

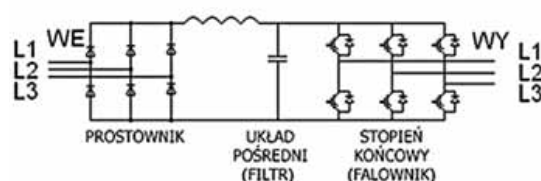
# Przetwornice częstotliwości – budowa i rodzaje sterowań

*Przetwornice częstotliwości, nazywane potocznie falownikami, zyskały bardzo dużą popularność i wykorzystywane są praktycznie w każdym zakładzie przemysłowym. Ich główną funkcją jest płynna regulacja prędkości obrotowej silników elektrycznych. Co jednak kryje się pod pojęciem przetwornica skalarna lub przetwornica wektorowa? Jakie są różnice pomiędzy tymi sterowaniami, jakie są ich zalety a jakie wady? Jak dobrać przetwornice pod konkretną aplikację? Postarajmy się na wszystkie te pytania odpowiedzieć.*

## CO TO JEST PRZETWORNICA CZĘSTOTLIWOŚCI?

Przetwornica częstotliwości to urządzenie bezpośrednio związane z pracą silnika elektrycznego. Przetwornica częstotliwości składa się w uproszczeniu z następujących podzespołów: prostownika, układu pośredniego (filtr) oraz z falownika DC/AC (stopień końcowy).

Schemat budowy przetwornicy częstotliwości



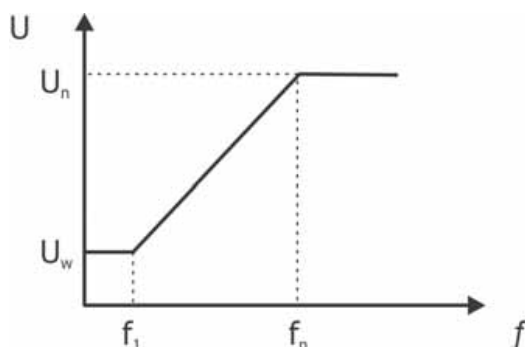
Napięcie zasilania przetwornicy (jedno lub trójfazowe AC) podłączane jest na wejściu do prostownika, natomiast na wyjściu prostownika napięcie jest generowane jako stałe pulsacyjne (wyprostowane). W stopniu pośrednim (filtr) napięcie wyprostowane jest zamieniane na prąd stały. W stopniu końcowym znajduje się falownik (czyli układ DC/AC), w którym generowana i kształtowana jest częstotliwość napięcia zasilającego silnik. Wygenerowane napięcie na wyjściu przetwornicy steruje prędkością obrotową silników indukcyjnych.

Przetwornice częstotliwości (falowniki) są tak popularne, gdyż ich stosowania posiada wiele zalet, z których najważniejsze to:

- płynna regulacja prędkości obrotowej silnika, w zależności od potrzeb technologicznych
- oszczędność energii w układach o zmiennej wydajności
- elektroniczne termiczne zabezpieczenie silnika
- zmiana kierunku obrotów silnika bez konieczności użycia styczników
- funkcje łagodnego rozruchu (soft-start) i łagodnego zatrzymania (soft-stop)

Ze względu na algorytm sterowania silnikiem różniamy sterowanie skalarne (U/f), oraz sterowanie wektorowe (sterowanie wektorem strumienia).

Wykres charakterystyki pracy przetwornicy skalarniej



## PRZETWORNICE SKALARNE

Przetwornice częstotliwości, które sterują silnikiem indukcyjnym w oparciu o algorytm  $U/f = \text{const.}$  (charakterystyka liniowa) lub  $U/f^2$  (charakterystyka kwadratowa) określane są przetwornicami skalarnymi. Algorytm  $U/f$  jest zależnością częstotliwości wyjściowej i napięcia wyjściowego. Jest to najprostsza metoda płynnej regulacji prędkości obrotowej silników indukcyjnych.

Działanie przetwornicy skalarniej polega na zmianie częstotliwości, która bezpośrednio wpływa na zmianę wartości prądu wyjściowego, który z kolei wpływa na prędkość obrotową silnika. Regulacja taka odbywa się w oparciu o zależności dotyczące stanu ustalonego. Prędkość obrotowa regulowana jest poprzez zmianę częstotliwości zasilania uzwojeń silnika. W związku z tym, układ sterowania nie oddziałuje na wzajemne położenie wektorów prądów i strumieni skojarzonych i tym samym nie ma możliwości prawidłowej kontroli procesów przejściowych w takim napędzie. Jest to główna wada sterowania skalarnego - spadek mocy wraz ze spadkiem częstotliwości.

Ze względu na występowanie poślizgu (różnicy pomiędzy prędkością wirowania pola w silniku a prędkością obrotów wału), prędkość obrotowa silnika nie jest ściśle proporcjonalna do częstotliwości. Prędkość mechaniczna oraz częstotliwość poślizgu nie są więc kontrolowane precyzyjnie.

### Zastosowanie przetwornic skalarnych (U/f):

- pompy, wentylatory
- dmuchawy i sprężarki
- taśmociągi
- aplikacje, gdzie nie jest wymagana bardzo dokładna regulacja prędkości obrotowej oraz gdzie moment obciążenia maleje wraz z prędkością lub jest względnie stały w całym zakresie jej zmian

### Zalety przetwornic skalarnych:

- niska cena oraz prostota konfiguracji
- możliwość podłączenia kilku silników do jednej przetwornicy (pod warunkiem, że suma wszystkich prądów znamionowych poszczególnych silników nie przekracza prądu wyjściowego przetwornicy)

### Wady przetwornic skalarnych:

- stany przejściowe o długim czasie trwania, brak kontroli silnika w stanach przejściowych
- niski moment obrotowy przy niskich częstotliwościach
- brak kontroli i regulacji momentu obrotowego
- oscylacje prędkości obrotowej wokół prędkości zadanej

Biorąc pod uwagę powyższe wady, należy podkreślić, że przetwornice skalarne nie mogą być stosowane w aplikacjach, gdzie niezbędne jest precyzyjne utrzymanie zadanej prędkości lub momentu obrotowego. Problem ten jest istotny w aplikacjach, w których obciążenie wału silnika zmienia się w czasie - w sil-

nikach występują poślizgi, co oznacza, że szybkość wirowania pola elektromagnetycznego w silniku nie jest identyczna z szybkością obrotów wału.

Do przetwornic skalarnych należy ekonomiczna seria przetwornic częstotliwości Teco L510. Przeznaczona jest ona dla silników o mocach od 0,2 kW do 2,2 kW.

Seria L510 posiada dodatkowo w standardzie filtr RFI oraz panel operatorski z klawiaturą, dzięki czemu w łatwy sposób możemy sterować obrotem silnika.



## STEROWANIE WEKTOROWE

W odróżnieniu od przetwornic skalarnych, przetwornice częstotliwości o sterowaniu wektorowym są bardziej zaawansowane i skomplikowane przy konfiguracji. Są one przeznaczone do aplikacji, gdzie wymagana jest wysoka dokładność regulacji obrotów i momentu. Przy sterowaniu wektorowym wartością zadaną są obroty, które przetwornica stabilizuje. Każda przetwornica wektorowa standardowo może pracować również w trybie skalarnym.

Sterowanie wektorowe charakteryzuje się tym, że na podstawie zależności obowiązujących dla stanów nieustalonych i przejściowych, nastawiane są nie tylko amplitudy i prędkości kątowe (częstotliwości), ale również fazy wektorów przestrzennych napięć, prądów i strumieni skojarzonych silnika indukcyjnego. W sterowaniu wektorowym moment i strumień określone są przez prąd stojana i nie mogą być nastawiane w sposób niezależny.

W sterowaniu wektorowym możliwe jest precyzyjne kontrolowanie prędkości obrotowej, oraz kontrola momentu obrotowego silnika. Dokładność regulacji prędkości obrotowej w sterowaniu wektorowym wynosi 0,01%.

W sterowaniu wektorem napięcia amplituda napięcia i częstotliwość wektora napięciowego sterowane są w zależności od poślizgu i prądu obciążenia. Z mierzonych prądów fazowych silnika określane są składowe czynne i bierne, a następnie porównywane są one z wartościami z modelu silnika i odpowiednio korygowane. Amplituda, częstotliwość i kąt wektora napięcia są sterowane w sposób bezpośredni. Umożliwia to pracę przy wartościach granicznych prądu, szerokie zakresy nastaw prędkości obrotowej i dużej jej dokładność. Ma to znaczenie w przypadku niskich prędkości obrotowych, np. podnośniki, nawijarki.

### Zalety przetwornic wektorowych:

- wysoka dokładność regulacji prędkości obrotowej silników
- duży moment przy niskich częstotliwościach

### Wady przetwornic wektorowych:

- można sterować tylko jednym silnikiem
- wymaga wprowadzenia dodatkowych parametrów i ustawień silnika w celu konfiguracji

### Przykłady zastosowań:

- precyzyjna regulacja prędkości, np. przy synchronizacji dwóch taśmociągów

Do przetwornic wektorowych należą przetwornice Teco E510 oraz Teco A510. Posiadają one wbudowany sterownik PLC (umożliwiający wykonanie

prostej logiki i sterowania przy użyciu wbudowanych wejść/wyjść), panel operatorski z klawiaturą i komunikację Modbus.

Seria E510 dostępna jest opcjonalnie w obudowach IP66 (pyło- i wodoszczelnych), dzięki czemu można ją stosować w trudnym środowisku. Falowniki serii A510 przeznaczone są dla silników o mocach do 315 kW.



▲ Przetwornica częstotliwości A510

## DEDYKOWANE PRZETWORNICE CZĘSTOTLIWOŚCI

Poza standardowymi (uniwersalnymi) przetwornicami skalarnymi i wektorowymi, dostępne na rynku są również przetwornice dedykowane pod aplikacje pompowe i wentylatorowe. W przetwornicach tych wykorzystano charakterystykę obciążenia pomp i wentylatorów, dzięki czemu są one tańsze od standardowych przetwornic wektorowych.

W przetwornicach dedykowanych pod aplikacje pompowe i wentylatorowe również istnieje możliwość sterowania skalarnego i wektorowego. Ponadto, przetwornice te posiadają dodatkowe funkcje takie jak np: kontrola kilku pomp/wentylatorów, rotacja pomp, detekcja suchobiegu i funkcja Standby (oszczędność pompy przy braku poboru wody w przepompowni), funkcja automatycznego oszczędzania energii (AES), tryb fire mode (wyłączenie zabezpieczeń w przypadku pożaru).

Przykładem zastosowań takich przetwornic są aplikacje wymagające precyzyjnego dozowania płynu, suszarnie, układy wentylacyjne, przepompownie, automatyka budynkowa itp.

Do przetwornic częstotliwości dla aplikacji HVAC, pompowych i wentylatorowych należy Teco F510. Przetwornica ta dostępna jest dla silników o mocach od 4 kW do 600 kW. Oferowana jest również w opcjach obudowy IP20 oraz IP55.

◀◀ Przetwornica częstotliwości L510



▲ Przetwornica częstotliwości F510

## SKALARNE VS WEKTOROWE

Na zakończenie, dla jasności warto w skrócie porównać obie metody sterowania. Główna różnica pomiędzy sterowaniem wektorowym a skalarnym polega na określeniu dokładności prędkości obrotowej silnika. W sterowaniu skalarnym prędkość obrotowa silnika wynika od zadanej częstotliwości (regulujemy częstotliwością), natomiast w sterowaniu wektorowym precyzyjnie określamy interesującą nas prędkość silnika, a przetwornica tą prędkość utrzymuje. Drugą najważniejszą różnicą jest moment obrotowy przy niskich częstotliwościach, który w przetwornicach wektorowych jest dużo wyższy niż przy przetwornicach skalarnych.



### Michał Prynda

Z Introl związany od 15 lat. Obecnie pracuje na stanowisku kierownika Działu napędy i sterowniki przemysłowe

Tel: 32 789 00 51