

Sterowniki silników krokowych firmy TRINAMIC, część 1

Ofertę TRINAMIC można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- Mostkowe stopnie wyjściowe mocy,
- Specjalizowane kontrolery ruchu,
- Kompletnie sterowniki, zawierające kontroler i stopień mocy w jednej kostce.

Wspólną cechą dla wszystkich układów są wbudowane interfejsy szeregowo i możliwość pracy w rozbudowanych systemach, sterujących większą liczbą silników krokowych.

Dodatkowo w wybranych układach zastosowano unikalny system bezczujnikowego wykrywania przeszkód i pomiaru obciążenia silnika StallGuard.

Mostkowe stopnie wyjściowe mocy

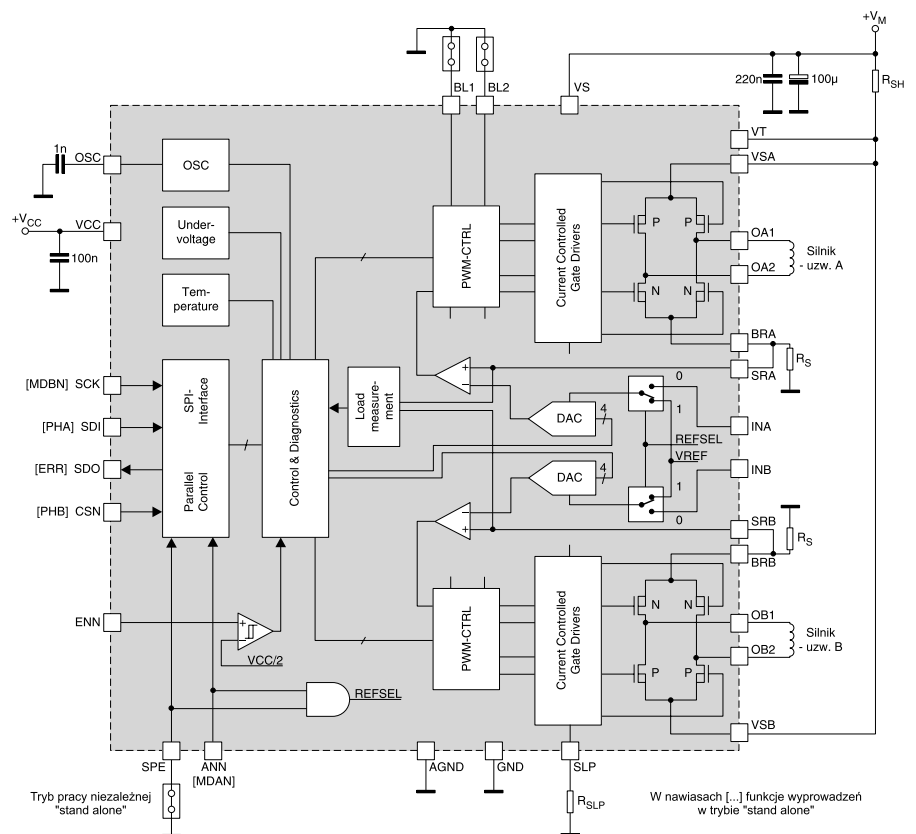
Aktualnie produkowane są 4 typy układów: TMC236, TMC246, TMC239, TMC249. Układy z końcówką numeru „6” zawierają po dwa mostki wyjściowe typu H o prądzie wyjściowym do 1,5 A i napięciu zasilania 7...28,5 V, natomiast TMC2x9 są przystosowane do sterowania zewnętrznymi tranzystorów mocy MOSFET. Między układami TMC236 i 246 istnieje pełna zgodność funkcji wyprowadzeń *pin-to-pin*, analogicznie jest dla TMC239 i 249. Różnica polega na tym, że układy TMC246 i 249 są dodatkowo wyposażone w system detekcji przeszkód StallGuard.

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy i aplikację układu TMC246. Układ posiada następujące funkcje i parametry charakterystyczne:

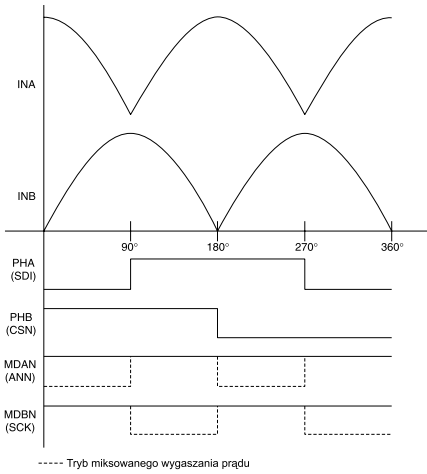
- Dwa mostki wyjściowe typu H do bipolarnego sterowania prądem uzwojeń. W mostkach zastosowano komplementarne tranzystory nMOS i pMOS o małej rezystancji kanału, układ nie wymaga stosowania radiatora. Prąd wyjściowy jest regulowany poprzez modulację PWM.
- Interfejs szeregowy SPI (piny SCK, SDI, SDO, CSN). Sterowanie za pomocą SPI polega na wysyłaniu 11-bitowych słów, zawierających



Niemiecka firma TRINAMIC Microchips oferuje szeroką gamę specjalizowanych układów scalonych - sterowników silników krokowych. Właściwości tych układów są na tyle interesujące, że zasługują na szersze omówienie.



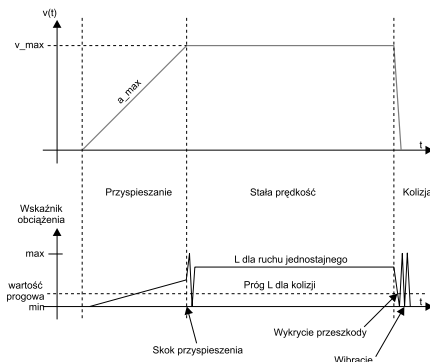
Rys. 1. Schemat blokowy i aplikacja układu TMC246



Rys. 2. Przebiegi charakterystyczne dla różnych trybów pracy układu TMC2x6

wartość prądu wyjściowego, kierunek przepływu oraz tryb wygaszania prądu dla każdego mostka.

- Układ sterowania prądem wyjściowym (blok PWM-CTRL) współpracuje z 4-bitowymi przetwornikami C/A. Regulacja prądu odbywa się poprzez porównanie spadku napięcia na rezystorach R_s z wartością na wyjściu C/A (zadaną poprzez interfejs SPI). Rozdzielczość 4-bitowa przetworników pozwala na pracę mikrokrokową z szesnastoma mikrokrokami. Nachylenie zboczy impulsów PWM może być regulowane wartością rezystora dołączonego do wejścia SLP w celu ograniczenia emisji zakłóceń. Częstotliwość impulsów PWM ustala kondensator na wejściu OSC.
- Możliwość pracy w trybie miksowanego wygaszania prądu. W skrócie polega to na zamiennym wygaszaniu prądu poprzez diodę regeneracyjną lub poprzez załączenie górnego tranzystora. Tryb miksowanego wygaszania prądu zmniejsza efekt rezonansowy i poprawia płynność pracy silnika w zakresie średnich prędkości obrotowych. Przy dużych



Rys. 3.

obrotach oraz w stanie spoczynkowemu silnika tryb ten powinien być wyłączony.

- Rozbudowany układ diagnostyczny (blok *Control & Diagnosis*) sygnalizujący stany awaryjne: zwarcie i rozwarcie wyjść mocy, zbyt niskie napięcie zasilania, przegrzanie układu (dwuprogowo – ostrzeżenie i alarm). Poszczególne stany awaryjne ustawiają odpowiednie bity w słowie stanu, które może być odczytane przez SPI.
- Część cyfrowa układu może być zasilana napięciem 5 V lub 3,3 V.
- System detekcji kolizji i pomiaru obciążenia silnika StallGuard (blok *Load measurement* na rys. 1). Jest to jedyna różnica między schematem blokowym układów TMC236 i 246.

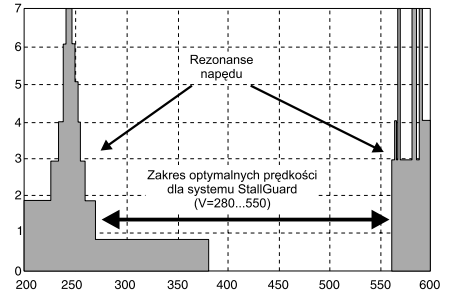
Istnieje także możliwość wyłączenia interfejsu SPI i analogowego sterowania prądem wyjściowym – tzw. tryb pracy niezależnej. Uaktywnienie tego trybu następuje poprzez zwarcie do masy wejścia SPE. Wtedy zmieniają się funkcje niektórych wejść układu (symbole podane na rys. 1 w nawiasach [...]) w następujący sposób:

- Wejścia PHA i PHB sterują kierunkiem przepływu prądu wyjściowego mostków A i B (np. stan niski PHA – kierunek od OA1 do OA2).
- Wejścia MDAN i MDBN uruchamiają tryb miksowanego wygaszania prądu dla mostków A i B (stan niski – tryb wyłączony).
- Wejścia INA i INB służą do napięciowego sterowania prądem uzwojeń, np. napięcie 2 V na INA odpowiada prądowi wyjściowemu wywołującemu spadek napięcia 0,34 V na R_s .

Praca w trybie niezależnym umożliwia uzyskanie dowolnie dużej rozdzielczości mikrokroków, także sterowanie sinusoidalne (rys. 2). Przebiegi zaznaczone linią przerywaną dotyczą pracy z aktywnym trybem miksowanego wygaszania prądu (dla średnich prędkości).

System bezczujnikowego wykrywania przeszkód StallGuard

W klasycznym układzie napędowym z silnikami krokowymi nie ma możliwości wykrycia najechania na przeszkodę lub przeciążenia silnika, co może prowadzić do gubienia kroków lub awarii napędu. W celu rozwiązania tych problemów stosuje się sterowniki z zamkniętą pętlą sprzę-

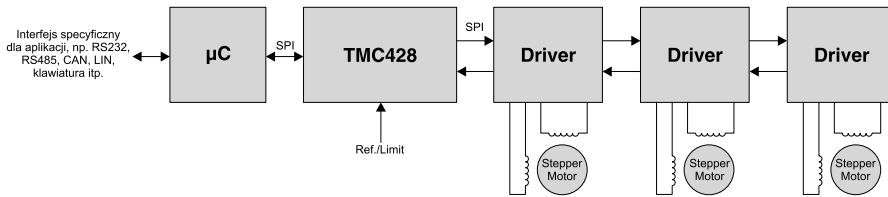


Rys. 4.

żenia i czujnikami pozycji (enkodery, czujniki optyczne, magnetyczne itp.). Opatentowany przez firmę Trinamic system pomiaru obciążenia silnika StallGuard wykorzystuje jako czujnik sam silnik krokowy. Działanie systemu oparte jest na pomiarze zwrotnej siły elektromotorycznej, generowanej w uzwojeniach podczas pracy silnika. Odczyt obciążenia dostępny jest w formie trzybitowego wskaźnika obciążenia L. Im większe obciążenie – tym niższa jest wartość wskaźnika L. Aktualizacja wskaźnika następuje raz na pełen krok silnika, a jego wartość zależy od następujących parametrów:

- Prędkości obrotowej silnika: im większa prędkość tym wyższy wskaźnik obciążenia.
- Rezonansów silnika: w obszarze rezonansu następuje gwałtowny wzrost obciążenia dynamicznego silnika. Zmierzona wartość obciążenia w tym obszarze może nie być dokładna, ale pozwala wykryć rezonans.
- Przyspieszenia silnika: w czasie przyspieszania następuje wzrost obciążenia dynamicznego, zmiany przyspieszenia wywołują skokowe zmiany współczynnika L.
- Trybu wygaszania prądu: dla poprawnej pracy systemu StallGuard konieczne jest wyłączenie trybu miksowanego wygaszania. Jeżeli miksowane wygaszanie jest aktywne w momencie przejścia przez zero prądu uzwojenia, to wartość wskaźnika maleje.





Rys. 5.

Cyfrowa postać wskaźnika obciążenia L pozwala na bezpośrednie wykorzystanie go przez procesor sterujący napędem.

Rys. 3 przedstawia wykres obrotów silnika w różnych fazach ruchu i odpowiadające im wartości wskaźnika obciążenia. Zdefiniowanie przez użytkownika wartości progowej obciążenia dla przeszkody pozwala na wykrywanie kolizji, wibracji i skoków przyspieszenia.

Procesor sterujący interpretuje aktualną wartość wskaźnika i reaguje odpowiednio do sytuacji – np. zatrzymanie silnika, zmiana kierunku, sygnalizacja awarii. System StallGuard może mieć wiele zastosowań, oto kilka przykładów:

- Wyłączniki bezpieczeństwa. Po wykryciu kolizji z przeszkodą następuje zatrzymanie napędu i ewentualnie wycofanie na pozycję początkową. Rozwiązanie przydatne na przykład do elektrycznie podnoszonych szyb samochodowych.
- Znajdowanie pozycji zerowej napędu koordynacyjnego. Zamiast czujnika krańcowego wystarczy zderzak mechaniczny. Po dojechaniu do pozycji początkowej system wykrywa kolizję i przyjmuje ten punkt jako koordynatę zerową. Kontrola może być też dwupunktowa – w obu skrajnych pozycjach napędu.
- Pozycjonowanie narzędzia względem obrabianego obiektu w obrabiarzach numerycznych. Wystarczy dojechać powoli narzędziem do obiektu i zarejestrować moment kolizji. Wielokrotne powtórzenie tej operacji w trzech osiach XYZ pozwoli na dokładne zorientowanie w przestrzeni obrabianego obiektu i ustalenie punktów referencyjnych.
- Wykrywanie wibracji napędu i gwałtownych skoków obciążenia, które mogą skutkować zgubieniem kroku. W przypadku stwierdzenia zakłóceń napęd przerywa pracę i kontroler wykonuje procedurę kalibracji wg pkt. b)
- Pomiar częstotliwości rezonanso-

wych. Częstotliwość rezonansowa jest szkodliwym zjawiskiem, występującym w napędach z silnikami krokowymi. Na etapie projektowania napędu trudno teoretycznie przewidzieć jej wartość. System StallDetection pozwala na zdiagnozowanie napędu, pomiar rezonansów i określenie obszaru optymalnych prędkości obrotowych. Firma Trinamic oferuje bezpłatny program StallGuard Profiler (współpracujący z zestawami ewaluacyjnymi TMC428/TMC246), który potrafi wykonać pełną diagnostykę napędu i wykreślić charakterystykę rezonansową (**rys. 4**).

f) Rozwinięciem pomysłu z pkt e) może być „uczący się” kontroler napędu. Po pierwszym uruchomieniu

ni kontroler tworzy i zapamiętuje „mapę” rezonansów napędu. Potem, przy normalnej pracy kontroler może omijać częstotliwości rezonansowe zapewniając płynną i bezawaryjną pracę silnika.

Wszystko to (i jeszcze więcej) można zrealizować bez kosztownych enkoderów, czujników zerowych, bez dodatkowych układów i programów obróbki sygnałów z czujników.

Specjalizowane kontrolery ruchu

Należące do tej grupy układy TMC428 i TMC453 pod względem funkcjonalnym są specjalizowanymi mikrokontrolerami z wbudowanym oprogramowaniem sterującym silnikami krokowymi. Poza generowaniem podstawowych sekwencji sterowania uzwojeniami, kontrolery te realizują także procedury przyspieszania i hamowania silnika według zadanej charakterystyki, pozycjonowania, regulacji prędkości obrotowej. Dzięki temu jako główny procesor systemu można zastosować tani 8-bitowy mikrokontroler i realizować skomplikowane procedury sterowania napędem,

www.silniki.pl

SILNIKI KROKOWE

- 2 fazowe hybrydowe 1.8° 1 Ncm- 30 Nm
rozmiary 25mm, 35mm, 39mm, 42mm,
56mm, 85mm, 110mm

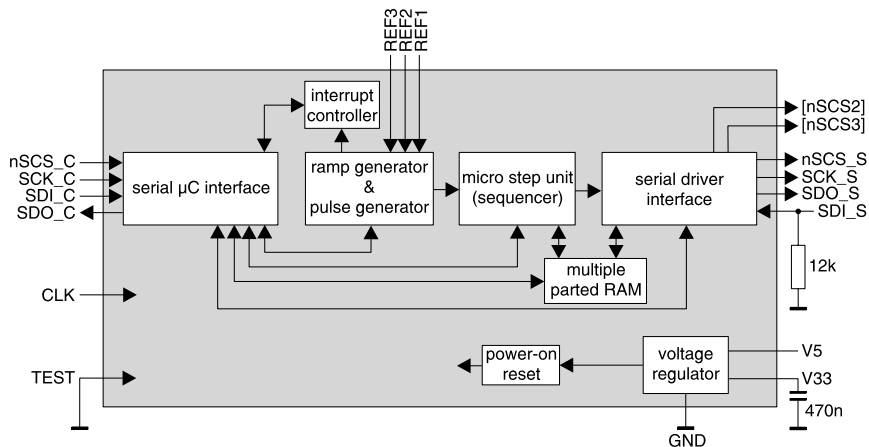
- 3 fazowe hybrydowe 50Ncm do 6,3Nm
rozmiary 56mm, 85mm

- 5 fazowe hybrydowe 14Ncm do 6,3Nm
rozmiary 42mm, 56mm, 85mm

- układy scalone mocy dla sterowników krokowych
- stopnie sterujące i kompletne końcówki mocy
- układy kontroli ruchu dla silników krokowych

www.wobit.com.pl

P.P.H. WOBIT WITOLD OBER
61-474 POZNAŃ UL. GRUSZKOWA 4
TEL. +48 61 8350-620, -800
FAX. +48 61 8350-704, -804



Rys. 6.

które normalnie wymagałyby użycia wydajnego procesora DSP.

Jako stopnie mocy mogą być stosowane mostki Trinamic TMC23x i TMC24x lub standardowe układy mostkowe innych producentów (dostępne są noty aplikacyjne, dotyczące zasad łączenia kontrolerów ze stopniami mocy produkcji Allegro Micro, ST, National).

Użyte w opisach pojęcia z zakresu pozycjonowania i stabilizacji prędkości były dokładniej opisane w artykule o silnikach (Kurs – EP6/2004).

Kontroler TMC428 może sterować trzema silnikami krokowymi 2-fazowymi. Układ wyposażony jest w interfejs szeregowy SPI do komunikacji z procesorem nadrzędnym oraz potrójny wyjściowy interfejs SPI do sterowania układami wykonawczymi. Typowa konfiguracja systemu z kontrolerem TMC428 jest przedstawiona na rys. 5. Ciekawym rozwiązaniem jest wydzielenie osobnej szyny SPI dla stopni mocy, dzięki temu kontroler 428 jednocześnie pełni funkcję podrzędną „slave” dla procesora

głównego oraz nadrzędną „master” dla układów wyjściowych. Układ składa się z kilku podstawowych bloków funkcjonalnych (rys. 6):

- Interfejsy szeregowy SPI: wejściowy i wyjściowy zapewniają komunikację układu z otoczeniem. Interfejs wyjściowy może być programowo skonfigurowany do współpracy z różnymi typami driverów mocy.
- Zespół generatorów sterujących: generator trajektorii przyspieszania/hamowania oraz generator impulsów kroku. Generatory współpracują z programowanymi rejestrami pozycji, prędkości i przyspieszenia. Zmiana pozycji napędu wymaga wpisania do odpowiednich rejestrów parametrów ruchu (prędkość, przyspieszenie), następnie wpisania docelowej pozycji do 24-bitowego rejestru pozycji. Dla prędkości i pozycji są osobne rejestry wartości aktualnej i docelowej, odczyt rejestrów pozwala w każdej chwili określić stan silnika i funkcję realizowaną przez kontroler. Układ może współpracować z trzema czujnikami krańcowymi – po jednym dla każdego silnika (wejścia REF1...REF3) oraz ma wbudowaną funkcję poszukiwania punktu referencyjnego.
- Blok sterowania pracą mikrokrokową generuje sekwencje impulsów do pracy mikrokrokowej. W zależności od możliwości zastosowanego drivera mocy, można uzyskać do 64 mikrokroków o programowanej charakterystyce obwiedni prądu (sinus, trapez, trójkąt). Liczba mikrokroków i kształt obwiedni konfiguruje się poprzez wpisanie wartości do odpowiednich rejestrów kontrolnych. Sekwencje impulsów sterujących są przesyłane do drivera mocy w postaci binar-

nej poprzez łącze SPI.

- Wieloportowa pamięć RAM służy jako bank rejestrów konfiguracyjnych. Każdy z trzech silników posiada swój zestaw rejestrów (m.in. prędkości przyspieszenia, pozycji), oprócz tego są rejestry parametrów globalnych (np. konfiguracja wyjściowych portów SPI, maska przerwań, tryb pracy wejść REF1...REF3). Poza tym pamięć spełnia funkcję buforowania i kolejowania komend i komunikatów przesyłanych do/z driverów mocy. Ze względu na sekwencyjną komunikację kontrolera z driverami mocy istnieje możliwość ustawienia priorytetów dla poszczególnych silników, wtedy komendy o niskim priorytecie są buforowane w pamięci RAM.

- Kontroler przerwań: przerwania mogą być generowane przez wystąpienie określonych zdarzeń, np. osiągnięcia zaprogramowanej pozycji docelowej, impuls z czujnika krańcowego.

Kontroler TMC428 może pracować w jednym z czterech trybów:

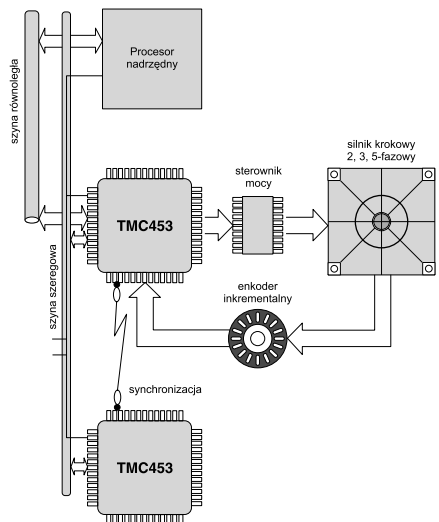
- Regulacja prędkości, zmiana prędkości następuje liniowo,
- Pozycjonowanie, stosowana jest trapezoidalna trajektoria ruchu,
- Precyzyjne pozycjonowanie, tryb zbliżony do poprzedniej lecz z wykładniczą trajektorią dochodzenia do wyznaczonej pozycji,
- Sterowanie bezpośrednio, obroty silnika są sterowane bezpośrednio przez procesor nadrzędny, zaprogramowane parametry ruchu są ignorowane.

Kontroler TMC453 steruje tylko jednym silnikiem, ale za to może być stosowany z silnikami krokowymi 2-fazowymi, 3-fazowymi i 5-fazowymi. Możliwości tego kontrolera są jeszcze większe niż TMC428 – jest to w pełni oprogramowany, wysokiej klasy kontroler pozycjonujący i sterujący prędkością obrotową. Może współpracować z silnikami krokowymi o uzwojeniach unipolarnych i bipolarnych, w odróżnieniu od TMC428 - stopień wyjściowy mocy jest sterowany bezpośrednio a nie poprzez szynę szeregową. Schemat systemu sterowania z układem TMC453 przedstawia rys. 7.

Jacek Przepiórkowski

Dodatkowe informacje

Więcej informacji na temat oferty firmy
Trinamic można znaleźć na stronie
<http://www.trinamic.com>.



Rys. 7.