



Zalety zmiennej prędkości obrotowej w napędach sterujących i regulacyjnych

Matthias Rebhan, Gerda Nölp; Norymberga *)

W ostatnich latach coraz powszechniejsze zastosowanie w instalacjach przemysłowych, a także u użytkownika końcowego znajdują napędy o zmiennej prędkości obrotowej. Często wynika to z chęci i potrzeby uzyskania oszczędności energii. Na przykład korzystniejsze jest zastosowanie kompresora o regulowanej prędkości obrotowej do sprężania dokładnie wymaganej ilości powietrza niż eksploataowanie go ze stałą prędkością obrotową przy maksymalnej mocy i regulowanie – a tym samym marnotrawienie energii – rzeczywistego zapotrzebowania za pomocą przepustnic. Innym, częstym powodem stosowania napędów o zmiennej prędkości obrotowej w instalacjach przemysłowych jest konieczność dostosowania członów nastawczych do potrzeb różnych procesów.

W niniejszym artykule opisano schematycznie budowę i metody „wytworzenia” zmian prędkości obrotowej, przedstawiono zalety stosowania napędów o zmiennej prędkości obrotowej oraz korzyści wynikające ze stosowania takich napędów w planowaniu i projektowaniu.

Budowa napędu o zmiennej prędkości obrotowej

Istnieją różne sposoby umożliwienia silnikom pracy ze zmienną prędkością obrotową. W zakresie napięcia sieciowego poniżej 1000 V i mocy poniżej kilku-

set kW stosowana jest najczęściej tzw. przetwornica częstotliwości z napięciowym obwodem pośredniczącym, najczęściej w połączeniu z asynchronicznym silnikiem trójfazowym. Dlatego poniżej będzie mowa tylko o takim wariancie.

Napęd ze zmienną prędkością obrotową wymaga doprowadzenia napięcia trójfazowego ze zmienną częstotliwością (prędkość obrotowa) i amplitudą (wysokość napięcia określa moment obrotowy). Sieć udostępnia jednak napięcie stałe pod względem częstotliwości i amplitudy. Przetwarzanie takiego napięcia odbywa się w dwóch etapach:

1. Prostowanie i wygładzanie

Jedno- lub trójfazowe napięcie zasilające z diod prostowniczych (mostkowy układ prostownikowy) przetwarzane jest na (tętniące) napięcie stałe (ilustr. 1). Napięcie to jest następnie wygładzane przez „zgrubne” kondensatory pełniące funkcję pośrednich zasobników energii.

2. Przemiana częstotliwości

Druga część przetwornicy częstotliwości składa się z sześciu szybkich „przełączników elektronicznych”, które w precyzyjnie określonym rytmie doprowadzają napięcie stałe do trzech za-

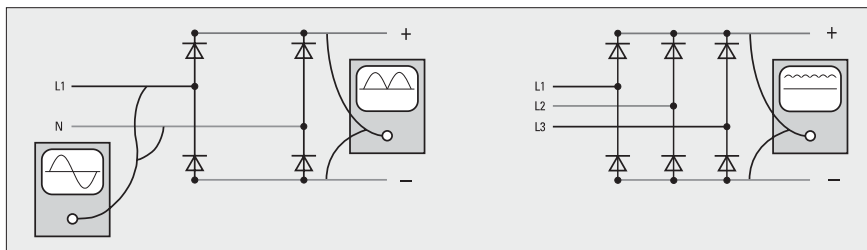
cisków silnika. Szybkie przełączanie i prawidłowy wybór napięcia (modulacja szerokości impulsu) umożliwiają stworzenie systemu napięcia trójfazowego (ilustr. 2). Wiele „płytek” napięcia stałego filtrowanych jest poprzez zwoje silnika, jedynie „udział zasadniczych drgań” napięć wytwarza pole wirujące o żądanej częstotliwości i amplitudzie.

W tym przypadku „kruczek” polega na wykorzystaniu wcześniejszych obliczeń wzorcowych napięć i szybkim przełączaniu. W nowoczesnych napędach o zmiennej prędkości obrotowej zadanie to załatwiają szybkie mikroprocesory. Za przełączanie odpowiadają elementy elektroniczne, dostępne już od początku lat 90-ych jako produkowane seryjnie i pracujące w sposób bardzo zbliżony do „przełączników idealnych” – przełączać szybko i bez strat. Są to tzw. tranzystory IGBT (isolated gate bipolar transistors). Aby uzyskać lepsze wyobrażenie o wydajności tych elementów, trzeba sobie uświadomić, że każdy z sześciu tranzystorów IGBT przemiennika częstotliwości przełącza najczęściej 6 000 – 10 000 razy na sekundę sygnały napięciowe o wartości 540 V (napięcie w obwodzie pośredniczącym przy prostowaniu sygnałów trójfazowych 400 V).

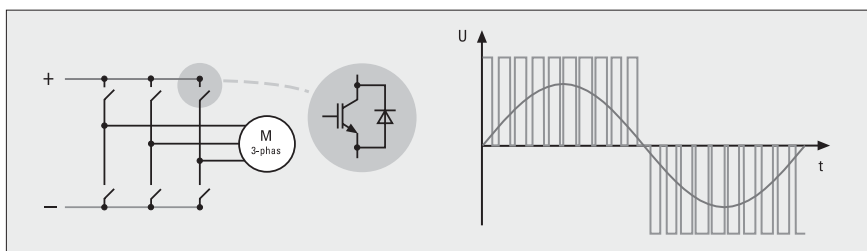
Zalety współpracy napędów ze zmienną prędkością obrotową z armaturą

Rozruch – wolny, ale bezpieczny

Armatura w elektrowniach (ilustr. 3) lub instalacjach wodociągowych musi poradzić sobie z dużymi różnicami ciśnień. Szybkie przestawienie zaworu armatury na całym odcinku nastawy wywołuje przepływ turbulentny i zawirowania. Skutkiem tego jest zmęczenie materiałowe i zagrożenie dla armatury, rurociągu i elementów łączeniowych.



Ilustracja 1. Prostowanie napięcia zasilającego



Ilustracja 2. Wygładzanie i modulacja szerokości impulsów

*) dr M. Rebhan – dyrektor SIPOS Aktorik GmbH w Norymberdze/Niemcy; G. Nölp – SIPOS Aktorik GmbH w Norymberdze/Niemcy.

Tłumaczenie artykułu z „Industriearmaturen”, z. 1/2005, ss. 28-32.

Dziękujemy firmie AUMA Polska Sp. z o.o. za pomoc w przygotowaniu artykułu.



Niepożądane lub szkodliwe zjawiska towarzyszące, jak kawitacja i „uderzenia hydrauliczne”, które występują w całej instalacji, można wyeliminować poprzez „dozowaną” prędkość przemieszczania się organu zamykającego.

W przypadku wolnego w początkowej fazie otwierania zaworu może najpierw mieć miejsce wyrównanie ciśnienia, a następnie, przy określonym położeniu armatury, dalsza zmiana położenia może odbywać się z większą prędkością.

W napędach ze zmienną prędkością obrotową częstotliwość silnika zmienia natomiast tzw. generator funkcji wzrostu z określoną prędkością zmiany i „ograniczeniem drgań” (funkcja liniowo-rosnąca).

Szczelność bez nadmiernych przeciążeń

Jeżeli napęd zamyka armaturę dociskając grzyb do gniazda przy pełnej prędkości obrotowej, to realizowana jest wprawdzie funkcja szczelnego zamykania, ale ceną za to jest duży moment dynamiczny obciążający armaturę i napęd. Podczas opóźnienia trwającego od rozpoznania momentu obrotowego do wyłączenia silnik pracuje pełną mocą. Nawet po odłączeniu napięcia zasilającego magazynowana energia kinetyczna pcha system napędowy w kierunku nadmiernego momentu. Zawór i napęd należy wymiarować z uwzględnieniem nadmiernych momentów, co jest dużym marnotrawstwem w porównaniu do normalnego trybu pracy! Rozwiązaniem mogą być dodatkowe hamulce w napędzie. Oznacza to z kolei dodatkowe koszty i naturalne zużycie się hamulców.

Napęd o zmiennej prędkości obrotowej może tuż przed osiągnięciem położenia krańcowego zmniejszyć prędkość obrotową zmniejszając tym samym energię kinetyczną do jej nieznacznego ułamka. Ponadto napięcie na napędzie można dobrać w taki sposób, żeby wy-

magany moment krytyczny był równy momentowi wyłączenia armatury. W ten sposób nawet opóźnienie pomiędzy zarejestrowaniem sygnału wyłączenia a rzeczywistym wyłączeniem silnika nie będzie miało już żadnego znaczenia.

Przy dużym momencie obrotowym napęd łagodnie wyprowadza zawór z jednego położenia krańcowego i równie łagodnie wprowadza go w drugie położenie krańcowe (ilustr. 4). Zintegrowana przetwornica częstotliwości automatycznie moduluje częstotliwość i amplitudę w położeniach krańcowych, dzięki czemu można zmniejszyć prędkość obrotową silnika. To znaczy, że trzpień napędu przesuwają się w strefie położenia krańcowego, którą można określić jako x% skoku zaworu, ze zredukowaną prędkością. I to bez nadmiernego momentu, także przy uaktywnionej blokadzie.

Dzięki temu zawór, gniazdo zaworu, uszczelki i inne elementy mechaniczne (ilustr. 5) są chronione w szczególny sposób.

Różne prędkości obrotowe w trakcie przesterowania zaworu

Czasami uzasadnione jest stosowanie różnej prędkości obrotowej w zakresie skoku zaworu, aby np. wymusić odpowiednie zachowanie w położeniach krytycznych bez oddziaływania na przebieg procesu lub utrzymać na niezmiennym poziomie wartości parametrów procesu, jak ciśnienie, temperatura, przepływ itd. lub też aby zlinearyzować charakterystykę zaworu. To, co w napędach o stałej prędkości obrotowej jest możliwe tylko poprzez włączenie lub wyłączenie (tryb taktowania) i wskutek tego wywołanie wielu małych uderzeń, w napędach o zmiennej prędkości obrotowej jest standardem.

Istnieje wiele możliwości regulacji prędkości obrotowej podczas pracy:



Ilustracja 3. Zawór redukcyjno-schładzający z napędem SIPOS 5 Flash o zmiennej prędkości obrotowej

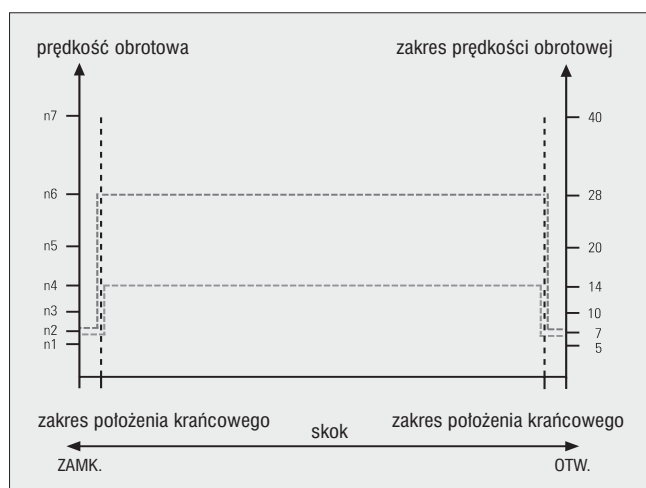
Zastosowanie różnych prędkości nastawy w kierunku zamykania lub otwierania

Napędy ze zmienną prędkością obrotową można nastawiać i parametryzować w taki sposób, że prędkość przestawienia zaworu w kierunku zamykania będzie inna niż w kierunku otwierania (ilustr. 6).

Typowy przypadek takiej sytuacji to wirówka sedimentacyjna (dekanter) w oczyszczalniach ścieków (ilustr. 7) w technologii SBR (Sequencing Batch Reaktor). Wirówkę zanurza się w medium z małą prędkością, aby zapobiec zawirowaniom osadów. Po odpływie wody wirówka podnosi się z większą prędkością z powierzchni ścieków i powraca w położenie wyjściowe.

Różne prędkości obrotowe podczas pracy w trybie normalnym i awaryjnym

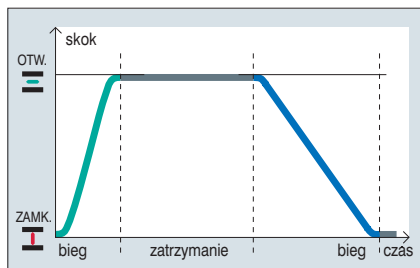
Specjaliści od automatyki znają ten problem: dylemat zaprojektowania opty-



Ilustracja 4. Wyjście z położenia początkowego i przechodzenie do położenia krańcowego z małą prędkością



Ilustracja 5. Przepustnice o średnicy DN 1800 na ciśnieniu PN 1,6 z napędem ze zmienną prędkością obrotową do regulacji dopływu powietrza do pieca hutniczego



Ilustracja 6. Siedem różnych prędkości umożliwia wybór i parametryzację różnych prędkości obrotowych dla pracy w kierunku zamykania i otwierania

malnego obwodu regulacji zarówno na potrzeby pracy, jak i odpowiedniej reakcji w przypadku awarii. Chciałoby się, żeby zawory z napędami podczas pracy w trybie regulacji były precyzyjnie pozycjonowane za pomocą małej prędkości obrotowej, ale żeby w sytuacji awaryjnej (zrzucenie obciążenia w elektrowni, ...) zostały przestawione w określone położenie z maksymalną prędkością obrotową. Za pomocą napędów o zmiennej prędkości obrotowej jest to możliwe bez problemu (ilustr. 8). Sposób zadania takiego trybu pracy jest tylko kwestią „inteligencji” programu.

Funkcja dla awaryjnego sygnału wejściowego mogłaby wyglądać np. następująco: w napędach o zmiennej prędkości obrotowej poprzez wejście sygnałów awaryjnych inną (np. szybszą) prędkość można nastawiać osobno dla obu kierunków.

Sygnał awaryjny przesuwa trzpień napędu z nastawioną prędkością w zadane położenie (zamk., otw. lub każde inne dowolne położenie pośrednie). Ponadto dostępne są różne warianty oprogramowania uwzględniające wymagania klientów.

Zmiana prędkości obrotowej zależnie od skoku

Prędkość obrotową lub prędkość pracy napędu o zmiennej prędkości obrotowej można regulować (tzn. programować) także w zależności od skoku. Istnieje możliwość podziału całego skoku zaworu na maks. 10 odcinków o różnych prędkościach (ilustr. 9). Za pomo-



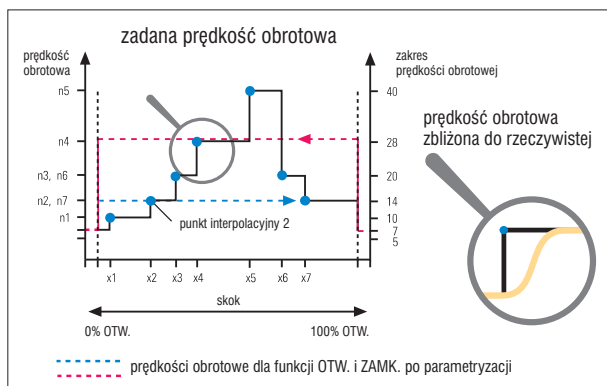
Ilustracja 7. Napęd ze zmienną prędkością obrotową zamontowany na wirówce sedymentacyjnej w oczyszczalni ścieków

ca tej funkcji można uzyskać proporcjonalność skoku lub przepływu medium. Napęd ze zmienną prędkością obrotową realizuje to zadanie poprzez zmianę prędkości obrotowej podczas wykonania pełnego skoku. Funkcja awaryjna pozostaje bez zmian. Można również określić, czy napęd będzie ją realizował według zdefiniowanej na podstawie zadanych punktów, charakterystyki dla obsługi na miejscu, poprzez funkcje sterowania zdalnego lub zawsze.

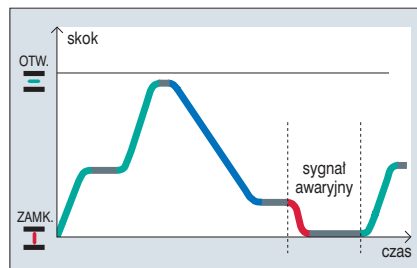
Ta funkcja wykorzystywana jest na przykład w wielu elektrociepłowniach w Szwecji. Napęd uruchamia armaturę w wodociągu rozdzielczym o temperaturze 120/60°C (ilustr. 10). Pierwszy odcinek napęd pokonuje z dużą prędkością do momentu spadku ciśnienia po drugiej stronie armatury, a następnie powoli przyjmuje położenie zamknięte. To samo odbywa się także w drugą stronę. W ten sposób zapobiega się uderzeniom hydraulicznym w rurociągu.

Regulacja prędkości obrotowej za pomocą sygnału analogowego

W napędach, których pracą sterują przetwornice częstotliwości, możliwe jest również zadanie prędkości obrotowej za pomocą sygnału analogowego 0/4-20 mA (ilustr. 11). Funkcja „regulacji prędkości obrotowej za pomocą sygnału analogowego” umożliwi napędowi pracę z różną prędkością obrotową bez wcześniejszej zmiany jego parametrów.



Ilustracja 9. Wykres zależności skoku i prędkości obrotowej



Ilustracja 8. Oprócz różnych prędkości pracy w kierunku zamykania lub otwierania można parametryzować również inne prędkości dla funkcji awaryjnej

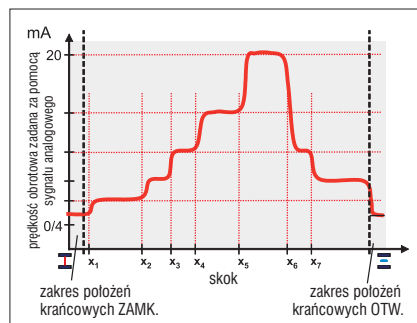
Zalety stosowania napędów ze zmienną prędkością obrotową dla etapów planowania i projektowania

Wyrównanie wahań napięcia

W asynchronicznym silniku trójfazowym moment obrotowy zmienia się proporcjonalnie do kwadratu napięcia doprowadzonego do silnika. Przy 70% napięcia znamionowego napęd sterowany konwencjonalnie wytwarza połowę momentu. Nawet, jeśli wahania napięcia w normalnej sieci nie są zbyt duże, to lokalnie napięcie zasilania spada ze względu na rozruch sąsiednich dużych odbiorników (pomp, kompresorów, dużych silników). Napęd musi być



Ilustracja 10. Napęd SIPOS 5 Flash w węźle ciepłowniczym



Ilustracja 11. Prędkość obrotowa zadana za pomocą sygnału analogowego



dostosowany do tak dużych spadków napięcia. Z drugiej strony należy zagwarantować, żeby przy maksymalnym napięciu podczas wyłączania nie uległa uszkodzeniu armatura. Musi być ona zatem dobrana do takiego punktu pracy.

Dzięki napędowi o zmiennej prędkości obrotowej wyjściowy moment obrotowy w dalszych zakresach jest niezależny od rzeczywistego napięcia w sieci.

Jednofazowo z pełnym momentem ruszyć z miejsca, a w razie potrzeby wykorzystać przemiennik częstotliwości

Czasami, w przypadku awarii zasilania, zachodzi konieczność dalszej pracy napędu ze sterowaniem za pomocą przemiennika częstotliwości zasilanego z akumulatora. Zastosowanie „standardowego” napędu trójfazowego staje się nieuzasadnione ze względu na olbrzymie koszty przetwornika prądu trójfazowego. Przetwornik jednofazowy natomiast wymaga zastosowania silników jednofazowych, a więc silników „uniwersalnych” z kondensatorem rozruchowym, w których problem stanowi moment rozruchowy.

Napęd o zmiennej prędkości obrotowej jest w stanie wytwarzać, do podanej przez producenta mocy maksymalnej, z napięcia jednofazowego przemiennie napięcie trójfazowe zasilające silnik i w ten sposób wypełnić tę niszę bez dodatkowych nakładów lub uszczerbku na wydajności.

Projektowanie połączeń elektrycznych

Za pomocą przetwornicy częstotliwości rozruch silnika od poślizgu = 1 (prędkość obrotowa = 0) do poślizgu nominalnego nie musi odbywać się przy wysokim prądzie rozruchowym, lecz w każdej chwili zadawana jest nowa częstotliwość, a silnik pracuje zawsze w punkcie prądu nominalnego. Inaczej mówiąc: prąd rozruchowy jest mniejszy lub równy prądowi znamionowemu.

Przy zastosowaniu kilku napędów w jednym odgałęzieniu możliwe jest ograniczenie rozmiarów szafy sterowniczej i znaczne zmniejszenie przekroju kabli!

Automatyczna korekcja kolejności faz

Dla prostownika nie ma znaczenia kolejność podłączenia faz do zacisków. Do tego służy funkcja automatycznej korekcji. Kierunek obrotu silnika określany jest tylko przez wielkość zadaną w falowniku.

Rozruchowy moment obrotowy

Przy mniejszych częstotliwościach amplituda napięcia pozwala na dokładne nastawienie momentu obrotowego silnika. Ponieważ właśnie przy małych częstotliwościach istnieje wystarczająca „rezerwa napięcia”, moment rozruchowy można zawsze wybrać w taki sposób, aby możliwe było uruchomienie także armatury zastanej.

Nadzorowanie pracy silnika – pełne zabezpieczenie

Oprócz ciągłych pomiarów temperatury silnika przez czujniki można również kontrolować prąd silnika za pomocą przetwornicy częstotliwości. Fenomen „spalonego” silnika odchodzi tym samym w przeszłość.

Części zamienne a projektowanie

Dzięki możliwości dowolnej nastawy prędkości obrotowych i momentów wyłączających lub zmiany kierunku obrotu znacznie łatwiejsze staje się projektowanie i optymalizacja procesu pracującej instalacji.

Ponadto znacznie zmniejsza się liczba wariantów silnika oraz wielkości i typów napędów stosowanych w elektrowni/zakładzie przemysłowym. Nie ma również konieczności montowania stosowanych zwykle dla różnych prędkości obrotowych reduktorów i silników. Zmniejsza to znacznie ilość magazynowanych części zamiennych.



REKLAMA

SIPOS

AKTORIK

Inteligentne działanie

SIPOS Aktorik Twoim dostawcą napędów elektrycznych oraz systemów sterowania



System sterowania napędami SIMA Master station

Napęd wieloobrotowy SIPOS 5 Flash



► Wysoka dokładność pozycjonowania

► Zmienna prędkość obrotowa

► Ochrona armatury



AUMA Polska Sp. z o.o.
ul. Legionów Polskich 17
41-310 Dąbrowa Górnicza
Tel. 032 261 56 68
Fax 032 261 48 23
E-mail: r.ludzien@auma.com.pl
www.auma.com.pl