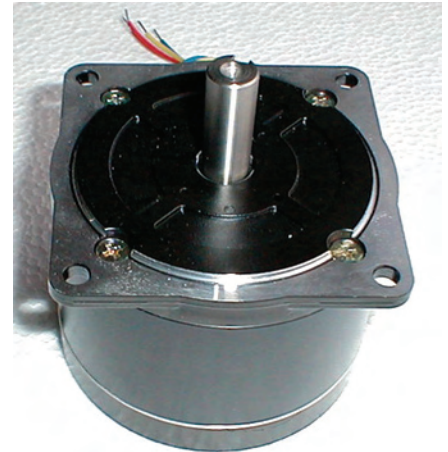


Nowoczesne sterowniki silników krokowych, część 2

Silniki krokowe są coraz częściej wykorzystywane we współczesnych urządzeniach elektronicznych. Postępująca miniaturyzacja, obniżanie kosztów zarówno silników jak i elektroniki sterującej, integracja sterowania w postaci jednego układu scalonego, to czynniki przyspieszające ten proces. Firma STMicroelectronics wychodząc naprzeciw rosnącemu zainteresowaniu silnikami krokowymi opracowała rodzinę układów sterujących o nazwie powerSpin. Niniejszy artykuł prezentuje tę rodzinę.



Rodzina powerSpin

Rodzina sterowników *powerSpin* składa się z ośmiu typów układów w dwóch grupach. Pierwsza grupa to elementy oznaczone L620x, gdzie $x=5, 6, 7$ lub 8 . Druga grupa jest oznaczona symbolem L622x. Wszystkie układy posiadają kilka cech wspólnych:

- stopień wyjściowy, to dwa pełne mostki H,
- mostki wyjściowe są wykonane w technologii DMOS, rezystancja kanału wynosi $0,3 \Omega$ (L620x) lub $0,73 \Omega$ (L622x),
- maksymalny prąd wyjściowy: $5,6 \text{ A}$ (L620x) lub $2,8 \text{ A}$ (L622x),
- napięcie zasilania $8...52 \text{ V}$ (logika oraz mostki wyjściowe),

- diody zabezpieczające stopień wyjściowy,
- zabezpieczenie przeciwko zwarciu stopnia wyjściowego (*cross-conduction*),
- zabezpieczenie termiczne,
- maksymalna częstotliwość pracy 100 kHz .

Poniżej omówiono poszczególne członków rodziny *powerSpin*.

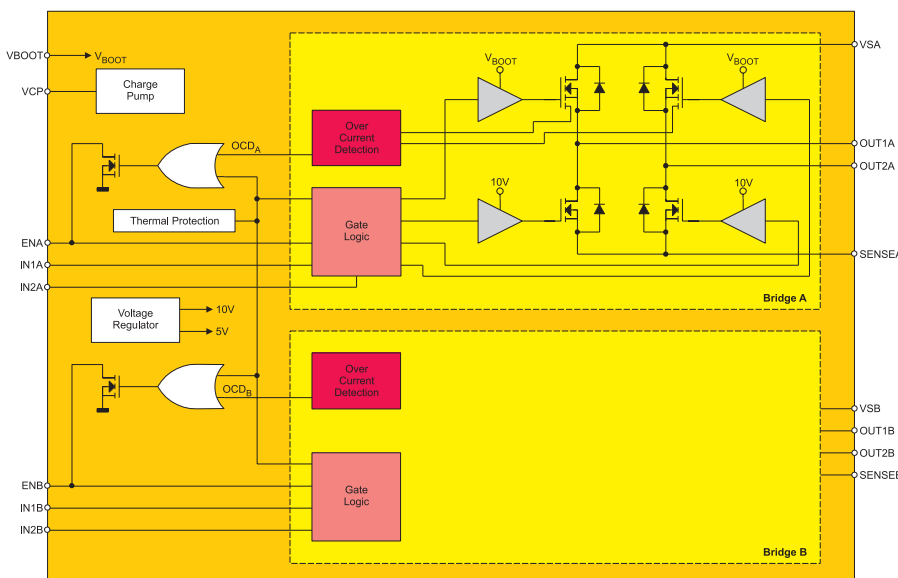
Układy L6205/L6225

Schemat blokowy tych układów pokazano na **rys. 8**. Jest to najprostszy element z rodziny, a co za tym idzie ma najmniejszą obudowę (SO20 lub DIP20). Układ ma na stałe ustawione zabezpieczenie nadprądowe na wartość $5,6 \text{ A}$ (L6205) lub $2,8 \text{ A}$ (L6225). Ponieważ za-

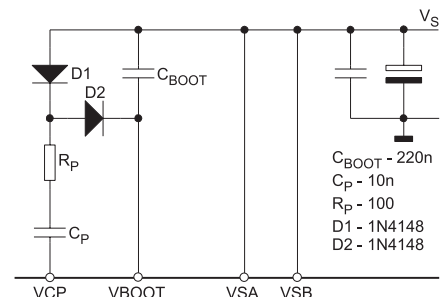
wiera kilka bloków wspólnych dla całej rodziny, to zostaną one omówione dokładniej.

Stopień wyjściowy składa się z dwóch pełnych mostków H wykonanych z tranzystorów DMOS. Każdy tranzystor jest zabezpieczony diodą umieszczoną równoległe do kanału. Do sterowania górnych tranzystorów wykorzystano napięcie wytwarzane przez wbudowaną pompę ładunkową. Do poprawnego działania potrzebuje ona 5 elementów zewnętrznych. Schemat połączeń wraz z listą elementów jest pokazany na **rys. 9**.

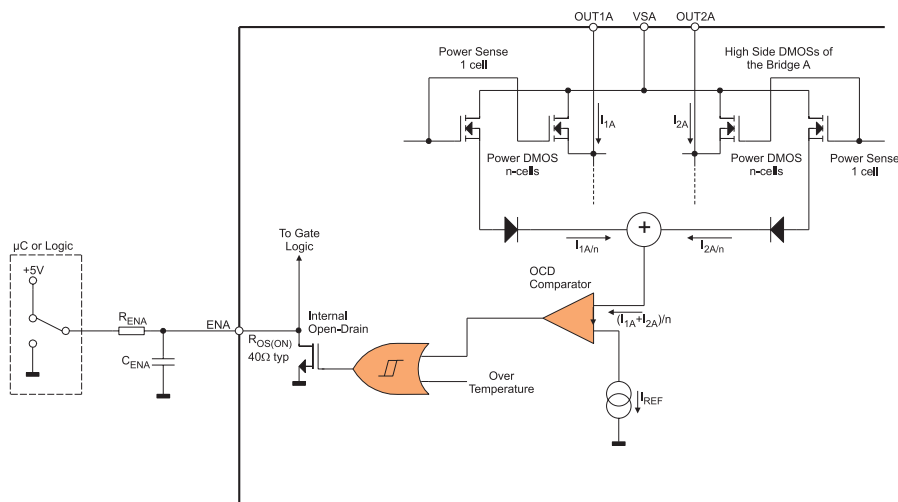
W celu optymalizacji prądu płynącego przez górne tranzystory mostka, każdy z nich został wykonany jako połączenie równoległe kilkunastu struktur. Jedną z nich jest dodatkowo wykorzystywana jako sensor prądu płynącego przez mostek. Ponieważ przez pojedynczą strukturę płynie bardzo mały prąd, to straty energii są również bardzo małe. Prądy płynące przez strukturę kontrolną w lewym i prawym



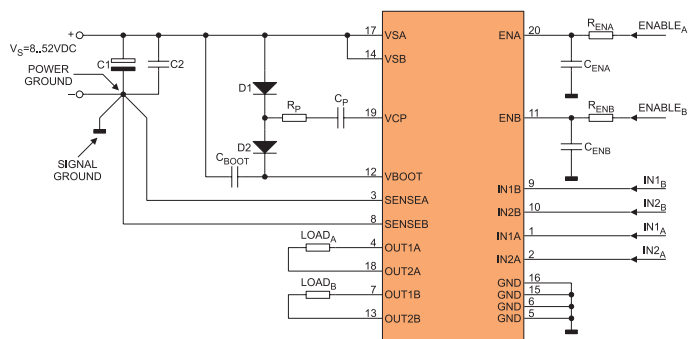
Rys. 8. Schemat wewnętrzny L6205/L6225



Rys. 9. Pompa ładunkowa



Rys. 10. Struktura zabezpieczenia nadprądowego



Rys. 11. Schemat aplikacyjny układu L6205/L6225

tranzystorze są sumowane i porównywane z prądem referencyjnym. Strukturę zabezpieczenia pokazano na **rys. 10**. Sygnał z komparatora jest sumowany z sygnałem z zabezpieczenia temperaturowego i poprzez tranzystor steruje linią $EN_{A/B}$. Pin ten pełni więc funkcję wejścia sterującego, ale również wyjścia informującego o stanie układu.

Na **rys. 11** pokazano kompletny schemat aplikacyjny układu L6205/L6225. Oprócz elementów pompy ładunkowej, należy dodać jeszcze filtr na pinach $EN_{A/B}$ oraz kondensatory filtrujące zasilanie $VS_{A/B}$. W podstawowej konfiguracji piny SENSE należy podłączyć jak najkrótszą ścieżką do masy. Do wyprowadzeń OUT1/2 należy dołączyć uzwojenia silnika to jak pokazano na schemacie. Sterowanie odbywa się poprzez piny $EN_{A/B}$ oraz IN1/2. Podanie stanu niskiego na wejście EN powoduje odcięcie danego wyjścia (stan wysokiej impedancji). W takim stanie tranzystory mostka są wyłączane. Prąd może jedynie płynąć przez diody zabezpieczające. Przy stanie wysokim na wejściu EN, cztery kombinacje na

wejściach IN1, IN2 powodują cztery możliwe wartości napięć na wyjściach OUT.

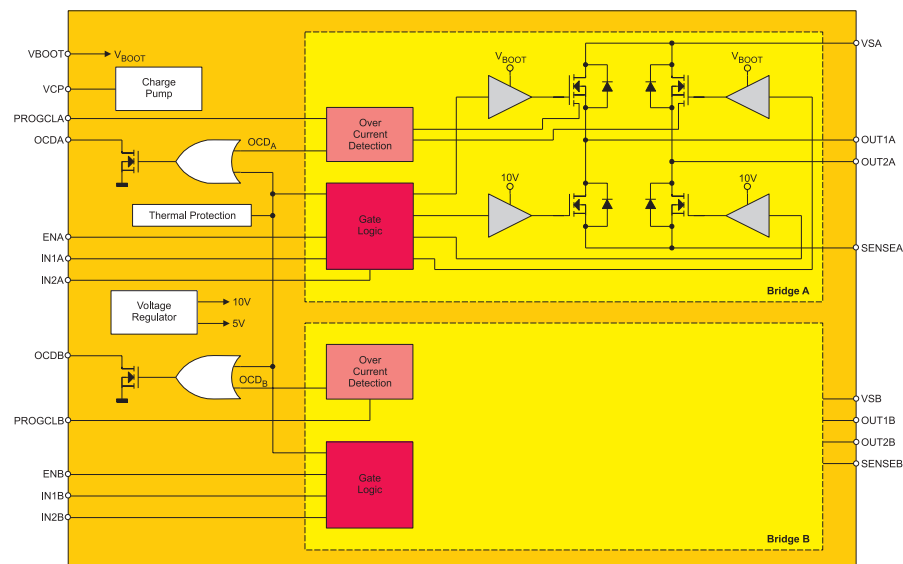
Układy L6206/L6226

Schemat blokowy tego elementu pokazano na **rys. 12**. Jedyną różnicą w stosunku do L6205/L6225 jest ustawiany w nich próg zadziałania zabezpieczenia nadprądowego. Detekcja prądu płynącego przez mostek odbywa się na takiej samej zasadzie jak poprzednio. Prąd referencyjny dla komparatora jest wytwarzany przez prosty układ oparty na wbudowanym wzmacniaczu operacyjnym oraz zewnętrznym

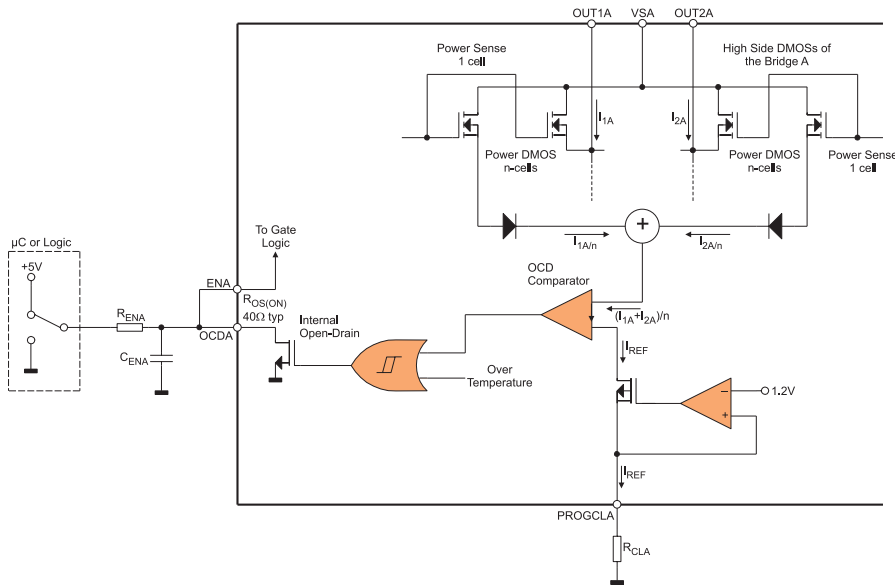
rezystorze. Schemat blokowy tego układu pokazano na **rys. 13**. Warto zwrócić uwagę na to, że dren tranzystora włączanego w przypadku zadziałania zabezpieczenia jest wyprowadzony na zewnątrz. Powinien być zwarty z wejściem $EN_{A/B}$. Wartość rezystora R_{CL} zwykle zawiera się w granicach 5...40 kΩ. Dołączenie pinu PROGCL do GND powoduje ustawienie zabezpieczenia na maksimum (2,8 lub 5,6 A).

Układy L6207/L6227

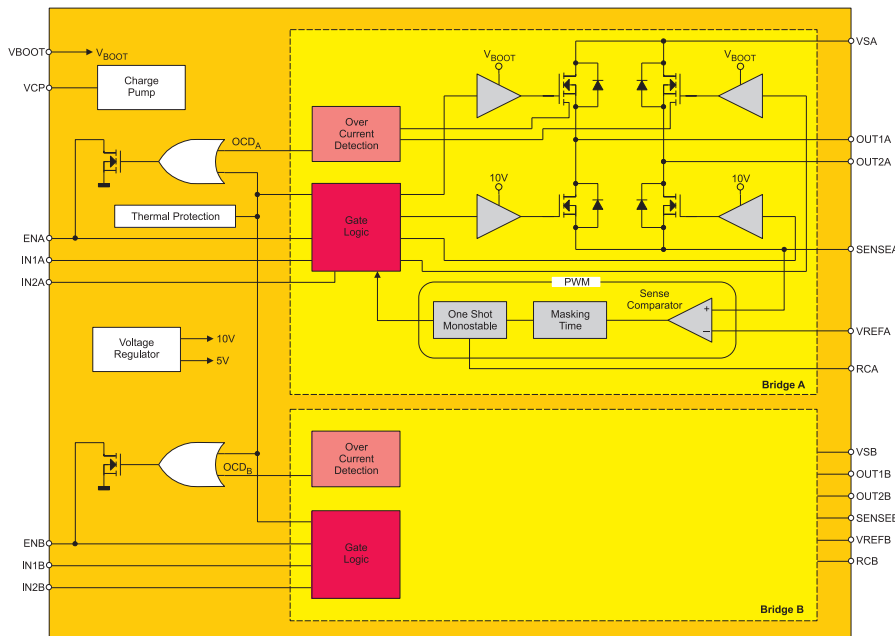
Schemat wewnętrzny układu pokazany jest na **rys. 14**. Stopień wyjściowy jest taki sam jak w poprzednich układach. Układ zabezpieczenia nadprądowego jest taki sam jak w L6205/L6225, czyli ustawiony na stałe (2,8 A lub 5,6 A). Jego zadaniem jest zabezpieczanie układu przed uszkodzeniem na skutek zwarcia. Do regulacji wartości prądu płynącego przez uzwojenia silnika służy układ PWM z zewnętrznym napięciem referencyjnym (**rys. 15**) pokazano schemat tego bloku. Inaczej niż w przypadku poprzednich układów, do końcówki $SENSE_{A/B}$ należy dołączyć rezystor R_{SENSE} (typowo 0,3 Ω), na którym odkłada się napięcie proporcjonalne do prądu płynącego przez mostek. Napięcie to jest porównywane przez wewnętrzny komparator z napięciem referencyjnym dostarczonym z zewnątrz (V_{REFA}/V_{REFB}). Oscylogramy wyjaśniające sposób działania pokazane są na **rys. 16**. Jeżeli napięcie V_{SENSE} stanie się większe niż V_{REF} , to następuje ustawienie przerzutnika RS.



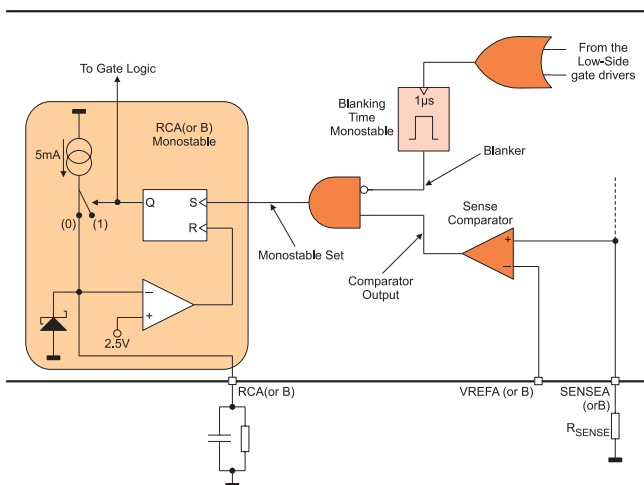
Rys. 12. Zabezpieczenie nadprądowe



Rys. 13. Schemat układów L6206/L6226



Rys. 14. Struktura układu L6207/L6227



Rys. 15. Schemat bloku PWM

nych tranzystorów jest niezmienny i zdefiniowany stałą czasową układu RC dołączonego do pinu $R_{C_{A/B}}$. Gdy kondensator rozładuje się wystarczająco (napięcie V_{RC} spadnie poniżej 2,5 V), następuje skasowanie przerzutnika RS. Powoduje to dołączenie wewnętrznego źródła prądowego 5 mA do układu RC i ponowne ładowanie tego układu. W tym momencie rozpoczyna się odliczanie czasu $1 \mu s$ – czas D (t_{DT}) na diagramie. Jeden z górnych tranzystorów zostaje wyłączony. Po upływie *dead time* następuje włączenie dolnego przeciwległego tranzystora. Jednocześnie na czas $1 \mu s$ (t_{BLANK} – *blanking time*) zostaje zablokowany komparator. Ma to na celu uniknięcie sytuacji, gdy włączenie dolnego tranzystora i spowodowany tym gwałtowny wzrost napięcia wyzwoliłyby ponownie przerzutnik. Po tym czasie układ wraca do stanu początkowego – obszar A. Oczywiście cała akcja zachodzi tylko wtedy, jeśli w danym momencie jeden z dolnych tranzystorów jest włączony.

Schemat aplikacyjny jest bardzo podobny do L6206/L6227.

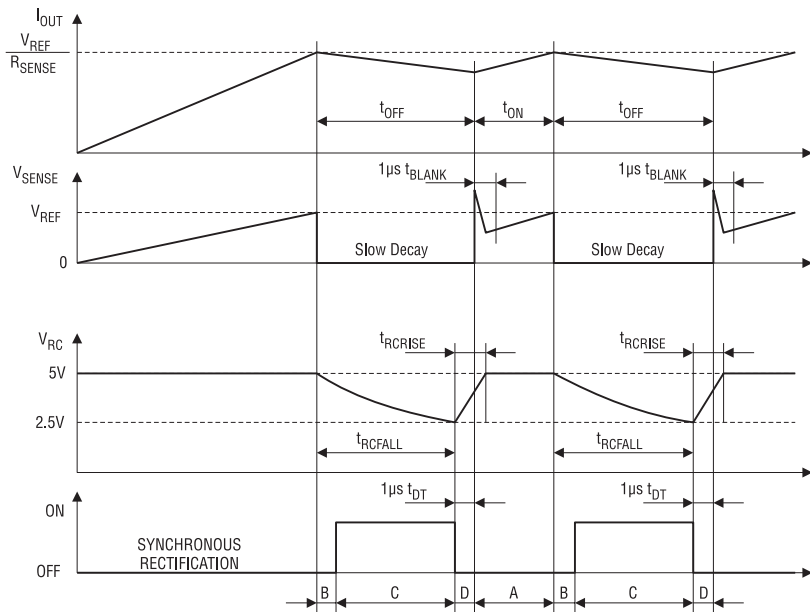
Układy L6208/L6228

Schemat blokowy tych układów pokazano na **rys. 17**. Układy te są najbardziej kompletnymi układami do sterowania silnikiem krokowym. Upraszczając można powiedzieć, że zawierają L6207 oraz układ generujący sygnały nim sterujące. Układ ten posiada 4 linie interfejsu do mikrokontrolera: HALF/FULL, CLOCK, RESET, CW/CCW.

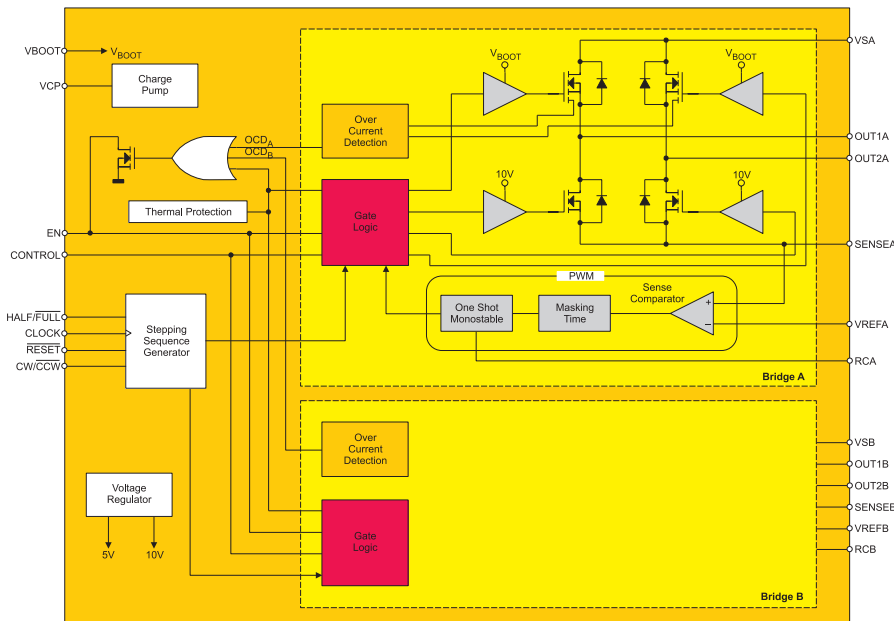
Linia CW/CCW służy do wyboru kierunku obrotów (*clockwise/counterclockwise*). Linia HALF/FULL z kolei wybiera tryb pracy: półkrokowy lub pełnokrokowy. Linia RESET kasuje rozpoczętą sekwencję i nakazuje generowanie sygnałów sterujących mostkiem od początku. Impulsy na linii CLOCK powodują przejście do następnej fazy sygnału w zależności od wybranego trybu pracy i kierunku obrotów. Przykład zależności tych linii pokazano na **rys. 18**. Po ustawieniu kierunku obrotów oraz trybu pracy, następuje RESET, który sprowadza automat do stanu początkowego. Następujące po nim kolejne impulsy na linii CLOCK powodują włączanie i wyłączanie odpowiednich tranzystorów w obydwu mostkach.

W tym momencie następuje wyłączenie dolnych tranzystorów.

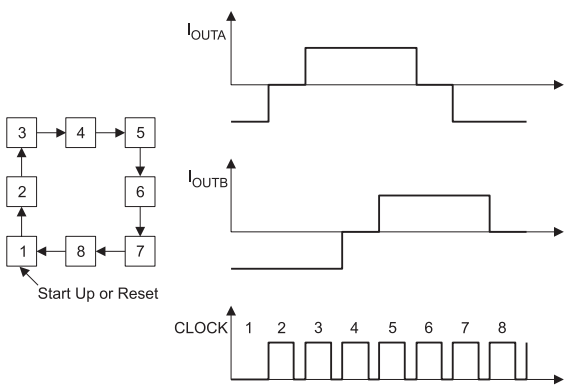
Rozpoczyna się przedział czasowy oznaczony literą B na diagramie. Po upływie $1 \mu s$ (*dead time*) następuje włączenie obydwu górnych tranzystorów (*synchronous rectification*). Oznaczone jest to literą C na diagramie. Czas wyłączenia dol-



Rys. 16. Działanie układu PWM



Rys. 17. Praca półkrokowa



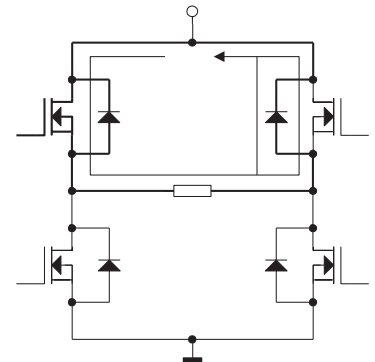
Rys. 18. Struktura układów L6208/L6228

Na rysunku pokazane są przebiegi prądu płynącego w uzwojeniach

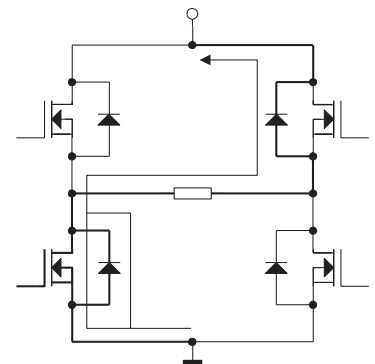
silnika, podłączonych do wyjść A oraz B. Układ zabezpieczenia nadprądowego, czy regulacja PWM działają identycznie jak przypadku L6207.

Osobnego omówienia wymaga linia CONTROL. Jej zadaniem jest określenie sposobu usuwania energii z uzwojeń silnika podczas fazy wyłączenia. Gdy na linii panuje stan wysoki, to wybrany jest tryb SLOW DECAY.

Identyczny tryb jest realizowany w przypadku L6207/L6227. W tym



Rys. 19. Konfiguracja stopnia mocy w trybie fast decay



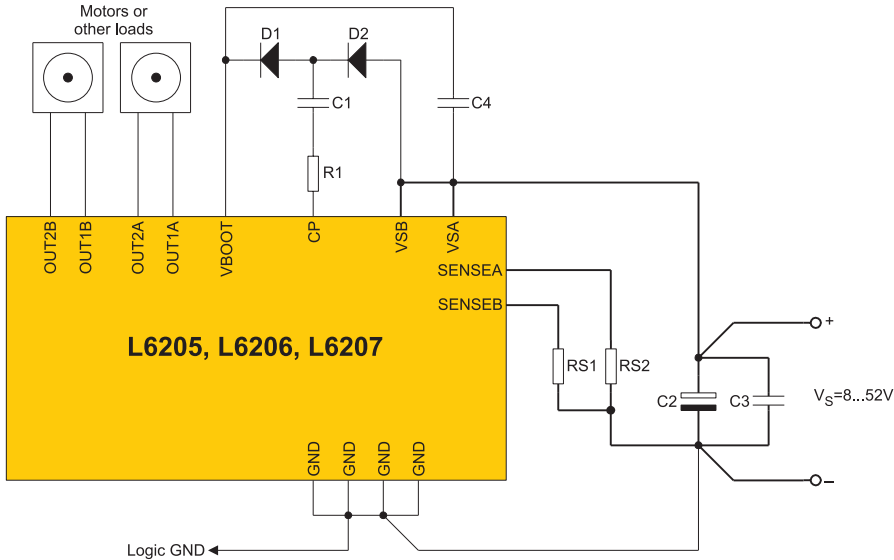
Rys. 20. Konfiguracja stopnia mocy w trybie slow decay

trybie podczas wyłączenia (zadziałanie przerzutnika RS), obydwie dolne tranzystory są wyłączone i prąd płynie tylko w górnej gałęzi mostka (rys. 19). Ponieważ spadek napięcia na uzwojeniu silnika jest relatywnie mały, to i prąd będzie mała powoli. W przypadku niskiego stanu linii CONTROL zostaje wybrany tryb fast decay. W tym trybie podczas wyłączenia mostka, zostaje wyłączona górna gałąź, a włączony jeden z dolnych tranzystorów. Ponieważ spadek napięcia na uzwojeniu silnika jest duży (równy napięciu zasilania), to i prąd będzie dosyć szybko malał. Pokazano to na rys. 20.

W tab. 1 zestawiono układy z rodziny powerSpin wraz z obudowami, w których występują. Wszystkie elementy są wykonywane w technologii bezołowiowej.

Uwagi aplikacyjne

Napięcie zasilania V_s wynosi dla całej rodziny 8...52 V. Jeżeli napięcie zasilania spadnie poniżej 6 V, układ zostaje automatycznie wyłączony. W celu ponownego włączenia napięcie V_s musi wzrosnąć powyżej 7 V. Z napięcia zewnętrznego, wewnętrzny stabilizator wy-



Rys. 21. Prowadzenie ścieżek

Tab. 1. Dostępne układy z rodziny powerSpin		
Wersja 5,6A	Wersja 2,8A	Obudowa
L6205	L6225	SO20, DIP20, PowerSO20
L6206	L6226	SO24, DIP24, PowerSO36
L6207	L6227	SO24, DIP24, PowerSO36
L6208	L6228	SO24, DIP24, PowerSO36

tworzą napięcia 5 V oraz 10 V. Napięcie 10 V służy zarówno do wysterowania dolnych tranzystorów, jak i do zasilania pompy ładunkowej w celu wysterowania tranzystorów górnych. Jak wiadomo rezystancja kanału tranzystora DMOS silnie zależy od napięcia V_{GS} . No-

minalna rezystancja kanału $0,3 \Omega$ lub $0,73 \Omega$ jest podawana dla napięcia V_{GS} nie mniejszego niż 10 V. Jeżeli zatem zasilimy układ napięciem 8 V, należy spodziewać się pewnego wzrostu R_{DSon} .

Na rys. 21 pokazano optymalny sposób poprowadzenia ścieżek. Należy zwrócić szczególną uwagę na sposób poprowadzenia ścieżek wysokoprądowych, w taki sposób aby przełączanie tranzystorów w mostku nie zakłócało układów logicznych. Ścieżka masy za rezystorami R_{SENSE} powinna być poprowadzona najkrótszą drogą i bezpośrednio do kondensatora odsprężającego (C2 na schemacie). Równoległe do jego wyprowadzeń zaleca się umieścić dobrej jakości kondensator cera-

miczny lub tantalowy $100...200 \text{ nF}$. Obydwa kondensatory powinny być połączone możliwie krótkimi ścieżkami do zacisków zasilania i masy. Ścieżki masy sygnałowej powinny być połączone w jednym miejscu do masy mocowej. Najlepiej na zaciskach kondensatora magazynującego.

Szczegółową analizę tematu można znaleźć w nocie aplikacyjnej AN1762 (ST).

Narzędzia uruchomieniowe

Firma STMicroelectronics opracowała zestaw płyt demonstracyjnych dla każdego elementu z rodziny powerSpin. Element wykonawczy znajduje się na płytce oznaczonej EVAL62xx. Do drugiej strony płytki podłącza się silnik krokowy, zasilanie układu a z drugiej płytkę kontrolną EVALpractiSPIN. Płytkę kontrolną łączy się z komputerem typu PC poprzez łącze szeregowo. Na fot. 22 pokazano przykładowy zestaw EVAL6205N + EVALpractiSPIN. Sterowanie silnikiem odbywa się z komputera PC za pomocą dedykowanego oprogramowania zawartego z zestawem razem z płytką practiSpin.

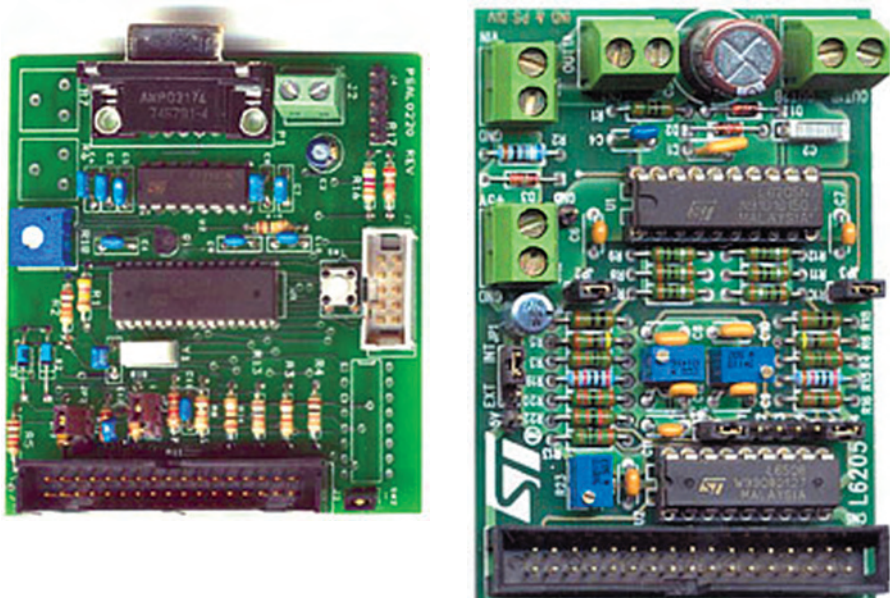
Podsumowanie

Rodzina elementów powerSpin dzięki swym unikalnym właściwościom i daleko posuniętej integracji ma szansę stać się wkrótce standardem w dziedzinie elementów dedykowanych do sterowania silnikami krokowymi. W Internecie, pod adresem www.st.com/powerspin, można znaleźć zarówno dane katalogowe elementów, noty aplikacyjne, schematy oraz rysunki PCB płyt demonstracyjnych, listę pytań i odpowiedzi (FAQ), jak i darmowe oprogramowanie do sterowania płytą practiSpin. O próbki elementów i płytki demonstracyjne można pytać u autoryzowanego dystrybutora firmy STMicroelectronics.

Przedstawiona powyżej rodzina elementów powerSpin jest stale rozbudowywana i należy się wkrótce spodziewać nowych elementów. Jak tylko się pojawią, to z całą pewnością zostaną opisane na łamach Elektroniki Praktycznej.

Jerzy Baratowicz, ST

Artykuł powstał na podstawie materiałów firmy STMicroelectronics.



Fot. 22. Zestaw płyt demonstracyjnych