

# Tryby pracy silników

## w napędach z przetwornicami częstotliwości

Przetwornice częstotliwości znalazły zastosowanie w wielu aplikacjach przemysłowych. Warto jednak wiedzieć, w jaki sposób wybrać tryb pracy urządzenia, żeby wykorzystać w pełnym zakresie oferowane możliwości. W artykule przedstawiono przegląd funkcji przetwornic częstotliwości, szczególnie istotnych w przypadku konfiguracji oraz użytkowania w najczęściej spotykanych typach aplikacji przemysłowych.

**B**ezstopniowa regulacja prędkości oraz zmiana kierunku obrotów to tylko podstawowe funkcje przetwornic częstotliwości. Nowoczesne przetwornice powinny charakteryzować się następującymi cechami: uzyskaniem znacznych oszczędności energii, wysoką jakością pracy, wydłużeniem czasu eksploatacji linii technologicznych oraz ich komponentów, niskimi stratami sprawności, minimalizacją gwałtownych uruchomień (tj. uderzeń hydraulicznych, drgań wentylatorów itp.), zmniejszeniem liczby załączeń/wyłączeń, zabezpieczeniem napędów przed uszkodzeniem, komunikacją za pomocą sieci przemysłowych.

### Konfiguracja typu 1:1

Konfiguracja jednego silnika obsługiwane-go przez przetwornicę częstotliwości należy do najczęstszego przypadku aplikacji układów napędowych. W tym przypadku możliwe jest zastosowanie kilku trybów sterowania parametrami silnika, w postaci sterowania skalarnego i wektorowego [1]. Sterowanie skalarnie (U/f) jest odpowiednie do aplikacji, takich jak: sterowanie

pompami, wentylatorami, dmuchawami i sprężarkami, taśmociągami itp. W trybie sterowania skalarnego jeden falownik może sterować także kilkoma silnikami. Istotną wadą sterowania skalarnego jest fakt, że przy zbyt małych wartościach częstotliwości następuje wyłączenie napędu. Wybrane modele przetwornic częstotliwości umożliwiają zastosowanie funkcji, która umożliwia zadanie większej wartości napięcia w odniesieniu do małych prędkości, przez co moment znamionowy utrzymywany jest praktycznie w całym zakresie prędkości [1, 2, 4].

Sterowanie wektorowe stosowane jest do maszyn wymagających utrzymania stałej wartości momentu obrotowego, niezależnie od charakteru pracy (rozruch, hamowanie, zmiana wartości obciążenia lub kierunku ruchu). W tym przypadku wymagana jest zamknięta pętla sprzężenia zwrotnego z informacją o prędkości obrotowej oraz wartości natężenia prądu uzwojenia, który stanowi sumę wektorową prądów indukcji oraz rezystancji. W algorytmie tym uwzględniane są również bezwładność obciążenia, moc oraz

charakterystyka silnika. Informacje te wymagane są do przeprowadzenia analizy wektorowej, na podstawie ściśle określonych algorytmów, które umożliwiają uzyskanie zadanych wartości prędkości oraz momentu obrotowego.

Sterowanie wektorowe znajduje zastosowanie w aplikacjach, w których wymagane jest zachowanie dużego momentu obrotowego (małe prędkości obrotowe), dużej dokładności (wysokie prędkości obrotowe) oraz uzyskiwanie dynamicznej odpowiedzi silnika napędowego. Do celów sterowania wektorowego używane są dwa podstawowe typy algorytmów [1, 3, 6]:

- FOC (ang. *Field Oriented Control*) – bezpośrednie sterowanie wirującym polem magnetycznym stojana; sprzężenie zwrotne używane jest do celów porównania bieżącej charakterystyki silnika z teoretyczną (wyznaczoną na etapach parametryzacji lub strojenia automatycznego);
- DTC (ang. *Direct Torque Control*) – bezpośrednie zastosowanie regulatorów momentu i strumienia; sprzężenie

Aplikacja	Przeciążalność [%]			
	< 120	120-140	140-175	175-200
Rozpylacz, myjki do butelek, klucze pneumatyczne, wentylatory (osiowy, odśrodkowy, wysokociśnieniowy), pompy, odkurzacze, szlifierki	+			
Pompy szlamowe	+	+		
Mieszalniki, wirówki, kompresory tłokowe (nieobciążone), przenośniki taśmowe, kruszarki (stożkowe, obrotowe), korowarki, krawędziarki, pakowarki, betoniarzki, stoły obrotowe, szlifierki, piły taśmowe, piły tarczowe, oddzielacze, rozdrabniacze, rębarki, pralki przemysłowe, wózki paletowe, wytłaczarki		+		
Przenośniki taśmowe, suszarki, krajarki, oczyszczarki bębnowe, prasy mechaniczne, maszyny formujące, nawijarki, gładziarki		+	+	
Kompresory tłokowe (obciążone), przenośniki śrubowe, kruszarki szczękowe, walcarki, strugarki, maszyny do rozcierania na miazgę, przesiewarki, wciągarki, krosna			+	
Sterowanie osiami, windy, prasy hydrauliczne			+	+

Tab. 1. Przeciążalność przemienników częstotliwości [4-8]



Aplikacja	Wymagania	Funkcje specjalne
Dźwigi i wciągarki	<ul style="list-style-type: none"> <li>wysoki moment obrotowy</li> <li>niezawodność i bezpieczeństwo podnoszenia</li> <li>precyzyjne przemieszczanie ładunku</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>kontrola hamowania</li> <li>niezależna kontrola zasilania układów sterującego oraz mocy</li> <li>funkcja zwiększania prędkości w przypadku mniejszych obciążeń oraz pracy bez obciążenia</li> <li>możliwość synchronizacji pracy dwóch przemienników częstotliwości</li> <li>kontrola naprężenia liny</li> <li>monitoring prędkości</li> <li>kompensacja momentu startowego</li> <li>hamowanie dynamiczne oraz odzyskiwanie energii</li> </ul>
Branża wodno-kanalizacyjna	<ul style="list-style-type: none"> <li>szeroki zakres mocy</li> <li>obsługa standardowych oraz specjalizowanych funkcji</li> <li>dedykowane interfejsy do komunikacji</li> <li>oszczędność energii</li> <li>małe gabaryty</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>sterowanie kaskadami pompowymi</li> <li>możliwość ustawienia nastaw referencyjnych (np. ciśnienia w sieci)</li> <li>funkcje alarmów informujące o zbyt dużym i zbyt małym ciśnieniu tłoczonego medium</li> <li>kontrola nieaktywnych urządzeń</li> <li>kontrola suchobiegu</li> </ul>

Tab. 2. Cechy, wymagania oraz funkcje przetwornic częstotliwości w różnych zastosowaniach przemysłowych [7, 8]

zwrotne zawiera informacje dotyczące wartości natężenia prądu uzwojenia stojana oraz natężeń prądów fazowych, co pozwala na wyznaczenie bieżącej wartości momentu, strumienia stojana i prędkości obrotowej wału.

W każdym z przypadków warto skorzystać z funkcji automatycznego strojenia. Funkcja ta zaimplementowana jest w przetwornicach częstotliwości ze sterowaniem wektorowym i skalarnym. Pomimo prostej budowy oraz sterowania silniki elektryczne należą do elementów, które charakteryzują się złożonością zjawisk zachodzących podczas pracy oraz stopniową zmianą cech (parametrów podanych na tabliczkach znamionowych). Zastosowanie funkcji autostrojenia umożliwia optymalne dopasowanie wartości parametrów sterowania pod kątem zmieniających się w czasie eksploatacji parametrów rezystancji oraz indukcyjności uzwojeń. Dodatkowo niektórzy producenci udostępniają pokrewną funkcję autodostrojenia, realizowaną w celu ciągłej obserwacji charakterystycznych parametrów silnika wpływających na zużycie energii oraz jego sprawność [5, 6].

Dodatkowym atutem jest możliwość zastosowania elastycznej krzywej charakterystyki  $U/f$ , co pozwala na dokładne dopasowanie krzywej momentu do charakterystyki pracy obsługiwanej maszyny lub urządzenia.

### Funkcja lotnego startu

Zakres zastosowania funkcji lotnego startu jest szeroki, jednak można ją przyporządkować do aplikacji o długich rampach hamowania (tzn. wymagających hamo-

wania wybiegiem, czyli pompach i wentylatorach). Podstawą funkcji lotnego startu jest pomiar wartości prędkości obrotowej oraz kierunku obrotów. Zidentyfikowane wartości stanowią początkowe nastawy rozruchu urządzenia napędowego silnika, co powoduje ograniczenie zużycia łożysk, eliminację nagłych szarpnięć oraz drgań napędzanych układów [4-8].

### Zintegrowana funkcja obsługi regulatora PID

Przetwornice częstotliwości wyposażone są także w wewnętrzne regulatory PID. Wspomniana funkcjonalność umożliwia konfigurację układów sterowania pracujących ze sprzężeniem zwrotnym. Regulacja PID jest powszechnie stosowana w procesach przemysłowych związanych z przepływami mediów, kontrolą ciśnienia lub temperatury. Regulator PID oblicza różnicę pomiędzy wartością zadaną a wartością rzeczywistą na wyjściu układu. Po otrzymaniu tych danych falownik przetwarza je w taki sposób, by różnica pomiędzy wartościami zadaną i otrzymaną zdążyła do zera [1].

### Funkcje istotne z punktu widzenia rozruchu urządzeń napędowych

W fazach rozruchu oraz hamowania układów napędowych zmieniająca się wartość prędkości obrotowej powoduje powstawanie zmiennego co do wartości wymuszenia układu napędowego. W tym celu w większości przetwornic częstotliwości można ustawić kilka częstotliwości (w pewnych przypadkach kilkanaście) odpowiadających konkretnym prędko-

ściami obrotowym oraz identyfikujących częstotliwości własne układu napędzanego, które zostaną pominięte w trakcie rozruchu i pracy silnika. Praca układu w zakresie wzbudzenia częstotliwością własną wpływa niekorzystnie na łożyska toczne, sprzęgła, połączenia gwintowe oraz elementy nośne, prowadząc w konsekwencji do zniszczenia układu. W przypadku parametryzacji, doboru ramp oraz charakteru obciążenia warto pamiętać o przeciążalności układu przetwornicy częstotliwości [5]. Przeciążalność definiowana jest jako maksymalna wartość natężenia prądu dostarczonego do silnika w zadanym czasie (w zależności od rozmiaru silnika oraz przetwornicy częstotliwości) (tab. 1).

### Zaawansowane sterowanie pompami

Wielu producentów udostępnia specjalne odmiany przetwornic częstotliwości dedykowanych do zastosowań w układach pompowych. Najczęstszym rozwiązaniem jest sterowanie wieloma pompami (tzw. kaskadowe) w funkcji ciśnienia lub przepływu tłoczonego medium. Do powszechnych funkcji w zastosowaniach sterowania pompami należą:

- zapobieganie suchobiegowi pomp,
- ochrona przed wystąpieniem zjawiska tzw. uderzenia hydraulicznego tłoczonej cieczy,
- zapobieganie kawitacji oraz jej niekorzystnym skutkom,
- ochrona przed wzrostem ciśnienia.

### Inne użyteczne funkcje

W wilgotnych środowiskach oraz w obniżonej temperaturze otoczenia przydatna ▶



► może się okazać funkcją wstępnego nagrzewania, umożliwiającą zabezpieczenie silnika i przemiennika przed uszkodzeniem z powodu zawilgocenia.

Do innych użytecznych funkcji można zaliczyć m.in. (tab. 2):

- automatyczne zmniejszenie prędkości obrotowej silnika przy spadku napięcia zasilającego,
- funkcję automatycznego restartu po zaniku zasilania (z możliwością ustawienia reakcji na występujący stan awaryjny, szczególnie przydatna w przypadku agregatów chłodniczych, wentylatorów oraz pomp),
- tryb uśpienia umożliwiający wyłączenie napędu zgodnie z zapotrzebowaniem na moment napędowy,
- tryb pożarowy (oddymianie lub pompowanie cieczy) – pomimo zidentyfikowanego zagrożenia pompa lub wentylator kontynuują pracę w normalnym trybie (wyłączenie zabezpieczeń przetwornicy częstotliwości),
- liczniki czasu obsługi technicznej – służące do kontroli czasu eksploatacji samej przetwornicy częstotliwości oraz elementów napędzanych,

**W** wilgotnych środowiskach oraz w obniżonej temperaturze otoczenia przydatna może się okazać funkcja wstępnego nagrzewania, umożliwiająca zabezpieczenie silnika i przemiennika przed uszkodzeniem z powodu zawilgocenia.

- integrację przetwornicy częstotliwości ze sterownikiem logicznym PLC.
- Niektórzy producenci serwo-silników wyposażają je w enkodery z pamięcią parametrów silnika (tzw. elektroniczna tabliczka znamionowa) oraz hamulca postojowego. Dane tabliczki są automatycznie wpisywane do pamięci przetwornicy częstotliwości, przy każdym uruchomieniu urządzenia napędzanego.

## Podsumowanie

Funkcjonalność przetwornicy częstotliwości zależy od jej zastosowania oraz typu. Warto jednak mieć na uwadze, że istnieją na rynku rozwiązania dedykowane do konkretnych zastosowań. Oprócz wielu rozwiązań sprzętowych dystrybutorzy oferują także zaawansowane algorytmy do bezpośredniej implementacji. □

## Piśmiennictwo

1. Kosmol J.: *Elektryczne silniki i układy napędowe obrabiarek i maszyn technologicznych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993.
2. Bargmeyer J., Burghardt M., Hanigovszki N., Hansen M., Jensen A., Seekjar H., Zare F.: *Facts Worth Knowing about Frequency Converters*. (ed.) Danfoss, 2014.
3. Świerczyński D., Żelechowski M.: *Uniwersalna struktura bezpośredniego sterowania momentem i strumieniem dla silników synchronicznych o magnesach trwałych oraz silników asynchronicznych*. Warszawa 2003.

Autor korzystał z materiałów następujących firm: Eldar [4], Demero [5], Eaton [6], Astor [7], Mitsubishi Automation [8].

reklama



# INNOFORM

Międzynarodowe Targi Kooperacyjne Przemysłu Narzędziowo-Przetwórczego  
25-27 kwietnia 2017, Bydgoszcz

Organizatorzy:



Targi  
w Krakowie

Przemysł  
w najlepszej  
formie

[www.innoform.pl](http://www.innoform.pl)