

# Sterowanie inwerterowe – istota regulacji systemów VRF

Michał ZALEWSKI

Nazwa systemów VRF w rozwinięciu brzmi Variable Refrigerant Flow, czyli zmienny przepływ czynnika. I rzeczywiście w systemach VRF praktycznie nie ma momentu w którym czynnik płynie w „nominalnej” wielkości.

Obciążenie cieplne, wynikające z zysków, bardzo rzadko osiąga wartość obliczeniową – czyli maksymalną (statystycznie jedynie 3% czasu pracy urządzenia). W pozostałym czasie eksploatacji systemy pracują przy niepełnym obciążeniu. Aby jednak mogły pracować z wysoką efektywnością i bezpiecznie dla systemu chłodniczego, należy zmniejszać wydajność chłodniczą – najlepiej poprzez dostarczanie mniejszej ilości czynnika chłodniczego do wymienników. Gwarantuje to mniejsze obciążenie sprężarki, czyli mniejsze zużycie energii elektrycznej. Mniejszy przepływ czynnika pociąga za sobą oczywiście również konieczność zmniejszenia ilości energii cieplnej odbieranej przez skraplacz, czyli w praktyce zmniejszenie wydajności wentylatora skraplacza przez zmniejszenie obrotów silnika.

Aby zrealizować te wszystkie zadania stosuje się sterowanie inwerterowe. Sterowaniu inwerterowemu w układach VRF podlegają sprężarki oraz wentylatory.

## Co to jest inverter?

Inverter jest słowem o znaczeniu przeciwnym do słowa przetwornica i jest urządzeniem, które powoduje zamianę prądu stałego na zmienny, zgodnie z poniższym:

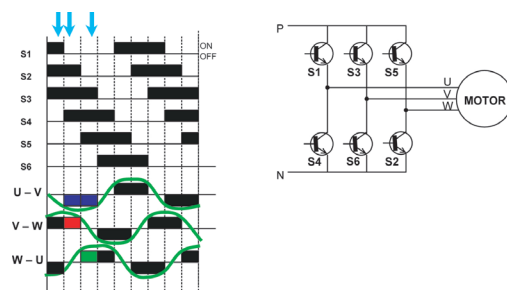
- Przetwornica (transformator): służy do przemiany prądu zmiennego na stały (prostownik);
- Inverter (transformator odwrotny): służy do przemiany prądu stałego na zmienny.

Ogólnie urządzenia, które zmieniają wyjście (częstotliwość lub napięcie) nazywane są falownikami (inwertery).

Jak powyżej stwierdzono inverter jest urządzeniem do zmiany prądu stałego na zmienny. Ponieważ urządzenia są zasilane prądem sieciowym przemiennym, w związku z tym przekształcanie napięcia w urządzeniu ma charakter jak to zobrazowano na rysunku 2. W pierwszym etapie za pomocą mostka diodowego prąd przemienny zamieniamy na prąd stały. W drugim etapie



Rys. 2. Przekształcenie napięcia



Rys. 3. Obwód podstawowy inwertera 3-fazowego

za pomocą baterii kondensatorów następuje wygładzenie wartości napięcia z charakterystyki półsinusoidalnej na liniową zaś w trzecim etapie za pomocą układu tranzystorów następuje regulacja napięcia i sterownie obrotami silnika (rys. 3).

Poprzez zmianę cyklu WŁ.-WYŁ. przełącznika, można zmieniać obroty silnika z wymaganą częstotliwością. Jeśli zmienia się napięcie prądu stałego, zmianie ulega również napięcie wejściowe silnika. Praktycznie, silnik obracany jest za pomocą 6 tranzystorów. Zamiast przełącznika tranzystory są na przemian włączane i wyłączane.

Regulacja napięcia odbywa się poprzez zastosowanie metody PWM (ang. Pulse-width modulation), czyli metody polegającej na zmianie szerokości impulsu.

Dla silników prądu przemiennego AC Inverter silnik wymaga falowego sygnału wejściowego. Szerokość impulsu prądu stałego z przetwornicy, jak pokazano na rysunku, zmienia się i jest obcinana poprzez załączanie inwertera. Obroty silnika sterowane są sygnałem pseudofalowym tworzonym przez dostosowywanie go do wymaganej średniej wartości napięcia (rys. 4).

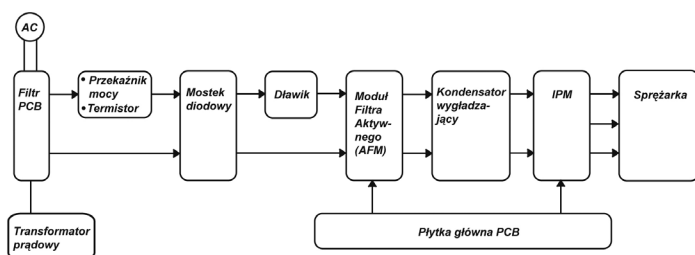
Dla silników prądu stałego DC Inverter, dzięki wykorzystaniu silnika bezszczotkowego, szerokość impulsu prądu stałego z przetwornicy zmienia się i jest obcinana poprzez załączanie inwertera. Obroty silnika sterowane są sygnałem przez dostosowanie ich do wymaganej średniej wartości napięcia. Różni się on od sygnału prądu przemiennego tym, że impulsy mają kształt fali o równym odstępnie (rys. 5). W silnikach sprężarek chłodniczych dodatkowo wykorzystuje się technologię sterowania PAM.

Dzięki wykorzystaniu silnika bezszczotkowego, obroty silnika sterowane są podaniem zmiennego napięcia od 140 V do 390

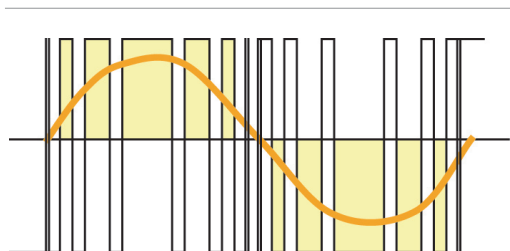
## O AUTORZE



Michał ZALEWSKI  
– Kierownik Sekcji  
Szkoleń, Akademia  
KLIMA-THERM



Rys. 1. Schemat blokowy inwertera jednostki zewnętrznej układu VRF



Rys. 4. Sterowanie PWM dla prądu AC

V prądu stałego bezpośrednio na uzwojenie silnika oraz przez urządzenie oddawcze napięcia składające się z dławika i elementu przełączającego (rys. 6).

Uzupełnienie systemu sterowania inwerterowego stanowią elementy zabezpieczające:

#### 1. Obwód zasilania

- Warystor – jeśli pomiędzy zaciskami warystora (VA101) przyłożone zostanie nieprawidłowe napięcie, nastąpi zwarcie i załączone zostanie zabezpieczenie obwodu;
- Pochłaniacz fal – podobnie jak warystor jest elementem zabezpieczającym części elektroniczne jednostki zewnętrznej przed nienaturalnie wysokim napięciem wywołanym np. uderzeniem pioruna (pochłania fale elektromagnetyczne generowane przez wyładowania atmosferyczne);
- Filtr szumów – ponieważ inwerter steruje tranzystorami poprzez przełączanie ich, generuje on wiele rodzajów szumów impulsowych. Filtr szumów zapobiega wyjściu tych szumów



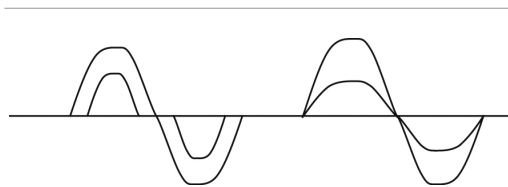
Rys. 5. Sterowanie PWM dla prądu DC



Rys. 6. Sterowanie PAM

z inwertera, pochłaniając je za pomocą cewki i przekazując wysokie częstotliwości harmoniczne na kondensator;

- Cewka – poprawia kształt fali (współczynnik mocy) komercyjnego zasilania pierwotnego, usuwając prąd częstotliwości harmonicznej zasilania i działając jako zabezpieczenie izolacyjne.
2. Obwód wykrywania prądu - jest to obwód, który zawsze wykrywa prąd wejściowy. Wejściem do mikroprocesora jest wartość porównywana z napięciem standardowym 5V, która wykrywa błąd transformatora prądowego tak, że prąd dostarczany od obwodu nie przekracza ustalonej wartości.
  3. Mostek diodowy - wykonuje całkowite prostowanie napięcia prądu przemiennego, które przechodzi przez filtr poprawy współczynnika mocy.



Rys. 7. Praca modułu filtra aktywnego

4. Termistor - wykrywa przyrost temperatury w radiatorze i zapobiega uszkodzeniu części elektronicznych w wyniku nadmiernego wzrostu temperatury.
5. Dławik - kształtuje falę prądu i usuwa zakłócenia.
6. Moduł filtra aktywnego - prąd wejściowy korygowany jest wewnątrz modułu za pomocą mikroprocesora oraz kompensującym obwodem przerywacza, a na wyjście podawana jest fala o współczynniku mocy 100%. Powoduje to zwiększanie współczynnika mocy i sterowanie przebiegiem harmonicznym prądu zasilania (rys. 7).

- Sprężarka zatrzymana = Napięcie wejściowe x pierwiastek kwadratowy z wartości skutecznej
- Sprężarka pracuje = 380V

Docelowe napięcie prądu stałego ustalane jest przez napięcie wejściowe inwertera i mnożone zależnie od wejściowego napięcia prądu stałego. Porównywany jest pomnożony prąd docelowy oraz prąd wejściowy. Porównana wartość jest zagęszczana na kształcie fali oscylatora w układzie porównującym PWM. Porównany sygnał steruje WŁĄCZANIEM i WYŁĄCZANIEM elementu przełączającego.

7. Kondensator wygładzający- wykorzystywany jest do usuwania tętnienia napięcia prądu stałego, które wychodzi z aktywnego filtra.
8. IPM (zintegrowany moduł zasilania) - składa się on z 6 tranzystorów i napędza silnik bardzo szybkim przełączaniem. Sygnał napędowy przekazywany jest z mikrokomputera do obwodu napędu i zmienia częstotliwość zasilania silnika (system PWM), w celu nadania mu obrotów.

### Silnik prądu stałego (DC INVERTER)

Wirnik silnika prądu stałego sprężarki wykonany jest z magnesu stałego i wytwarza obrotowe pole magnetyczne poprzez oddziaływanie uzyskiwanym z PAM napięciem sterującym na uzwojenie stojana. Przyciąganie i odpychanie pomiędzy obracającym

się polem magnetycznym i magnesem stałym generuje siłę skierowaną w tym samym kierunku, co obracające się pole magnetyczne, powodując obracanie się wirnika. Wirnik i magnes stały muszą być sterowane w celu dopasowania obracającego się pola magnetycznego do biegunowości. Do sterowania wykryciem położenia, stosowanych jest kilka typów czujników. Jednym rodzajem czujnika jest czujnik wbudowany w prostownik lub urządzenie wykorzystujące efekt Halla, a innym jest czujnik wykrywający położenie w wyniku wykrywania siły wstecznej wzbudzonej w uzwojeniu stojana przez ruch obrotowy (Zasada prawej ręki Fleminga). Prędkość sprężarki może zostać zmieniona przez dryf napięcia (sterowanie PAM / sterowanie PWM).

Wirnik wykonany jest z magnesu stałego. Nie występują poślizgi zatem sprawność jest wysoka. W przypadku pomiaru częstotliwości silnika miernikiem z zaciskowymi końcówkami, wskazanie jest 2x większe od rzeczywistej prędkości obrotowej, ponieważ stosowany jest magnes stały o 4 biegunach.

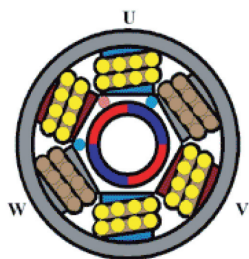
Najbardziej istotną rzeczą jest jednak nie sam sposób działania inwertera, a sposób, w jaki możemy dzięki niemu regulować wydajnością agregatów. W zespołach agregatów VRF FUJITSU występuje maksymalnie 6 sprężarek. Są one zblokowane w jednostkach zewnętrznych w zestawy sprężarka inwerterowa + sprężarka on/off, schemat pracy i kolejność załączania sprężarek obrazuje rysunek 9.

Praca sprężarek jest pracą sekwencyjną i rotacyjną, dzięki czemu równomiernie się one zużywają. Przy sterowaniu układem, wiódącym parametrem jest ciśnienie w zależności od trybu pracy:

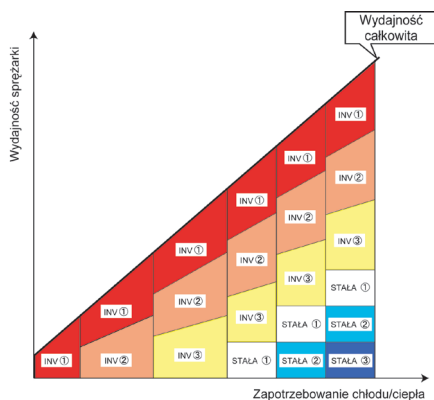
- niskie dla trybu chłodzenia. W celu dostosowania ciśnienia parowania jednostki wewnętrznej do wysokości odpowiedniej dla różnych trybów pracy, wydajność sprężarki będzie regulowana przez czujnik niskiego ciśnienia jednostki zewnętrznej (jednostka nadrzędna);
- wysokie ciśnienie dla trybu grzania. W celu dostosowania ciśnienia skraplania jednostki wewnętrznej do wysokości odpowiedniej dla różnych trybów pracy, wydajność sprężarki będzie regulowana przez czujnik wysokiego ciśnienia jednostki zewnętrznej (jednostka nadrzędna).

Wynika z tego, że rzeczywista temperatura parowania i skraplania jest temperaturą wynikową i zmienną zależną od długości instalacji, aktualnego obciążenia i temperatury przed wymiennikami.

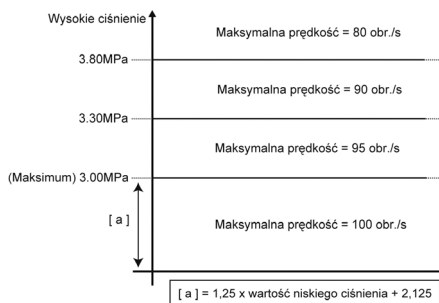
Zakres regulacji podczas normalnej eksploatacji zawiera się w granicach 30=100 obr./min, przy czym dla określonych wartości ciśnień, w szczególności przy pracy w trybie grzania, występują ograniczenia maksymalnych obrotów zgodnie z rysunkiem 10.



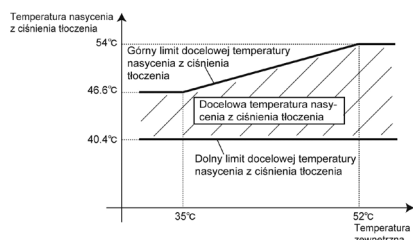
Rys. 8. Schemat uzwojeń wirnika



Rys. 9. Sekwencja załączania sprężarek



Rys. 10. Ograniczenie obrotów sprężarki inwerterowej w zależności od ciśnienia dla trybu grzania



Rys. 11. Krzywe regulacji obrotów wentylatora jednostki zewnętrznej VRF w trybie chłodzenia

Z regulacją obrotów sprężarki musi korespondować regulacja obrotów wentylatora jednostki zewnętrznej. Wentylatory wyposażone są w regulatory zapewniające 16 biegów, a regulacja następuje zgodnie z poniższym algorytmem:

- ciśnienie tłoczenia jest monitorowane w ustalonych odstępach czasu;
- wentylatory pozostałych jednostek zewnętrznych pracują standardowo na biegu 16;
- warunki powodujące zredukowanie prędkości wentylatora: Ciśnienie tłoczenia  $\geq 3,30$  MPa oraz temperatura radiatora  $\leq 75^{\circ}\text{C}$ ;
- warunki powodujące zwiększenie prędkości wentylatora: temperatura nasycenia z ciśnienia tłoczenia  $\leq 3,20$  MPa lub temperatura radiatora  $\geq 80^{\circ}\text{C}$ .

Dla chłodzenia algorytm pracy przedstawia się następująco:

- ciśnienie tłoczenia jest monitorowane w ustalonych odstępach czasu.

- warunki powodujące zredukowanie prędkości wentylatora: temperatura nasycenia z ciśnienia tłoczenia  $<$  dolny limit docelowej temperatury nasycenia z ciśnienia tłoczenia oraz temperatura radiatora  $\leq 75^{\circ}\text{C}$
- warunki powodujące zwiększenie prędkości wentylatora: temperatura nasycenia z ciśnienia tłoczenia  $>$  górny limit docelowej temperatury nasycenia z ciśnienia tłoczenia lub temperatura radiatora  $\geq 80^{\circ}\text{C}$

Regulacja obrotów wentylatora ma na celu utrzymanie temperatury nasycenia z ciśnienia tłoczenia w docelowym zakresie, zgodnie z rysunkiem 11.

W podsumowaniu należy zaznaczyć, że stosowanie regulacji inwerterowej pozwoliło na bezpieczną, bezawaryjną pracę układów chłodniczych, w szczególności przy niepełnych i zmiennych obciążeniach. Dodatkową korzyścią jest oczywiście uzyskiwana wysoka efektywność energetyczna systemów.

\*\*\*

Na podstawie materiałów FUJITSU GENERAL LIMITED

Masz pytanie do autora  
lub chciałbyś skomentować artykuł  
zapraszamy na [www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl](http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl)  
do działu ARTYKUŁY

