

Zastosowanie przetwornicy częstotliwości VLT Refrigeration Drive FC103 do sprężarek chłodniczych z uwzględnieniem oszczędności energii elektrycznej

Andrzej Sokołowski

Przetwornice częstotliwości prądu przemiennego są obecnie powszechnie stosowane w aplikacjach HVAC/R do regulacji wydajności sprężarek, wentylatorów i pomp. Głównym powodem zastosowania przetwornic częstotliwości jest płynna regulacja wydajności tych urządzeń w szerokim zakresie. Dzięki regulacji prędkości obrotowej przetwornica częstotliwości zapewnia dynamiczne i optymalne dopasowanie układu do jego bieżącego zapotrzebowania na energię, zgodnie z zadanym wydatkiem. W niniejszym artykule prezentowane są doświadczenia i wnioski z zastosowania przetwornic częstotliwości prądu przemiennego do sprężarki chłodniczej przy uwzględnieniu aspektu optymalizacji energii elektrycznej.

W ostatnich latach zastosowanie przetwornic częstotliwości do regulacji wydajności sprężarek chłodniczych stało się pewnym standardem. Związany z tym duży potencjał oszczędności energii elektrycznej i wymiernych oszczędności finansowych może zapewnić zwrot kosztów inwestycyjnych w krótkim czasie. W klimatyzacji i chłodnictwie przemysłowym sprężarki są głównym odbiornikiem energii elektrycznej. W porównaniu z rozwiązaniami regulacji wydajności chłodniczej przy stałej prędkości, tj. z regulacją wydajności sprężarki spiralnej (*scroll*) on/off, tłokowej on/off lub przez zmianę liczby tłoków lub śrubowej przy stałej prędkości za pomocą suwaka, przetwornica częstotliwości reguluje wydajność chłodniczą sprężarki przez regulację jej prędkości obrotowej. Rys. 1 pokazuje zależność wydajności chłodniczej od częstotliwości zasilania/prędkości obrotowej silnika dla danych warunków temperaturowych układu chłodniczego. Zasadniczą kwestią jest prawidłowy dobór przetwornicy częstotliwości. W dalszej części artykułu zostaną omówione istotne kwestie dotyczące zastosowania przetwornicy do sprężarki śrubowej.

Dobór przetwornicy częstotliwości do sprężarki śrubowej

Prawidłowy dobór przetwornicy częstotliwości do sprężarki śrubowej powinien uwzględniać jej maksymalne zapotrzebowanie na energię przy maksymalnej wydajności chłodniczej oraz brać pod uwagę chwilowe przeciążenia w trakcie rozruchu lub pracy. Charakterystyka mechaniczna sprężarki śrubowej (moment statyczny obciążenia w funkcji prędkości obrotowej)



jest w przybliżeniu stałomomentowa, gdyż średnia wartość statycznego momentu obciążenia sprężarki w przybliżeniu jest stała i nie zmienia się wraz ze zmianą prędkości obrotowej.

Z reguły przetwornica częstotliwości dobierana jest do sprężarki śrubowej na podstawie kryterium prądowego, czyli prądu znamionowego silnika w tzw. trybie normalnego obciążenia

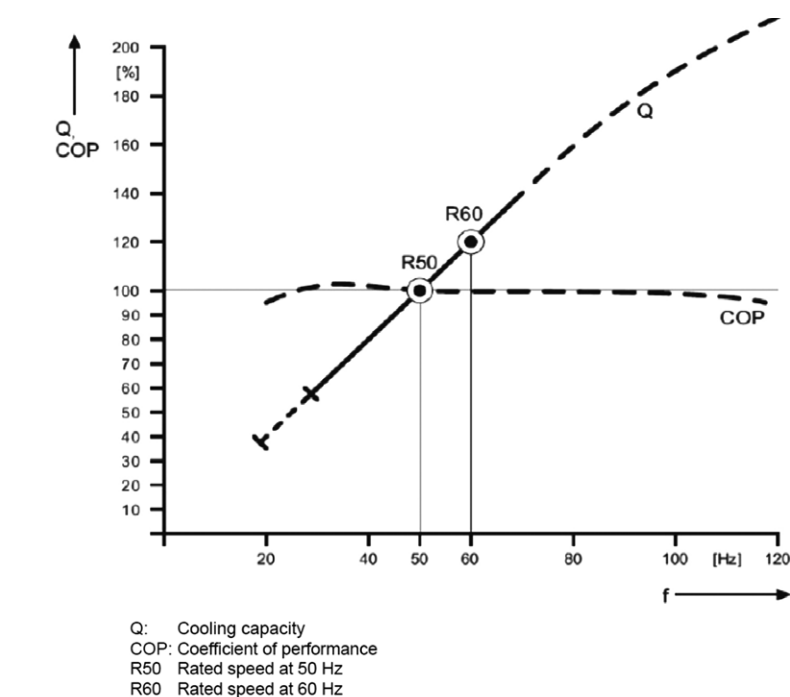
z niską przeciążalnością prądową, np. 110% prądu znamionowego przetwornicy przez 1 min. Wynika to z faktu, że sprężarki śrubowe są przeważnie odciążane przez zawór obejściowy w trakcie rozruchu, są uruchamiane do minimalnej prędkości obrotowej (typowo 25 Hz) przy ustawieniu suwaka na 50% i nie generują przeciążeń przy rozruchu. Moment rozruchowy odciążonej sprężarki śrubowej może mieścić się w granicach do 70% momentu nominalnego silnika.

Dopiero po uzyskaniu stałej prędkości sprężarka jest dociążana i dalej regulacja mocy chłodniczej odbywa się poprzez zwiększenie obrotów oraz nastawy punktu pracy suwakiem.

Podczas doboru przetwornicy do sprężarki należy zwrócić uwagę, dla jakich warunków producent silnika podaje jego dane znamionowe, moc mechaniczną na wale, prędkość znamionową i wynikający z nich moment obrotowy, prąd znamionowy, napięcie, częstotliwość, sprawność, współczynnik mocy.

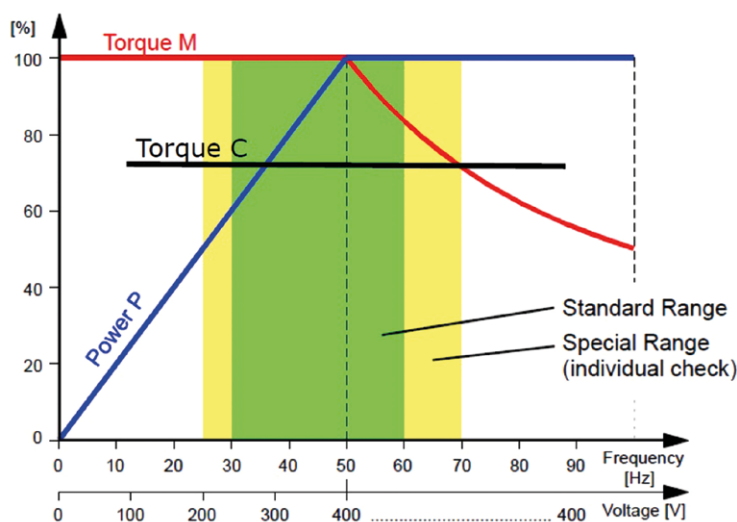
Istotną kwestią jest górny zakres częstotliwości użytkowej zasilania silnika 50 Hz lub 60 Hz i wynikający z tej częstotliwości zakres regulacji prędkości obrotowej dla sprężarki. Jeżeli silnik jest znamionowany dla częstotliwości 50 Hz, jak pokazano na rys. 2, wzrost częstotliwości zasilania silnika powyżej 50 Hz powoduje osłabienie pola magnetycznego w silniku i w konsekwencji osłabienie momentu obrotowego wytwarzanego przez silnik. Moc rośnie liniowo $P = k \cdot n$ do 50 Hz. Po jej osiągnięciu $P = const$ ze względu na brak możliwości zwiększenia napięcia zasilania silnika przez przetwornicę powyżej napięcia zasilania z sieci.

Prawidłowy dobór polega na przyjęciu i zastosowaniu właściwego kryterium doboru prądowego silnika i przetwornicy częstotliwości, uwzględniającego przeciążenie momentem w trakcie



Rys. 1. Zależność mocy chłodniczej Q w jednostkach względnych od częstotliwości zasilania silnika sprężarki

(źródło Danfoss)



Rys. 2. Zależność momentu silnika Torque M, momentu sprężarki Torque C oraz mocy Power P w funkcji częstotliwości i napięcia zasilania

(źródło Danfoss)

rozruchu, podczas pracy dynamicznej oraz uwzględniającego zapotrzebowanie na moment sprężarki dla górnej wartości zakresu regulacji prędkości obrotowej. Przy pracy z prędkością

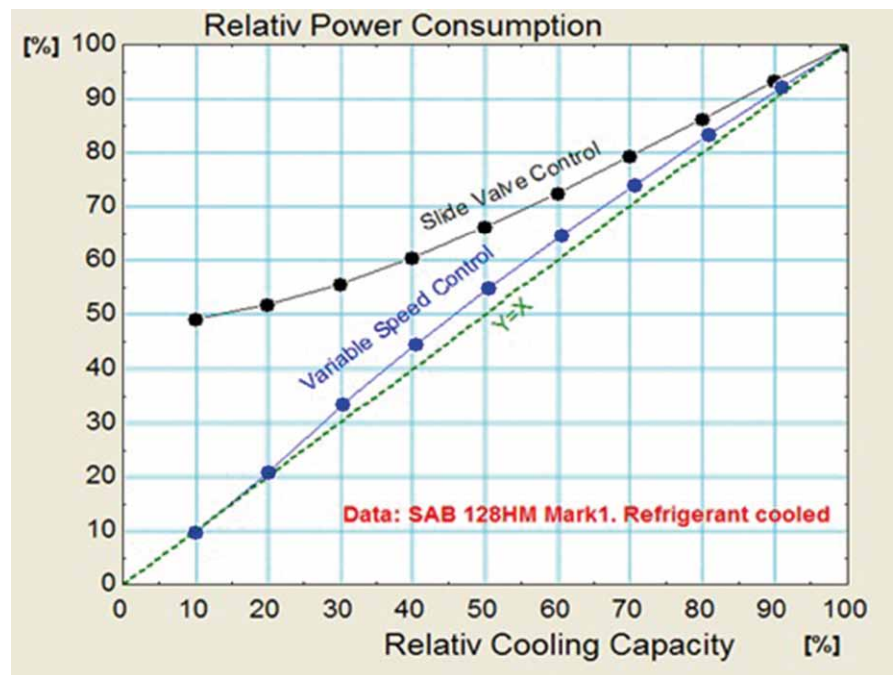
nadsynchroniczną >50 Hz nawet przewymiarowana przetwornica może nie być w stanie „wspomóc” silnika w wygenerowaniu większego momentu przez dodatkowe „podbicie” napięcia zasilania

silnika (np. zwiększenie napięcia o 15% przez włączenie tzw. *overmodulation*), jeżeli sam silnik nie został odpowiednio dobrany na ten zakres prędkości.

Dopuszczalna chwilowa przeciążalność prądowa i długotrwała obciążalność prądowa przetwornicy powinny uwzględniać także specyficzne warunki zasilania i pracy silnika, wynikające z możliwych chwilowych zakłóceń sieci oraz funkcjonowania samej instalacji chłodniczej. Dla niektórych instalacji należy wziąć pod uwagę zapewnienie ciągłej pracy sprężarki w przypadku chwilowych zapadów lub spadków napięcia zasilania sieci nawet w granicach do -20% napięcia nominalnego. Chwilowe spadki napięcia zasilania powodują wzrost poboru prądu przez silnik sprężarki. Problemy z CO₂ w instalacji chłodniczej, np. wysokociśnieniowej, związane z nagłą zmianą ciśnień, przenoszą się na silnik sprężarki i w konsekwencji na przetwornicę, wywołując przeciążenie prądowe lub przepięcie w obwodzie DC przetwornicy, a w konsekwencji mogą spowodować wyłączenie awaryjne sprężarki.

Oszczędności energii wynikające z regulacji sprężarki śrubowej przetwornicą częstotliwości

Jak można zauważyć z rysunku 3, przy metodzie regulacji suwakiem, bez przetwornicy (linia czarna), wraz ze zmniejszaniem wydajności chłodniczej następuje pogorszenie wartości $COP = Q/P$ przez zwiększone zapotrzebowanie sprężarki na moc napędową. Korzyści z zastosowania metody regulacji wydajności przetwornicą (linia niebieska) wynikają z poprawy tego współczynnika wraz ze zmniejszeniem wydajności sprężarki. Efekt ten jest już widoczny dla nominalnych obciążeń, ze względu na lepszą jakość i dynamikę



Rys. 3. Zależność między mocą chłodniczą a napędową sprężarki w jednostkach względnych w % dla dwóch sposobów regulacji wydajności chłodniczej (źródło Danfoss)

regulacji. Mniejsze straty na ssaniu i tłoczeniu, krótszy czas i mniejsza bezwładność w reakcji na wartość zadaną, lepsze dociążenie sprężarki. Z powyższego rysunku wynika, że dla metody regulacji wydajności chłodniczej przetwornicą częstotliwości, dla określonych temperatur skraplania i parowania oraz temperatury przegrzania, można przyjąć w przybliżeniu $COP = const$. Jest to założenie poprawne, zwłaszcza że zakres regulacji prędkości obrotowej sprężarki śrubowej jest zawężony (typowo od 25 Hz do 50 Hz lub 60 Hz).

Do wyznaczenia/oszacowania ewentualnych oszczędności energii niezbędne są jeszcze: profil obciążenia sprężarki, dane Q i P dla analizowanego okresu. Oczywiście porównanie obu rozwiązań powinno dotyczyć tych samych warunków temperaturowych układu chłodniczego.

Wnioski

Zastosowanie przetwornic częstotliwości do regulacji wydajności chłodniczej sprężarek śrubowych przez zmianę prędkości obrotowej zapewnia optymalizację energii elektrycznej, zmniejszając

koszty eksploatacji układów chłodniczych. Chroni środowisko, zmniejszając emisję gazów cieplarnianych.

Jest w stanie zapewnić zwrot kosztów inwestycyjnych w relatywnie krótkim czasie.

Analiza energetyczna jest stosunkowo przystępna ze względu na liniowe zależności między wielkościami fizycznymi. ■

Bibliografia: Danfoss A/S

Andrzej Sokołowski - Danfoss
Poland Sp. z o.o., Napędy Elektryczne

Danfoss

Danfoss Poland Sp. z o.o.
ul. Chrzanowska 5
05-825 Grodzisk Mazowiecki
tel. 22-755 06 68
fax 22-755 07 01
vlt_drives_support@danfoss.pl