprawność przetwornicy z rysunku 1

niamal 1 μ s (czas minimalny jest tożsamy z długością impulsu PWM), a prąd cewki spada do zera przed rozpoczęciem kolejnego impulsu polaryzującego bramkę klucza, co jest typowe dla pracy w trybie DCM. Sprawność tego rozwiązania wykreślono na **rysunku 3** w funkcji prądu obciążenia w sytuacji przy zasilaniu napięciem 12 V. Dochodzi ona do nieco ponad 90%.

Na **rysunku 4** przedstawiono schemat przetwornicy obniżającej, zasilanej napię-

ciem stałym z zakresu od 22 V do 36 V i generującej na wyjściu napięcie 16 V przy prądzie obciążenia 500 mA. Zastosowano w niej dodatkowy układ podnoszący napięcie na bramce tranzystora NMOS odcinającego zasilane diody LED. Znacząco skraca on czas narastania i opadania prądu na wyjściu przetwornicy, a jednocześnie zużywa mniej mocy, niż popularne rozwiązania przesuujące napięcie bramki na tranzystorach PMOS z użyciem rezystora. Skutek pracy tej przetwornicy zilustrowano na **rysunku 5**, na którym widać że dostarczany jest dostarczany stabilny prąd wyjściowy niezależnie od stopnia wypełnienia sygnału PWM. Sprawność tej 8-watowej przetwornicy przekracza 90%.

Na **rysunku 6** pokazano przetwornicę SEPIC (*Single-Ended Primary-Inductor Converter*) dostarczającą prąd o natężeniu 1 A przy napięciu 20 V. Napięcie ma wartość 10...36 V. Oprócz wygodnej możliwości zarówno obniżania, jak i podwyższania napięcia, przetwornica ta zapewnia izolację wejścia od wyjścia oraz ma wbudowane zabezpieczenie przed zwarcieniem na obciążeniu. Jej sprawność przekracza 87%, a minimalny czas trwania impulsu PWM wynosi 1 μ s. Na **rysunku 7** pokazano oscylogramy wykreślone podczas działania przetwornicy w momencie wystąpienia zwarcia. Prąd wejściowy jest utrzymywany pod kontrolą i nigdy nie przekracza ustalonego limitu 10 A. Gdy zbliży się do zadanego maksimum, zostaje ograniczony aż do momentu, gdy prąd płynący przez rezystor zabezpieczający nie spadnie poniżej 1,5 A. Wtedy ponownie narasta prąd pobierany ze źródła, a cały układ może pracować w ten sposób dowolnie długo, nie ulegając uszkodzeniu.

Jeszcze więcej mocy

Do budowy omówionych przetwornic zastosowano układ LT3755, który może być zasilany napięciem z zakresu 4,5...40 V i dostarcza napięcie wyjściowe do 75 V. Coraz częściej jednak diody LED używane są w zastosowaniach, gdzie to nie wystarcza, ponieważ są one łączone szeregowo i wymagają do zasilania ponad 100 W mocy. W takich sytuacjach sprawdzi się „mocniejszy” odpowiednik układu LT3755 – LT3756. Może on być zasilany napięciem z zakresu 6 V...100 V, a maksymalne napięcie wyjściowe wynosi 100 V. Przykładem jego aplikacji jest projekt 125-watowej przetwornicy podwyższającej napięcie, przeznaczonej do zasilania np. oświetlenia billboardów lub obiektów sportowych. Pokazano go na **rysunku 8**. Ta przetwornica może być zasilana napięciem 40...60 V. Podwyższanie napięcia odbywa się z użyciem dwóch połączonych równolegle tranzystorów MOSFET przełączanych z częstotliwością 250 kHz. Pozwala to na zminimalizowanie wielkości zastosowanych komponentów dyskretnych, zachowując przy tym sprawność na poziomie 97%. Wyjście PWMOUT wraz ze sterowanym nim tranzystorem pozwala nie tylko na przyciemnianie diod, ale też skutecznie odcina przepływ prądu, gdy diody mają być wyłączone. Przetwornica również jest zabezpieczona przed rozwarciem na wyjściu, które może wystąpić, gdy jedna z diod w szeregu ulegnie uszkodzeniu lub gdy łańcuch diod zostanie po prostu odłączony. Wtedy napięcie na wyjściowe ustala się na poziomie 95 V, aż do momentu dołączenia sprawnego łańcucha diod. Bez tego zabezpieczenia, napięcie na rezystorze połączonym szeregowo z łańcuchem diod wynosiłoby 0 V i układ starałby się zwiększyć ilość dostarczanego prądu, co spowodowałoby znaczne podwyższenie napięcia przekraczając granice wytrzymałości wielu zastosowanych komponentów. Dzięki zabezpieczeniu jest możliwe użycie tańszych elementów o mniejszych napięciach dopuszczalnych.

Podsumowanie

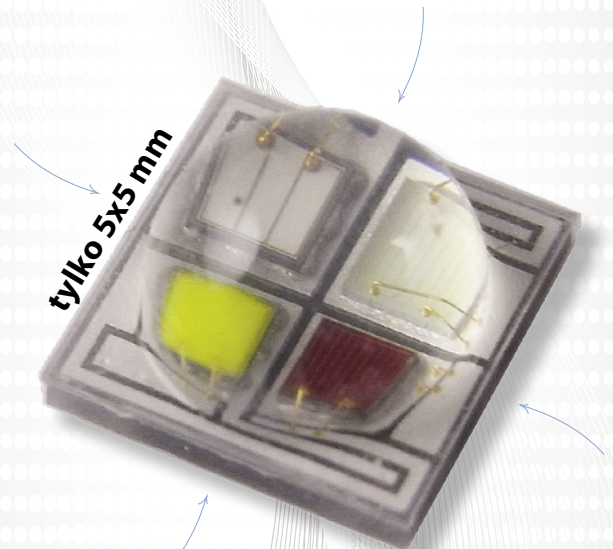
Omówione układy scalone pozwalają na konstruowanie przetwornic, które świetnie nadają się do tworzenia zaawansowanych systemów zasilania diod LED. Umożliwiają skuteczne tworzenie

Federal FM 5050

- prawdopodobnie najmniejsza na rynku 4-chipowa LED mocy!

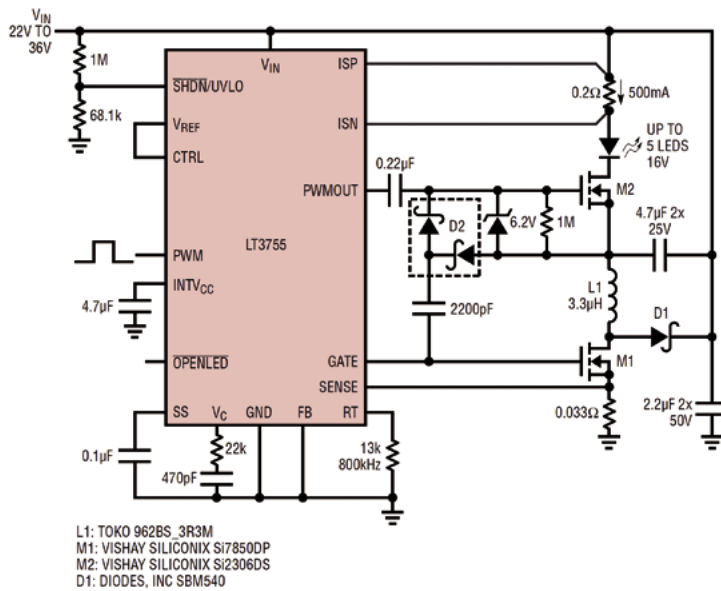
- 4 osobno sterowane chipy w każdej LED
- Ultra kompaktowe wymiary 5x5 mm
- 425lm@350mA
- Dostępne barwy: biała (ciepła, zimna, neutralna)

oraz RTBW i RTBA



 www.jm.pl/powerled
Jesteśmy autoryzowanym dystrybutorem produktów EDISON-OPTO.

JM elektronik, ul. Karolinki 58, 44-100 Gliwice,
tel.: 32 339-69-00, fax: 32 339-69-09,
e-mail: jm@jm.pl, www.jm.pl

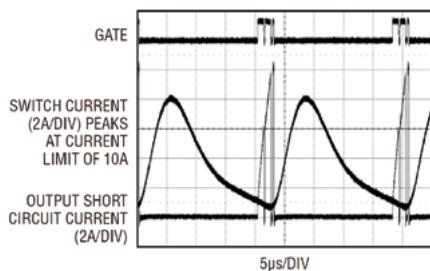


Rysunek 4. „Niesłyszalna” przetwornica o mocy 8 W, obniżająca napięcie do zasilania diod LED, pozwalająca na 50-krotne ściemnianie z użyciem sterowania PWM (sprawność ok. 90%)

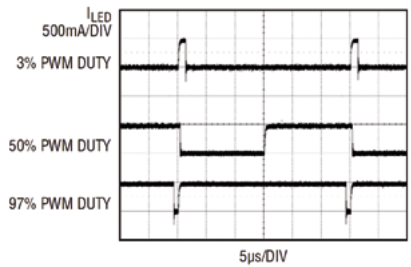
systemów oświetlenia, które bezgłośnie pracują poza pasmem audio, przy zachowaniu dużej precyzji regulacji jasności LED-ów i dużej sprawności całej przetwornicy. Co więcej, bardzo krótkie czasy narastania i opadania prądu na wyjściu układu umożliwiają tworzenie systemów świetlnych przyćmianych nawet 3000 razy, o ile pracują przy niższej częstotliwości sygnału PWM.

Szeroki zakres napięć wejściowych umożliwia dostosowanie przetwornicy do różnorodnych źródeł zasilania. Sprawdzą się one zarówno w motoryzacji, gdzie występują duże wahania napięć, jak i w urządzeniach zasilanych akumulatorami litowo-jonowymi. Duży obszar zastosowań sprawia, że korzystanie z omówionych układów jest bardzo wygodne dla producentów systemów oświetleniowych. Możliwość wykorzystania tych samych, raz sprawdzonych komponentów zdecydowanie ułatwia wykonywanie różnych wariantów projektów i upraszcza kwestie logistyczne związane z zamawianiem podzespołów.

Omówione układy dostępne są w 16-wyprowadzeniowych obudowach QFN o wymiarach 3 mm×3 mm i MSE, które mogą pracować w temperaturze do 125°C lub 150°C, w zależności od wersji, dzięki



Rysunek 7. Praca przetwornicy z rysunku 6 w sytuacji zwarcia wyjścia do masy

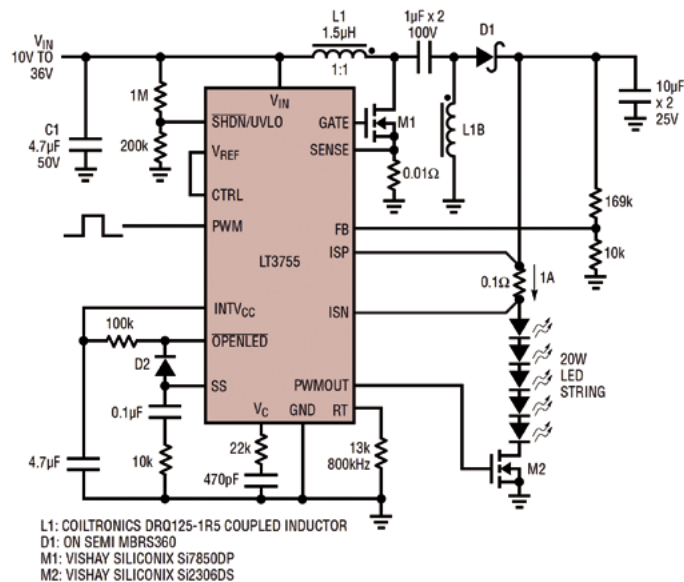


Rysunek 5. Prądy wyjściowe przetwornicy z rysunku 4 w zależności od współczynnika wypełnienia sygnału PWM; dostarczany prąd jest stabilny nawet przy częstotliwości sygnału PWM równej 33 kHz

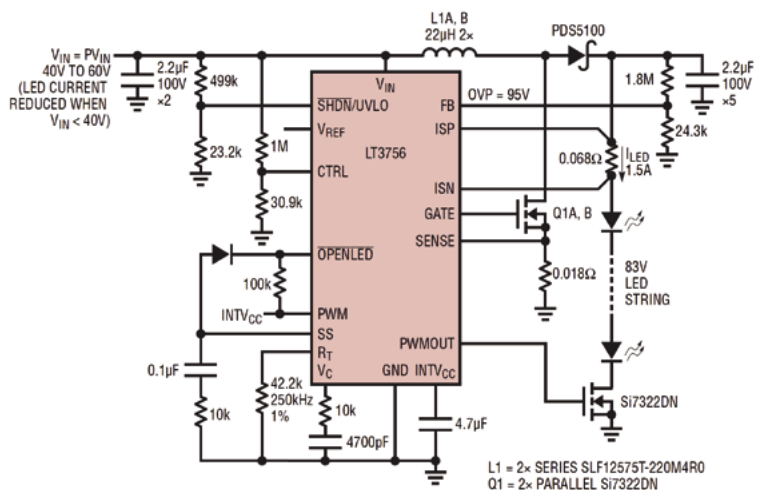
czemu świetnie sprawdzają się również w trudnych warunkach środowiskowych, tj. w motoryzacji i w przemyśle.

Marcin Karbowiczek, EP

Artykuł opracowano na podstawie materiałów firmy Linear Technologies.



Rysunek 6. „Niesłyszalna” przetwornica SEPIC o mocy 20 W do zasilania diod LED pozwalająca na 50-krotne ściemnianie z użyciem sterowania PWM



Rysunek 8. Przetwornica o mocy 125 W i sprawności 97%, podwyższająca napięcie, przeznaczona do zasilania dużych systemów oświetleniowych LED