

Przeмиenniki częstotliwości ANSALDO – precyzyjna regulacja prędkości obrotowej silników indukcyjnych

Najczęściej spotykanymi urządzeniami wykonawczymi zarówno w przemyśle jak i w zastosowaniach komercyjnych są silniki elektryczne. W zależności od rodzaju zastosowania spotyka się silniki prądu stałego lub zmiennego. W ostatnich latach układy napędowe prądu zmiennego (AC) cieszą się dużą popularnością. Coraz częściej wypierając układy napędowe z silnikami prądu stałego (DC). Ocenia się, że ponad połowa mocy napędowej w przemyśle jest dostarczana za pośrednictwem silników indukcyjnych klatkowych. Wraz z rozwojem techniki liczba zastosowań silników indukcyjnych stale wzrasta. Związane jest to bezpośrednio z rozwojem elektroniki wysokonapięciowej oraz techniki mikroprocesorowej. Podstawową zaletą napędów AC są silniki, które w odróżnieniu od silników DC charakteryzują się prostą budową oraz nie posiadają mechanicznego komutatora. Są zatem tańsze i mniej awaryjne. Zastąpienie silnika DC silnikiem AC powoduje zmniejszenie kosztów eksploatacji napędu oraz zwiększa niezawodność całego układu.



Sterowanie prędkością

W celu pełnego wykorzystania zalet i własności napędowych silników AC potrzebne jest efektywne sterowanie prędkością oraz momentem wytwarzanym przez wał silnika.

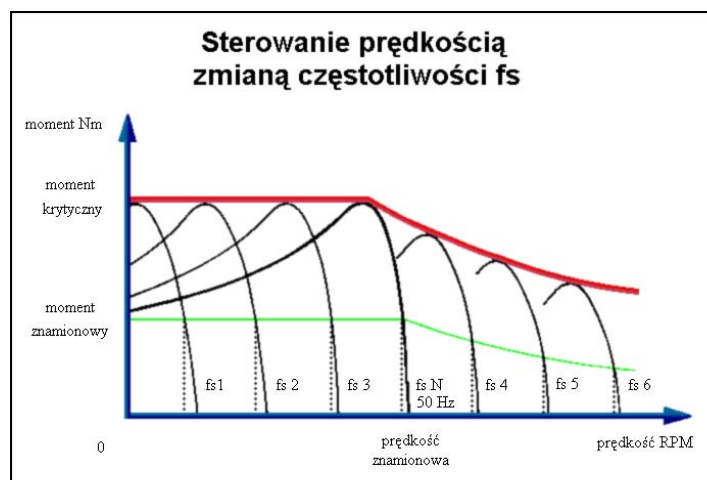
Do niedawna do zastosowań gdzie konieczna była regulacja prędkości obrotowej stosowano wyłącznie silniki prądu stałego regulowane poprzez zmianę wartości napięcia zasilającego. Obecnie dzięki rozwojowi techniki mikroprocesorowej i elektroniki wysokonapięciowej sterowanie prędkością obrotową silników indukcyjnych jest równie proste i tanie jak w przypadku napędów DC. Uzyskanie wysokiej sprawności falowników stało się możliwe po wynalezieniu tranzystorów IGBT łączących zalety tranzystorów polowych i bipolarnych.

Najlepszą metodą sterowania prędkością obrotową silników AC jest regulacja poprzez zmianę częstotliwości napięć zasilających silnik. W porównaniu z innymi metodami np. z regulacją prędkości poprzez zmianę napięcia, regulacja częstotliwości zapewnia największy zakres regulowanych prędkości.

W niniejszym artykule przedstawiono możliwości efektywnego sterowania prędkością silników AC przy wykorzystaniu przeмиenników częstotliwości koncernu ANSALDO.

Zasada działania

Prędkość silnika AC jest prawie proporcjonalna do częstotliwości napięcia zasilającego. Zmieniając częstotliwość napięcia zasilania silnika możemy płynnie sterować jego prędkością. Jednakże aby zachować stałą wartość momentu krytycznego silnika wraz ze zmianą częstotliwości w tej samej proporcji powinna być dokonywana zmiana wartości napięcia zasilającego stojan silnika. Zatem stosunek U/f [V/Hz] winien zachowywać stałą wartość. Jest to najbardziej popularny algorytm sterowania prędkością i nazywany jest skalarnym. Poniższy wykres pokazuje jak zmienia się charakterystyka mechaniczna silnika, przy wzroście lub spadku częstotliwości zasilania silnika.



Jak widać w całym zakresie częstotliwości uzyskujemy stały moment obrotowy. Jest to jednak jedynie zależność teoretyczna nie uwzględniająca wielu dodatkowych czynników mogących „zepsuć” nam idealną charakterystykę.

Aby możliwa była kontrolowana zmiana częstotliwości i wartości napięć zasilających silnik, konieczne jest zastosowanie urządzenia, przemiennika częstotliwości nazywanego popularnie falownikiem. Jego zadanie sprowadza się do podawania napięcia o określonej wartości i częstotliwości na zaciski silnika. Schemat ideowy przemiennika częstotliwości na przykładzie falownika ANSALDO przedstawiono na poniższym rysunku.



Typowy przemiennik częstotliwości składa się z trzech jednostek: prostownika, pośredniego obwodu prądu stałego z baterią kondensatorów i z falownika napięcia. Przemiana energii elektrycznej przebiega dwustopniowo: z sieci zasilającej (najczęściej prądu zmiennego) pobierana jest energia o stałych parametrach U [V] oraz f [Hz], która za pośrednictwem prostownika sterowanego przekształcana jest w napięcie stałe o regulowanej wartości. Następnie w niezależnym module falownika z napięcia stałego „wycinane” są 3 fazy napięcia zmiennego zasilające silnik.

Przebiegi chwilowych wartości napięć wyjściowych mają kształt impulsów prostokątnych o modulowanym czasie trwania. Przemienniki częstotliwości są zatem przekształtnikami PWM (Pulse Width Modulation – Modulacja Szerokości Impulsu).

Im wyższa jest częstotliwość kluczkowania tranzystorów mocy tym generowany przez falownik przebieg prądu jest gładziej i bardziej zbliżony do teoretycznej sinusoidy. Przy niskiej częstotliwości nośnej silnik wydaje charakterystyczny nieprzyjemny dźwięk. W przypadku falowników ANSALDO częstotliwość nośną można wybrać z zakresu 2 do 18kHz. Wysoka częstotliwość bo aż 18 kHz gwarantuje cichą pracę zespołu napędowego. Dzięki falowniki te znakomicie nadają się zastosowań komercyjnych np. do napędu dmuchaw, wentylatorów czy urządzeń klimatyzacyjnych. Niestety, wraz ze wzrostem częstotliwości łączy tranzystorów IGBT rosną straty mocy. Tracona moc

zamieniana jest w ciepło. W tym wypadku zalecane jest zmniejszenie obciążenia silnika lub znalezienie kompromisu przy wyborze częstotliwości nośnej.

Kompensacja poślizgu

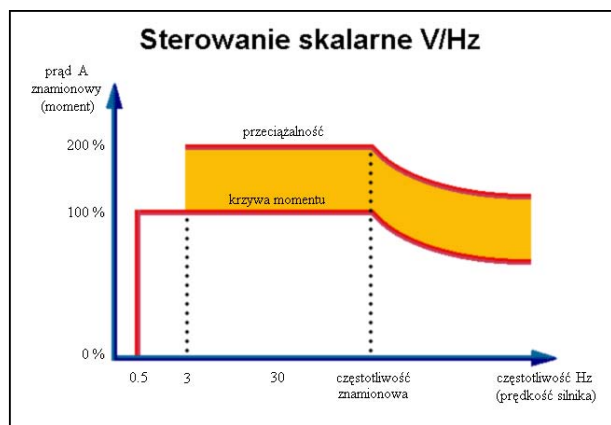
W przypadku przemienników częstotliwości działających w oparciu o algorytm V/Hz nie można mówić o regulacji prędkości obrotowej a jedynie o sterowaniu jej wartością. Jak już wspomniano, zadaniem przemiennika częstotliwości jest generowanie przebiegu napięcia o zadanej częstotliwości i amplitudzie. Falownik nie otrzymuje bezpośredniej informacji o prędkości obrotowej silnika, a zatem nie sposób stabilizować jej na danym poziomie. Prędkość obrotowa oczywiście zależy od częstotliwości zasilania ale nie jest to zależność w pełni proporcjonalna.

Dodatkowym i bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na prędkość jest tzw. poślizg czyli różnica pomiędzy prędkością wirowania pola magnetycznego wewnątrz silnika a rzeczywistą prędkością obrotową wirnika. Wartość poślizgu zależy od kilku czynników. Są nimi między innymi: obciążenie, napięcie stojana oraz rezystancje silnika. Najbardziej na zmianę poślizgu a zatem na stabilność prędkości wpływają zmiany obciążenia.

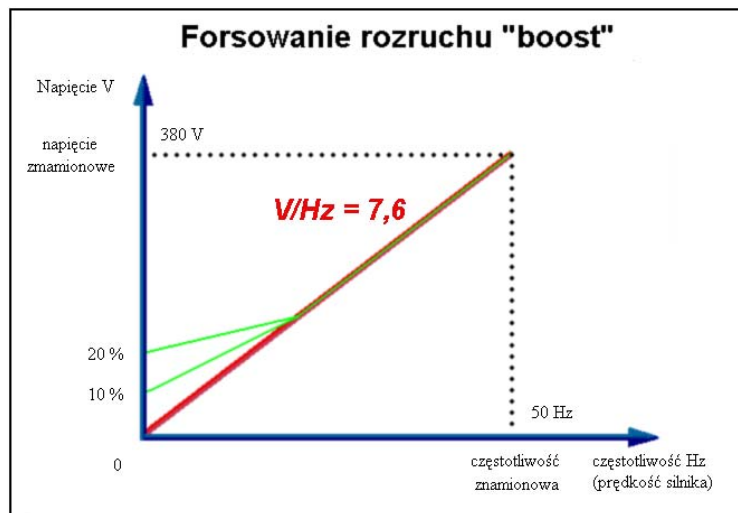
W celu poprawy stabilności prędkości w falownikach stosuje się kompensację poślizgu. Algorytm ten pozwala wyliczyć wartość poślizgu na podstawie pomiaru prądu silnika. Przy wzroście poślizgu falownik zwiększa częstotliwość wyjściową kompensując tym samym zmianę prędkości. Dokładność prędkości z kompensacją poślizgu dochodzi do 0,5%.

Forsowanie rozruchu

Szczególnie trudną sprawą jest efektywne kontrolowanie prędkości przy niskich częstotliwościach. Podstawowy algorytm sterowania prędkością zakłada stałość stosunku V/Hz czyli napięcia zasilania stojan silnika do częstotliwości. Przy założeniu, że silnik zasilany jest z typowej sieci 380 V i $f=50\text{Hz}$, stosunek V/Hz wyniesie $380/50 = 7,6$. Zmniejszając częstotliwość do 2,5Hz falownik poda na zaciski silnika napięcie o wartości około 19V. Należy pamiętać, że przy niskich częstotliwościach reaktancja statora jest bardzo mała. Praktycznie spadek napięcia na samym statorze wynosi około 20V. Widać stąd, że napięcie podawane przez falownik na zaciski silnika nie jest w stanie wytworzyć strumienia magnetycznego w silniku a co za tym idzie również momentu obrotowego.



Stosunek V/Hz nie może pozostawać zatem stały w całym zakresie częstotliwości. W przemiennikach częstotliwości stosuje tzw. forsowanie „boost” czyli dodatkowe podbicie napięcia zasilania stojana w zakresie niskich częstotliwości.



Regulator PID

Coraz częściej przemienniki częstotliwości wyposażane są w wewnętrzne regulatory PID których funkcjonalność odpowiada uniwersalnym regulatorom - produkowanych jako oddzielne urządzenia.

Taki regulator zawiera dwa zbiory nastaw wzmocnienia, czasu całkowania, czasu wyprzedzenia, funkcje skalowanie wejść i wyjść, odwracanie znaku odchyłki itp.

Sygnał sprzężenia zwrotnego może być wprowadzony bądź to bezpośrednio z enkodera (np. w falownikach ANSALDO z kartą enkodera) lub też z dowolnego czujnika pomiarowego za pośrednictwem sygnału napięciowego +/- 10V lub prądowego 4-20mA.

Wbudowany do falownika regulator PID potrafi zatem obsłużyć skomplikowany proces technologiczny, w którym elementem wykonawczym jest silnik prądu zmiennego napędzający pompę, sprężarkę, śrubę pociągową, dozownik i inne urządzenia. Przemiennik częstotliwości może regulować zarówno prędkość obrotową wału silnika jak również poziom w zbiorniku, temperaturę, ciśnienie, odczyn ... Zaletą takiego rozwiązania jest redukcja kosztów związanych z budową układu automatycznej regulacji.

Opcje komunikacyjne

Sterowanie pracą przemiennika częstotliwości odbywa się zazwyczaj za pomocą sygnałów binarnych i analogowych. Sygnały dyskretne wykorzystywane są do uruchamiania, zatrzymywania, zmiany kierunków obrotów, wyboru prędkości, zasygnalizowania alarmu lub osiągnięcia przez napęd żądanego stanu. Sygnały analogowe służą zaś do zadawania sygnału odniesienia częstotliwości lub prędkości do monitorowania parametrów pracy układu napędowego lub wprowadzenia do falownika sygnału sprzężenia zwrotnego. W sumie w skomplikowanych aplikacjach ilość połączeń kablowych jest dość znaczna. Integracja przemiennika częstotliwości z systemem automatyki staje się droga i skomplikowana. W przypadku gdy falownik oddalony jest od sterowni o 100m trzeba użyć ok. 2 km przewodów. Jest to operacja kosztowna nie tylko ze względu na cenę przewodów ale również ze względu na czas potrzebny na ich położenie i uruchomienie napędu.

Dlatego też firmy produkujące przemienniki częstotliwości wyposażają je w interfejsy komunikacyjne. W przypadku falowników ANSALDO interfejsem takim jest port RS 485 pozwalający na podłączenie do 32 falowników do jednej dwuprzewodowej magistrali. Za pośrednictwem łącza szeregowego można odczytywać i modyfikować wszystkie parametry falownika oraz sterować jego pracą. Interfejs RS485 pozwala wymieniać dane z systemem sterowania z prędkością do 19 200kbps. W ciągu jednej sekundy, w trybie master-slave przemiennik może wysłać ok. 130 ramek z informacją.

Podsumowanie

Przemienniki częstotliwości znajdują coraz więcej zastosowań. W połączeniu z nowoczesnymi i bardzo wydajnymi silnikami AC są w stanie skutecznie konkurować z napędami DC. Dzięki pojawieniu się niezwykle wydajnych tranzystorów IGBT oraz rozwojowi techniki mikroprocesorowej,

współczesne falowniki potrafią regulować prędkość oraz moment obrotowy wytwarzany przez wał silnika.

Przezienniki częstotliwości to nie tylko sterowniki prędkości obrotowej silnika. Dzięki możliwości łagodnego rozruchu stanowią najlepsze zabezpieczenie silników. Znika problem braku symetrii faz zasilania, iskrzenia styków jak w przypadku procedur rozruchowych gwiazda / trójkąt. Standardowy falownik wyposażony jest dodatkowo w szereg zabezpieczeń takich jak przeciążeniowe, nadprądowe, nadnapięciowe, podnapięciowe oraz termiczne skutecznie chroniące silnik.

Duże nadzieje pokłada się w przeziennikach częstotliwości ze sterowaniem polowo zorientowanym (ang. Flux Vector). Falowniki te dzięki specjalizowanym algorytmom wyznaczania prądu twornika są w stanie bezpośrednio oddziaływać na moment wytwarzany przez silnik indukcyjny. Układy napędowe z falownikami wektorowymi cechują się bardzo wysoką dynamiką, dokładną regulacją prędkości obrotowej oraz wysokim momentem nawet przy zerowej prędkości wału silnika.