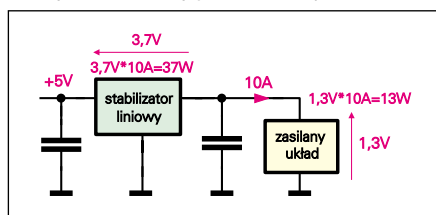


# Przetwornice synchroniczne

**Obecnie przetwornice impulsowe są stosowane coraz częściej i wypierają klasyczne zasilacze transformatorowe z kolejnych obszarów zastosowań.**

Stała tendencja do obniżania napięcia zasilającego układów elektronicznych stawia przed konstruktorami przetwornic coraz większe wymagania. W jednym z wcześniejszych numerów EdW omówiona była sprawa zasilania procesorów komputerowych. Współczesne procesory zawierają miliony tranzystorów, pracują przy częstotliwościach zegara taktującego większych niż 1000MHz i przy napięciu zasilającym niewiele większym od 1V pobierają już nie kilka, tylko kilkanaście, a nawet ponad 20 amperów prądu. Moc tracona w postaci ciepła w strukturze mikroprocesora może przekraczać 20W. Różne sposoby chłodzenia procesorów (patrz artykuł *Czy nadchodzi era lodówkokomputerów?* w EdW 10/2000 str. 89) zapewniają bezpieczną pracę procesora, a przy chłodzeniu struktury za pomocą ciekłego azotu, procesor może pracować przy częstotliwości taktowania nawet dwa razy większej od nominalnej, co oczywiście daje wzrost mocy obliczeniowej.

Stosowanie procesorów i innych elementów elektronicznych o bardzo niskich napięciach zasilania, a za to dużym poborze prądu, stawia przed konstruktorami zasilaczy szczególne wymagania. Przy niskich napięciach wyjściowych i dużych prądach wyjściowych nie mogą być stosowane klasyczne stabilizatory liniowe (o pracy ciągłej). **Rysunek 1** pokazuje przykładową sytuację przy zastosowaniu takiego stabilizatora. Jak widać, straty mocy w stabilizatorze byłyby prawie 3-krotnie większe, niż moc dostarczana do obciążenia. Sprawność jest zatrważająco mała i wynosi 26%.



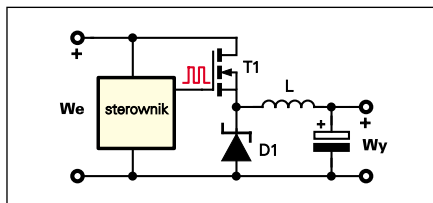
Rys. 1

Najgorszym problemem nie jest cena zamawianej energii. W wielu przypadkach można byłoby sobie pozwolić na taki koszt. A w dużych komputerach, na przykład klasycznych PC-tach, można się także uporać z odprowadzeniem tak dużych ilości ciepła.

Sytuacja znacznie komplikuje się w przypadku urządzeń przenośnych, np. laptopów.

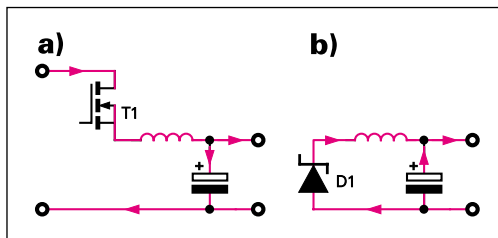
Tu możliwości chłodzenia są bardzo ograniczone i należy redukować wszelkie niepotrzebne straty. A jednym z większych problemów jest też czas pracy baterii (akumulatorów) w komputerach przenośnych. A czas ten zależy w istotnym stopniu od sprawności wewnętrznych stabilizatorów, obniżających napięcie baterii (zwykle 6...9V) do 5V, 3,3V, 2,7V, a ostatnio nawet 1,6...1,2V, zależnie od zastosowanego procesora.

Zastosowanie zasilaczy impulsowych (przetwornic) zdecydowanie polepsza sytuację. Przetwornice obniżające mają sprawność przekraczającą 90%, ale tylko wtedy, gdy napięcie wyjściowe nie jest bardzo niskie. W klasycznej przetwornicy obniżającej kluczową rolę odgrywają dwa elementy przełączające: tranzystor i dioda. Aby zmniejszyć straty z reguły stosuje się tu tranzystor MOSFET i diodę Schottky'ego – patrz **rysunek 2**.



Rys. 2

Gdy tranzystor jest otwarty, prąd płynie przez cewkę L i przez obciążenie. W cewce przy przepływie prądu gromadzi się energia – patrz **rysunek 3a**. Gdy tranzystor zostaje zamknięty, źródłem zasilania staje się cewka – energia w niej zmagazynowana przekazywana jest do obciążenia, a prąd płynie w obwodzie cewka – obciążenie – dioda. Ilustruje to **rysunek 3b**.



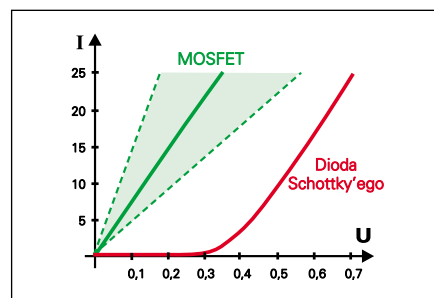
Rys. 3

Cewka i kondensator wyjściowy tworzą też filtr, dzięki któremu tętnienia napięcia wyjściowego są stosunkowo małe. Wartość napięcia wyjściowego można łatwo regulować przez zmianę współczynnika wypełnienia przebiegu sterującego bramką tranzystora MOSFET.

Główną przyczyną strat jest tu spadek napięcia na tranzystorze i diodzie, podczas ich

przewodzenia. Istotny wpływ ma również rezystancja cewki.

Zastosowany tranzystor powinien mieć jak najmniejszą rezystancję w stanie otwarcia ( $R_{DS(on)}$ ) i jak najlepsze charakterystyki dynamiczne. Należy też zastosować cewkę o małej rezystancji. Spełnienie tych wymagań nie jest specjalnie trudne: można zastosować tranzystor o rezystancji w stanie otwarcia 20...30 miliomów, a nawet mniejszej. Można też połączyć równolegle kilka tranzystorów. Przy małych napięciach wyjściowych główną przyczyną strat okazuje się wtedy spadek napięcia na diodzie Schottky'ego. Teoretycznie powinien on wynosić 0,3...0,4V, jednak w praktyce, przy dużych prądach może sięgać 0,6V, czy nawet 0,7V. Aby znacząco zredukować straty w tej diodzie, należy ją zastąpić... tranzystorem MOSFET. Spadek napięcia na (dobrze dobranym) otwartym tranzystorze jest mniejszy. Ilustruje to **rysunek 4**.

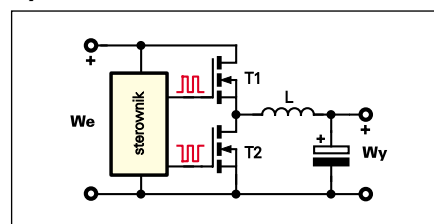


Rys. 4

Idea modyfikacji pokazana jest na **rysunku 5**. Uzyskuje się w ten sposób tak zwaną **przetwornicę synchroniczną**. Nietrudno zrozumieć zasadę pracy. Drugi tranzystor sterowany jest na przemian z pierwszym. Gdy przewodzi tranzystor T2, spadek napięcia na nim jest znacznie mniejszy, niż spadek napięcia na diodzie Schottky'ego. W rezultacie straty są znacznie mniejsze – sprawność przetwornicy znacząco rośnie.

Na pierwszy rzut oka wszystko jest jasne i proste. Wnikliwi Czytelnicy zauważą jednak w układzie kilka „haczyków” i postawią kilka ważnych pytań.

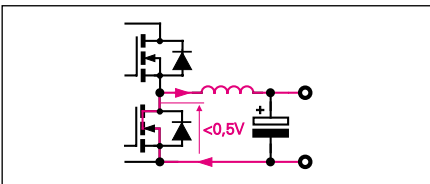
Rys. 5



### Szczegóły, szczegóły

Po pierwsze w tranzystorze MOSFET N prąd ma płynąć od drenu do źródła, a tu wygląda, że w tranzystorze T2 będzie odwrotnie. Po drugie każdy MOSFET ma pasożytniczą diodę, włączoną równoległe do kanału.

Rzeczywiście, prąd płynie przez otwarty tranzystor T2 „nieprawomyślnie”, od źródła do drenu. Jest to dopuszczalne i nie ma żadnych niekorzystnych konsekwencji. Podobna sytuacja występuje w tranzystorach polowych złączowych (JFET), gdzie nawet można bezkarnie zamieniać wyprowadzenia drenu i źródła. W MOSFET-ach nie dokonuje się podobnej zamiany ze względu na obecność pasożytniczej diody. Niemniej MOSFET zostaje otwarty dla przepływu prądu w obie strony przez podanie znacznego dodatniego napięcia na jego bramkę. Spadek napięcia na otwartym tranzystorze jest rzędu 0,05...0,4V, zależnie od wartości prądu. Tak mały spadek napięcia na przewodzącym tranzystorze nie dopuszcza do przepływu prądu przez pasożytniczą diodę zawartą w tym tranzystorze. Jest to „zwykła” dioda, więc przy napięciach w kierunku przewodzenia poniżej 0,5V, prąd przez nią praktycznie nie płynie. Ilustruje to rysunek 6.



Rys. 6

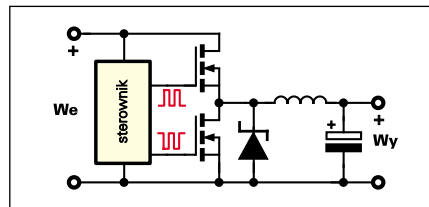
Jeszcze bardziej dociekliwi Czytelnicy niewątpliwie zwrócą uwagę na kolejne ograniczenia. W układzie z rysunków 4 i 6 trzeba skutecznie wykluczyć możliwość jednoczesnego przewodzenia obu tranzystorów nawet przez drobne ułamki sekund, bo oznaczałoby to możliwość ich uszkodzenia i duże straty energii. Jest to bardzo ważne, zwłaszcza ze względu na fakt, że poszczególne egzemplarze, a tym bardziej typy tranzystorów mają różne pojemności międzyelektrodowe i różne napięcia progowe, przez co czasy włączania i wyłączania będą różne. Aby wykluczyć możliwość przewodzenia obu tranzystorów nawet przez bardzo krótki czas, impulsy sterujące obu tranzystorów muszą być oddzielo-

ne niewielką przerwą, o czasie co najmniej kilkudziesięciu nanosekund.

Przerwa ta jest niezbędna ze względu na rozrzut parametrów tranzystorów, jednak jej wprowadzenie ma negatywne konsekwencje. Jak wiadomo, cewki „nie znoszą” przerw w przepływie prądu. Na otwarciu obwodu reagują powstaniem dużego napięcia samoindukcji. W tym przypadku podczas krótkiej przerwy, gdy oba tranzystory są zatkane, duże napięcie samoindukcji nie powstanie, ponieważ prąd popłynie przez pasożytniczą diodę tranzystora T2. Wydawałoby się, że jest to świetne rozwiązanie – w króciutkiej chwili po wyłączeniu tranzystora T1 prąd płynie przez wewnętrzną diodę MOSFET-a T2, a w chwilę potem otworzy się T2, pręjemie cały prąd i napięcie na tranzystorze radykalnie zmniejszy się.

Niestety, w obszarze tej pasożytniczej diody podczas przepływu prądu zostałyby zgromadzone stosunkowo duże ładunki, który później musiałby być usunięty, gdy T2 zostanie wyłączony. Pasożytnicza dioda MOSFET-a nie ma dobrych parametrów w tym zakresie, co zaowocowałoby powstaniem dodatkowych, zupełnie niepotrzebnych strat mocy w czasie odzyskiwania przez tę diodę właściwości zaworowych. Aby poprawić właściwości, w przetwornicy synchronicznej tego typu dodaje się równoległe do pasożytniczej diody MOSFET-a T2 diodę Schottky’ego, która jest szybsza, bo gromadzi znacznie mniej ładunku – patrz rysunek 7. Przewodzi ona tylko w bardzo krótkim okresie czasu, gdy oba tranzystory są zatkane, więc może to być dioda o małym prądzie średnim.

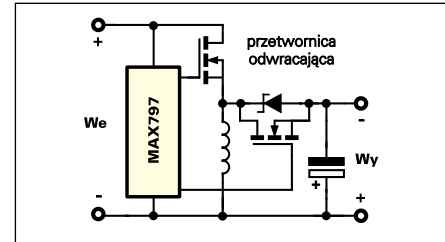
Rys. 7



Na podobnej zasadzie można zbudować inne odmiany przetwornic.

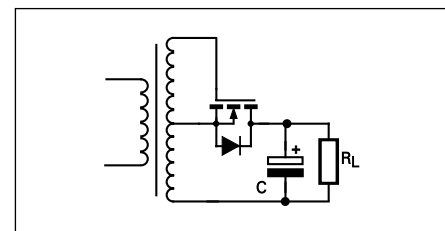
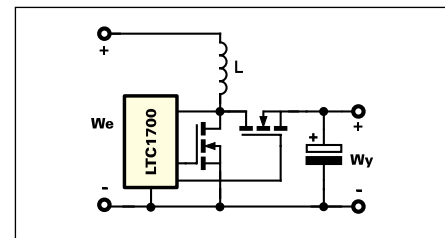
Bardzo uproszczone przykłady są pokazane na rysunkach 8 i 9. Więcej informacji na temat przetwornic synchronicznych można

znaleźć na stronach internetowych producentów przeznaczonych do tego układów scalonych. Oto kilka przykładów: Philips – TEA1207T, National Semiconductor – LM2651, Motorola – MC33470, Analog Devices – ADP3161, Linear Technology – LTC1700, IR (International Rectifier) – IR1175 czy Fairchild Semiconductor – FAN5240.



Rys. 8

Rys. 9



Rys. 10

Idea wykorzystania przewodzącego MOSFET-a może być zrealizowana nawet do prostowania napięcia z transformatora sieciowego. Przykład pokazuje rysunek 10. Obecnie pokazane sposoby okazują się ekonomicznie uzasadnione tylko w przetwornicach o najniższych napięciach wyjściowych, rzędu 1...3,3V.

Tomasz Fertak