

Sterowanie i regulacja w układach napędowych

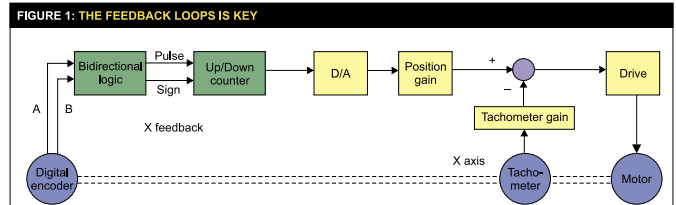
Istnieje wiele możliwości sterowania i regulacji ruchu. W najbardziej podstawowych zastosowaniach silnik włączany jest jednym przyciskiem, a wyłączany drugim. W bardziej zaawansowanych systemach brane są pod uwagę charakterystyki napędu i wykorzystywane złożone algorytmy. Dodatkowo różne typy silników i napędów charakteryzują się różnymi parametrami, co powoduje, że zależnie od aplikacji stosowane są różne metody sterowania i regulacji.

Sterowanie ruchem odbywa się w wielu aplikacjach przemysłowych w podobny sposób. Sygnał generowany przez przycisk start może być przetwarzany przez sterownik PLC lub dodatkowe urządzenia, takie jak np. czujniki sensoryczne, które mogą rozszerzać funkcjonalność przycisków start/stop. Bardziej zaawansowane metody dotyczą sterowania pozycją lub prędkością oraz określają punkt końcowy lub dystans, jaki ma przebyć dany element układu napędowego. Ponadto kontrolowane mogą być jednoczesne przemieszczenia w dwóch lub trzech osiach, w celu osiągnięcia ruchu w wielowymiarowej przestrzeni.

Poniżej omówione zostały sposoby realizacji precyzyjnego sterowania, do których zalicza się m.in. przekazywanie rozkazów sterujących i graficzne opisywanie trajektorii. Stosowane w takich przypadkach urządzenia wykonawcze mogą być jednoosiowe, trójosiowe lub występować np. w postaci zaawansowanych 5-osiowych systemów sterujących np. elementami robota. Natomiast algorytm sterujący definiuje ruch w każdej osi i oblicza jego trajektorię w czasie.

Sprzężenie zwrotne

Pętla sprzężenia zwrotnego jest kluczowym elementem precyzyjnej regulacji ruchu. Na **rysunku 1** przedstawiono pętlę sprzężenia zwrotnego z cyfrowym enkoderem obrotowym dostarczającym dwa ciągi impulsów określone jako A i B. Są one przekazywane do dwukierunkowego elementu logicznego, z którego trafiają do licznika. Sygnał z licznika jest przekazywany do przetwornika C/A, który generuje



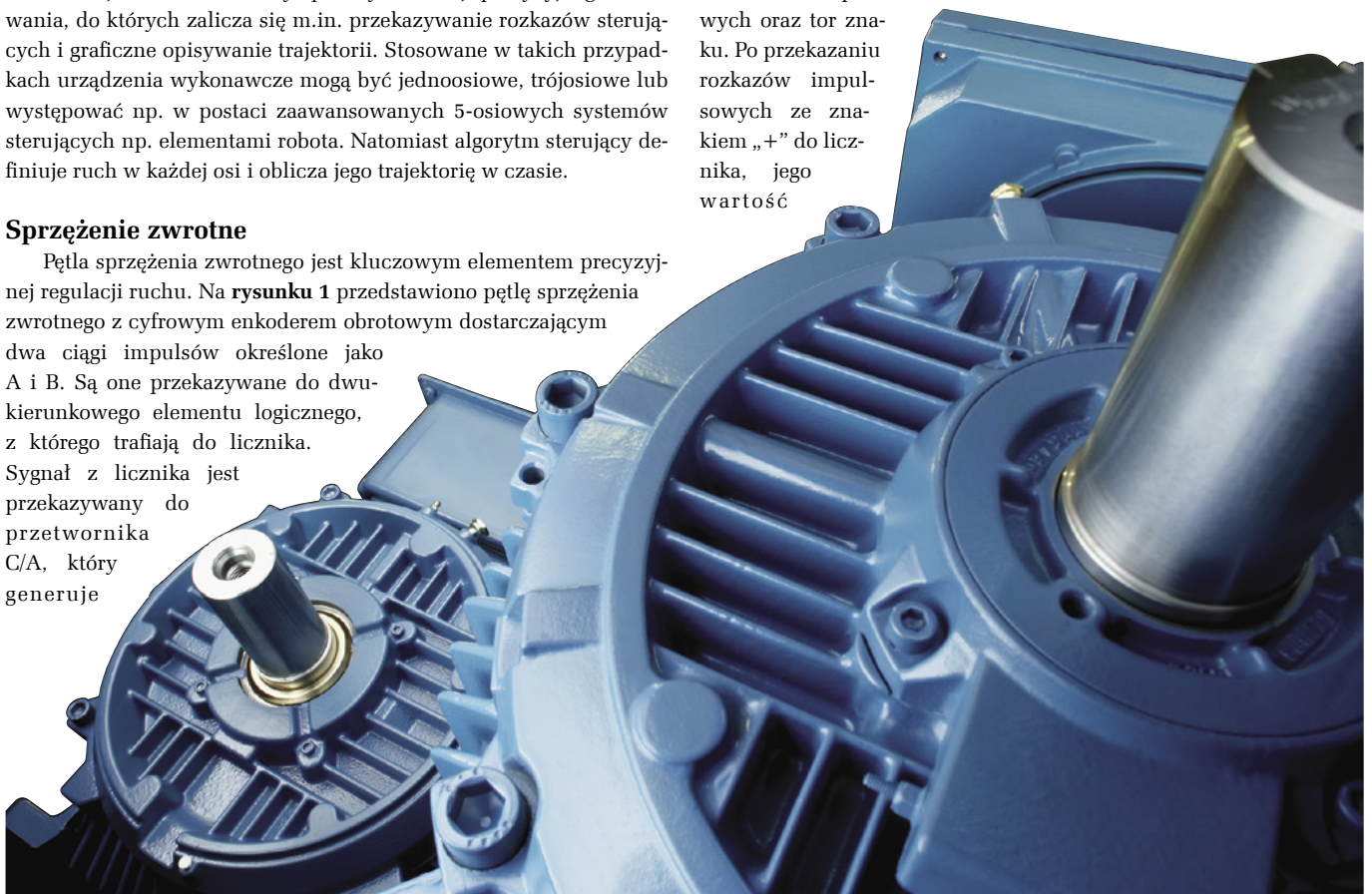
Rysunek 1. Sprzężenie zwrotne jako podstawa układu sterowania

napiecie przekazywane do silnika. W większości przypadków enkoder jest fizycznie przytwierdzony do wału silnika.

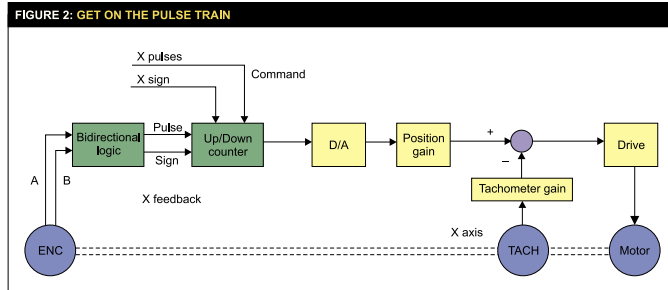
Przed rozpoczęciem ruchu licznik jest wyzerowany, a więc generowane napięcie wynosi (w teorii) 0V, dzięki czemu silnik jest unieruchomiony. Jakikolwiek zakłócenie wymuszające obrót wału spowoduje wygenerowanie wartości równoważącej w liczniku i tym samym akcją korekcyjną przeciwną do zakłócenia. W celu udoskonalenia układu regulacji i stabilizacji prędkości silnika może zostać zastosowany konwencjonalny tachometr.

Początki sterowania ruchem

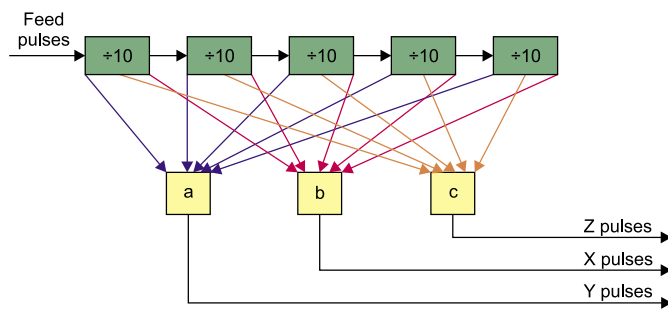
Pierwsze obrabiarki numeryczne z lat 60. zeszłego wieku oprócz pętli sprzężenia zwrotnego wykorzystywały skoordynowane ciągi rozkazów impulsowych. Każdy licznik miał dwa dodatkowe wejścia: tor rozkazów impulsowych oraz tor znaku. Po przekazaniu rozkazów impulsowych ze znakiem „+” do licznika, jego wartość



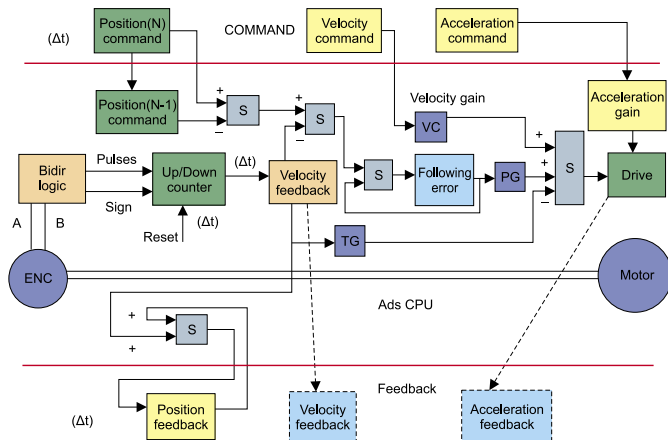
zwiększała się i generowany był sygnał do napędu silnika, co z kolei powodowało powstanie w sprzężeniu zwrotnym impulsów ze znakiem „-”, co z kolei zmniejszało wartość licznika. Podczas ruchu stan licznika równy był błędowi śledzenia. Gdy ustawały rozkazy impulsowe, wartość licznika powracała do zera a ruch kończył się.



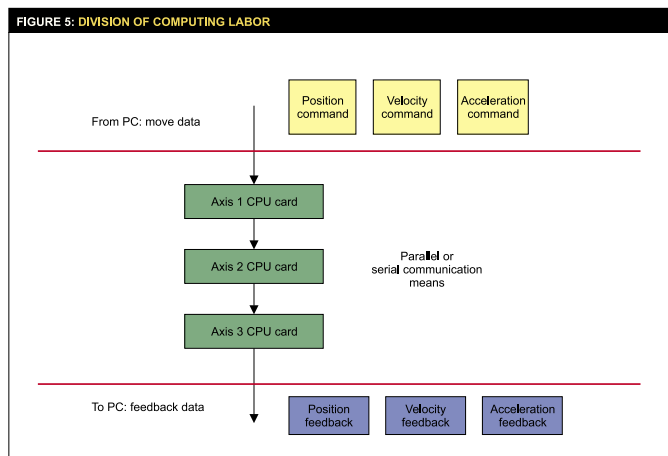
Rysunek 2. Układ sterowania uwzględniający tory rozkazów impulsowych



Rysunek 3. Dzielnik impulsów



Rysunek 4. Cyfrowe sprzężenie zwrotne zamiast fizycznego tachometru



Rysunek 5. Zadania komputera oraz kart procesorowych

Na **rysunku 2** przedstawiono układ sterowania uwzględniający dodatkowe tory rozkazów impulsowych, zaprojektowane w taki sposób, aby zapobiec przypadkowemu pominięciu jakichkolwiek impulsów. Przykładowo, jeśli rozkaz ze znakiem „+” oraz sygnał sprzężenia zwrotnego „-” wystąpią jednocześnie, żaden impuls zliczający nie zostanie przekazany do licznika. Natomiast jeśli oba sygnały wystąpią ze znakiem „+”, wartość licznika zwiększy się o 2.

Wczesne obrabiarki sterowane numerycznie używały mnożników częstotliwości dla poszczególnych osi, a urządzenia wykonawcze sterowane były liczbą impulsów zależną od zaprogramowanego rozkazu.

Modulacja rozkazów

Ponieważ w obecnie dostępnych systemach rozkazy przeznaczone dla każdej osi pochodzą ze wspólnego dzielnika impulsów (**rysunku 3**), wykonywane ruchy są jednoczesne i dla każdej osi proporcjonalne do czasu, jaki upłynął od rozpoczęcia ruchu. Współczynniki proporcjonalności określone są jednak osobno dla poszczególnych osi jako:

$$x=at, y=bt, z=ct$$

Z kolei prędkość propagacji określana jest na podstawie częstotliwości impulsów źródłowych. Wynosić ona może np. 100 kHz (jeden impuls na 10 μs), a rozkaz impulsowy ma taką samą rozdzielczość jak impuls sprzężenia zwrotnego z opisanego wcześniej enkodera cyfrowego.

Modulator programowy

W celu zamiany sprzętowego modulatora impulsów na instrukcję komputerową należy zamienić powyższe równanie na postać różniczkową. Załóżmy, że zmienna „t” w równaniu reprezentuje czas równy długości jednego impulsu źródłowego powtarzającego się co 10 μs, a równanie jest wykonywane 10 tys. razy. Jeśli zamiast t=10 μs przyjmie się Δt=1 ms, całkowita liczba iteracji zmniejszy się 100 razy. Należy więc pomnożyć współczynniki a, b i c przez 100, aby uzyskać taki sam ruch. W związku z tym powstaną nowe stałe A, B i C, odpowiednio o wartościach 72,42, 42,96 i 15,48:

$$x=AΔt, y=BΔt, z=CΔt$$

Innymi słowy, dla jednej iteracji o wartości 1 ms, ruch w każdej osi musi być odpowiednikiem 72, 42 i 15 impulsów, natomiast części ułamkowe zostaną przeniesione do następnej iteracji.

Często zamiast współrzędnych względnych (Δx, Δy, Δz) używanych do określenia celu sterowania, wykorzystywane są współrzędne absolutne (x, y, z), które wystarczają do większości zastosowań związanych z ruchem.

Programowa realizacja układu

W zaawansowanych systemach sterowania po zadanej trajektorii można dodatkowo zaprogramować pętlę prędkości i przyspieszenia. Na **rysunku 4** przedstawiono cyfrowe sprzężenia zwrotne oraz sterowanie rozkazami w takiej sytuacji. Należy zauważyć, że prędkość jest reprezentowana przez przebyty dystans podzielony przez Δt, więc nie istnieje potrzeba wykorzystania fizycznego tachometru. Realizowane sprzętowo muszą być jedynie takie elementy układu jak enkoder, dwukierunkowy element logiczny, prosty licznik góra/dół oraz rejestr prędkościowego sprzężenia zwrotnego. Reszta operacji jest wykonywana programowo poprzez procesor.

Podczas ruchu zawartość licznika góra/dół przesyłana jest co okres Δt do rejestru prędkościowego sprzężenia zwrotnego, po czym wartość licznika jest modyfikowana bez pominięcia jakichkolwiek impulsów. Oprócz generowania trajektorii pozycji procesor wykonuje także operacje mnożące i sumujące związane z pętlami regulacyjnymi wszystkich osi.

Zadania komputera i kart procesorowych

Poszczególne pętle pozycji, prędkości i przyspieszeń realizowane mogą być w każdej osi przez pojedynczą kartę procesorową.

**Bezpośredni
importer
zasilaczy marki:**



**Udzielamy wysokich rabatów
- sprawdź naszą ofertę !**

Pulsar Siedlec 150, 32-744 Łapczyca,
tel: 14-610-19-40, fax: 14-610-19-50,
e-mail: biuro@pulsar.pl, www.pulsar.pl



Produkcja:

- zasilacze buforowe
- zasilacze do CCTV
- obudowy do SSWiN
- szafy RACK 19"
- obudowy indywidualne
 - metalowe
 - plastikowe
- zasilacze hermetyczne
- transformatory
- moduły
 - bezpiecznikowe
 - przekaźnikowe
 - czasowe
- moduły przetwornic napięcia DC/DC
- puszki połączeniowe
- puszki hermetyczne



**BlackPower - zasilacze zgodne
z normą alarmową EN-50131-6**



wyświetlacz LCD

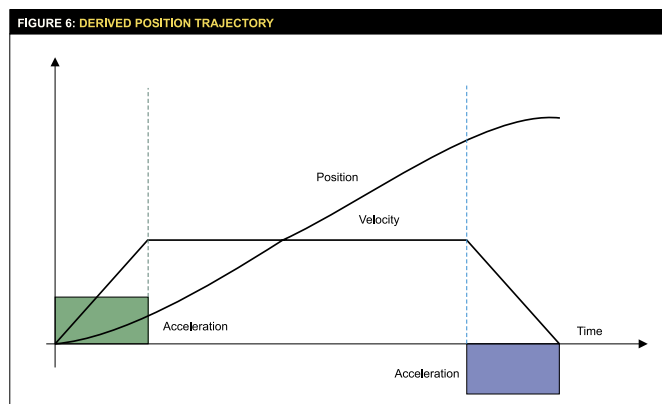
Zadaniem komputera jest wygenerowanie trajektorii ruchu poprzez stworzenie strumieni rozkazów, które przekazywane są do elementów wykonawczych każdej osi. Należy zauważyć, że dane rozkazów zawierają pozycje bezwzględne oraz, opcjonalnie, prędkości i przyspieszenia, które mogą być wykorzystywane do bardziej precyzyjnego sterowania ruchem. Sygnały te nie są jednak od siebie niezależne, ponieważ np. pozycja odpowiada całce z prędkości.

Zadania komputera oraz kart procesorowych są schematycznie przedstawione na **rysunku 5**. W komputerze można także zaprogramować ruch próbny, optymalizujący rozkazy impulsowe, co ma na celu minimalizację ewentualnego przeregulowania.

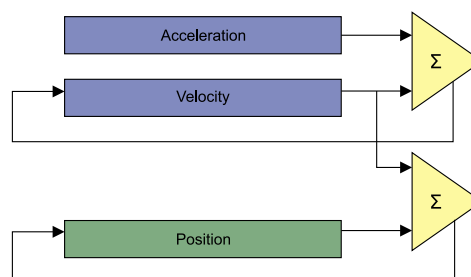
Przykład wykorzystania

Jednym z najczęściej używanych rozkazów w sterowaniu ruchem jest przemieszczenie z pozycji aktualnej do docelowej. Użytkownik może określić położenie końcowe, maksymalną prędkość oraz przyspieszenie i opóźnienie podczas startu i końca ruchu. Na **rysunku 6** przedstawiono zależność pozycji względem czasu, która została wyprowadzona z przyspieszenia i maksymalnej prędkości. Na początku ruchu występuje stałe przyspieszenie, które całkowane w czasie powoduje liniowy wzrost prędkości. Dzięki całkowaniu prędkości otrzymuje się trajektorię pozycji. Po osiągnięciu maksymalnej prędkości, przyspieszenie ustaje a pozycja zaczyna rosnąć w sposób liniowy. W czasie opóźnienia, w odpowiednim rejestrze przyspieszenia umieszczana jest wartość ujemna, dzięki czemu prędkość zaczyna liniowo spadać.

Do realizacji sterowania wystarczające jest przekazywanie do kart procesorowych każdej osi (co okres Δt) jedynie danych dotyczących nowych pozycji, ponieważ wartości prędkości i przyspieszeń można uzyskać bezpośrednio przez różniczkowanie. Jeśli jednak wymagane jest utrzymywanie bliskiego zera błędu śledzenia, jako dodatek do danych pozycji mogą zostać użyte pomocnicze rozkazy dotyczące prędkości i przyspieszeń. Na **rysunku 7** przedstawiono sposób generowania trajektorii z pomocą komputera. W bardziej złożonych przy-



Rysunek 6. Powstawanie trajektorii pozycji



Rysunek 7. Sposób generowania trajektorii oraz rejestry przyspieszenia i prędkości

padkach pokazany na rysunku rejestr przyspieszenia może również zmieniać się w czasie. Na przykład w ruchu po okręgu sparametryzowane pozycje x i y przyjmą odpowiednio wartości $R\cos(t)$ i $R\sin(t)$, a prędkości i przyspieszenia będą także funkcjami sinus i cosinus.

Grzegorz Michałowski