

Regulacja prędkości obrotowej silników elektrycznych

W trakcie eksploatacji napędu elektrycznego często zakres możliwych oszczędności wiąże się z charakterystyką momentu obciążenia. W systemach z charakterystyką stałomomentową zużycie energii jest wprost proporcjonalne do redukcji momentu i prędkości obrotowej wału, podczas gdy w zastosowaniach ze zmiennym momentem o kwadratowej charakterystyce obciążenia zużycie energii zmienia się w trzeciej potęgze do prędkości obrotowej

PRACA W ZAKRESIE OBCIĄŻEŃ CZĘŚCIOWYCH I KWESTIA $\cos \phi$



Rys. 1. Dopasowane strategie regulacji umożliwiają energetycznie optymalną pracę - w przetwornicach Danfoss wprowadzono sprawdzoną regulację AEO

Współczynniki sprawności dla **silników indukcyjnych**

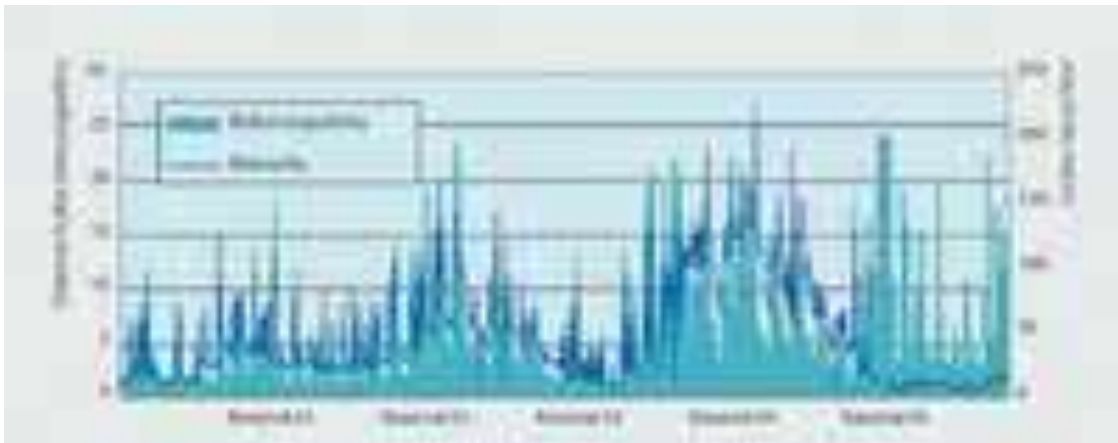
trójfazowych podane są zazwyczaj tylko dla punktu nominalnego.

Jeżeli **silnik** pracuje zasilany bezpośrednio z sieci z obciążeniem poniżej nominalnego, znacznie pogarsza się jego sprawność z powodu stałych strat mechanicznych i elektromagnetycznych. Praca z przetwornicą częstotliwości zapewnia - w zależności od jakości metody regulacji - zawsze optymalne namagnesowanie **silnika**. Dlatego też przy zastosowaniu przetwornicy współczynnik sprawności całego układu

napędowego nie spada tak bardzo przy pracy z niedociążonym silnikiem. Wyczuwalną poprawę można zauważyć zwykle przy silnikach o mocach powyżej 11 kW.

Wiele przetwornic częstotliwości koryguje również $\cos \varphi$ niemal do wartości 1 i redukuje w ten sposób indukcyjny pobór mocy biernej. Tym samym zmniejszają się straty w kablach zasilającym napęd.

ALGORYTM DANFOSS AUTOMATYCZNEJ OPTIMALIZACJI ZUŻYCIA ENERGII



Rys. 2. Przykład z praktyki: z wprowadzeniem napędów z regulacją prędkości obrotowej w 4. kwartale doszło do znacznej redukcji rozruchów, a tym samym mechanicznego obciążenia układu

W zastosowaniach, w których nie występują szybkie zmiany obciążenia, użytkownik może zastosować automatyczną optymalizację zużycia energii (AEO). Przetwornica obniża wówczas namagnesowanie silnika do optymalnego minimum. Efektem jest dodatkowa oszczędność zużycia energii w stosunku do tej wynikającej ze zmniejszenia obrotów. Funkcja ta sprawdza się przy wszystkich powolnych regulacjach, jakie zwykle spotyka się w układach automatyki pomp i wentylatorów.

Zmniejszenie cykli rozruchu

Regulacja prędkości obrotowej może w wielu zastosowaniach zredukować liczbę uruchomień. Każdy nieregulowany rozruch **silnika elektrycznego** wymaga dodatkowej energii. W przypadku pomp zużycie energii na uruchomienie wynosi zazwyczaj 5-10% całkowitego zużycia, ale istnieją przykłady na to, że na rozruch konieczne jest do 40% energii.

Ponadto zmniejszają się prądy szczytowe i obciążenia udaru mechanicznego przy rozruchu. Inne korzyści z zastosowania **regulacji prędkości obrotowej** to dłuższy czas życia urządzeń z uwagi na zmniejszenie mechanicznego obciążenia jego komponentów. Wszystkie te możliwości dostępne są dzięki zintegrowanym funkcjom oprogramowania zastosowanych w nowoczesnych przetwornicach częstotliwości.

UKŁADY ZE STAŁOMOMENTOWĄ CHARAKTERYSTYKĄ OBCIĄŻENIA



Rys. 3. Poprzez optymalizację momentu obrotowego i prędkości obrotowej można zwiększyć energooszczędność w wielu zastosowaniach ze stałym momentem obrotowym

Do zastosowań z charakterystyką stałego momentu obciążenia należą takie, w których obciążenie nieznacznie zmienia się przy zmianie **prędkości obrotowej** w szerszym zakresie. Zaliczają się tutaj między innymi podajniki linii produkcyjnych, taśmociągi, podnośniki, mieszadła, młyny.

Rozważając przykład aplikacji podajnika, gdzie korpus montowanego do samochodu silnika stoi na taśmie produkcyjnej, oczywiste jest, że ciężar korpusu jest zawsze taki sam, obojętnie czy taśma przesuwa się szybko, czy wolno. Tym samym moment potrzebny do poruszania tego bloku jest zawsze taki sam. Oczywiście zmieniają się momenty tarcia i przyspieszenia zależnie od stanu pracy, jednak zapotrzebowanie na moment obciążenia jest stałe. Moc, jakiej wymaga taki system, jest proporcjonalna do potrzebnego momentu obrotowego i **prędkości obrotowej silnika**. Jeżeli możliwe jest zmniejszenie **prędkości obrotowej** przy stałym obciążeniu, pojawią się bezpośrednio także oszczędności energetyczne.

Często ilość towaru transportowana na taśmie nie jest stała. Jeżeli prędkość taśmy dopasowana jest do transportowanej ilości materiału, zapewnia to nie tylko płynność i ciągłość transportu, lecz także oszczędność potrzebnej energii. Jeżeli jednak dopasowanie prędkości jest niemożliwe lub niepożądane, to i tak w przypadku większości przetwornic częstotliwości możliwa jest oszczędność energii. Regulują one zależnie od obciążenia napięcie wyjściowe silnika. Przetwornica częstotliwości zasila na przykład silnik 400 V w trybie jałowym przy częstotliwości wyjściowej 50 Hz często tylko napięciem 380 V. Przy wzroście obciążenia zaś podnosi wartość napięcia. Jakość takiej regulacji określana jest jakością przetwornicy. Same oszczędności energetyczne, jakie można uzyskać dzięki tej funkcji, jednak nie wystarczają do uzasadnienia inwestycji w przetwornicę częstotliwości.

UKŁADY ZE ZMIENNYM MOMENTEM OBCIĄŻENIA O CHARAKTERYSTYCE KWADRATOWEJ

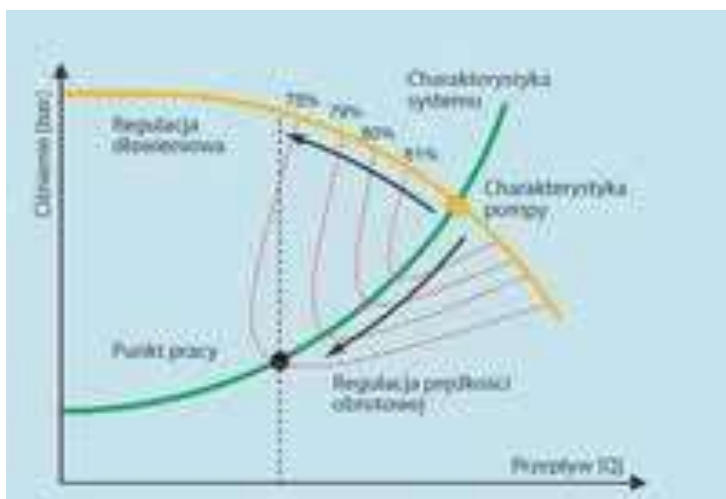


Rys. 4. Przy zmniejszeniu prędkości obrotowej następuje zmniejszenie zapotrzebowania na energię w funkcji trzeciej potęgi; zastosowanie przetwornic częstotliwości do regulacji wentylatorów i pomp wirowych amortyzuje się tym samym w wielu zastosowaniach już w ciągu niecałych 2 lat

UKŁADY **regulacji obrotów** pomp i wentylatorów to najczęstsze zastosowania napędów ze zmiennym momentem obciążenia o charakterystyce kwadratowej. W przypadku pomp należy jednak odróżnić szeroko rozpowszechnione pompy wirowe, mające zmienną charakterystykę momentu, od pomp mimośrodowych, próżniowych bądź wyporowych, które mają moment obciążenia o stałym przebiegu.

Liczba zastosowań pomp i wentylatorów jest ogromna. Około 70% energii zużywanej do celów przemysłowych w całej Unii Europejskiej przypada na **silniki elektryczne**, zaś pompy i wentylatory mają w tym udział wynoszący około 37%. W handlu, drobnej wytwórczości i sektorze usług udział ten wynosi w całej UE nawet 40%.

Prostą, ale bardzo efektywną metodą oszczędzania energii w maszynach przepływowych ze zmiennym momentem obciążenia jest **regulacja prędkości obrotowej**. Przy zmniejszeniu **prędkości obrotowej** zapotrzebowania na energię maleje aż w trzeciej potęgzie. Ten wysoki potencjał oszczędności czyni wszystkie aplikacje z momentem o kwadratowym przebiegu idealnymi obiektami do rozpoczęcia działań zmierzających do analizy energooszczędności.



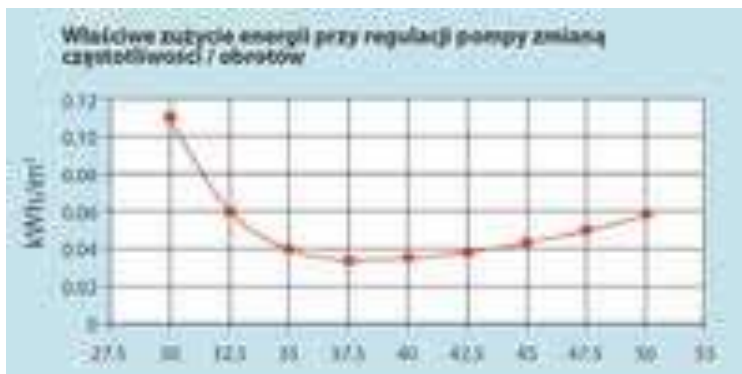
Rys. 5. Na wykresie charakterystyk, obok charakterystyki pompy i systemu, pokazano także kilka krzywych granicznych współczynnika sprawności; zarówno przy regulacji ciśnieniem, jak i przy regulacji zmianą prędkości obrotowej punkt roboczy wychodzi poza optimum współczynnika sprawności

Dla uniknięcia niespodzianek przy **regulacji prędkości obrotowej** pomp i wentylatorów użytkownik powinien w fazie projektowania pamiętać, że wraz ze zmianą prędkości obrotowej zmienia się także punkt roboczy i tym samym współczynnik sprawności maszyny przepływowej.

Zespół złożony z maszyny przepływowej i przetwornicy ze zmiennym zakresem **prędkości obrotowej** to system, który oszczędza energię. Jeżeli różnica między maksymalną potrzebną mocą a przeciętną pracą z niedociążonym **silnikiem** jest zbyt duża, dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie układu kaskadowego. Także przy przebudowie istniejącego już systemu takie inwestycje zwracają się po krótkim czasie. W układzie kaskadowym pompa z **regulacją prędkości obrotowej** pokrywa zapotrzebowanie podstawowe.

Z chwilą wzrostu zapotrzebowania przetwornica częstotliwości łączy kolejne pompy. W ten sposób pompy pracują możliwie przy swoim optymalnym współczynniku sprawności. Regulacja pompy zapewnia zawsze najlepsze pod względem energetycznym wykorzystanie układu. Taki sam układ może być analogicznie zastosowany do zespołu wentylatorów. W zależności od producenta i wersji, odpowiednie regulatory kaskady są już wbudowane w przetwornicę lub są dostępne jako moduły zewnętrzne.

SZCZEGÓLNE CECHY MASZYN PRZEPŁYWOWYCH



Rys. 6. Krzywa przedstawia zużycie energii wybranej pompy przy regulacji prędkości obrotowej - przy częstotliwości poniżej 32 Hz dodatkowe straty pompy przewyższają oszczędności; w przedstawionym urządzeniu optymalna energetycznie częstotliwość wynosi więc 38 Hz - gdyby pompa nie miała regulacji prędkości obrotowej, bilans energetyczny byłby znacznie gorszy

W przypadku większości układów pompowych lub wentylatorowych zastosowanie znajdują klapy, żaluzje, zawory dławiące bądź zawory trójdrogowe, które służą do regulacji ciśnienia lub wielkości przepływu. Jeżeli regulacja pompy wirowej odbywa się za pomocą zaworu poprzez dławienie, punkt roboczy przesuwają się wzdłuż krzywej charakterystyki pracy pompy.

Dochodzi jedynie do minimalnej redukcji potrzebnej energii w porównaniu z zapotrzebowaniem dla znamionowego punktu pracy pompy. W przypadku regulacji wydajności pompy za pomocą zmiany prędkości obrotowej, punkt roboczy przesuwają się wzdłuż krzywej charakterystyki systemu. Przy takim sposobie regulacji zapotrzebowanie na energię spada w trzeciej potęgze w porównaniu z regulacją dławieniem! Pompa potrzebuje, przykładowo, przy połowie **prędkości obrotowej** tylko jednej ósmej poboru mocy.

Przez analogię odnosi się to także do wentylatorów i wszystkich innych typów pomp ze zmiennym kwadratowym przebiegiem charakterystyki momentu obciążenia. Na przedstawionym wykresie obok krzywej charakterystyki pompy i systemu narysowano także krzywe graniczne współczynnika sprawności. Można dzięki temu zauważyć, że zarówno przy regulacji dławieniowej, jak i regulacji zmianą **prędkością obrotową**, punkt roboczy wychodzi z optimum współczynnika sprawności.

Z przedstawionej specyficznej krzywej zużycia energii (dotyczy tylko wybranej pompy) można odczytać wpływ regulacji na zmianę współczynnika sprawności pompy. Od 32 Hz w dół dodatkowe straty pompy zaczynają przewyższać oszczędności zużycia energii w stosunku do pracy z nominalnymi parametrami (zasilanie bezpośrednie 50 Hz). W rozpatrywanym urządzeniu energetycznie optymalna częstotliwość wynosi zatem 38 Hz.