

ĆWICZENIE LABORATORYJNE

AUTOMATYKA I STEROWANIE  
W CHŁODNICTWIE I KLIMATYZACJI

L2 – STEROWANIE INWERTEROWYM URZĄDZENIEM  
CHŁODNICZYM W TRYBIE P

Wersja: 2011-10-08



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## 2.1. Cel ćwiczenia

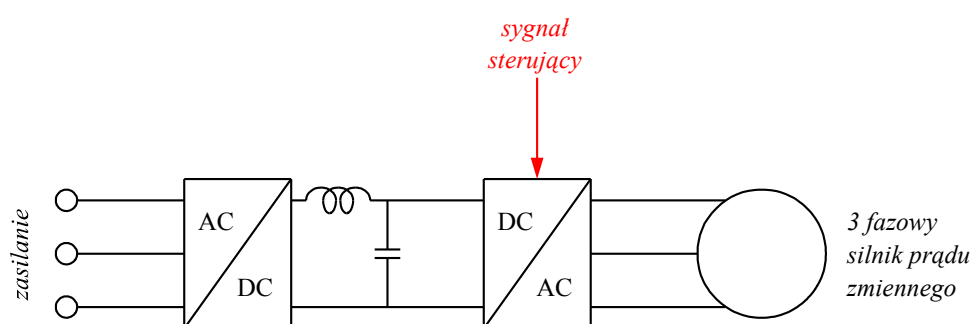
Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z metodą sterowania proporcjonalnego  $P$  inwerterowego urządzenia chłodniczego.

## 2.2. Podstawy teoretyczne

Instalacje chłodnicze zazwyczaj nie pracują w stanie ustalonym. Obciążenie cieplne zmienia się w przeciągu doby oraz w przeciągu roku. Na obciążenie cieplne wpływ mają warunki atmosferyczne oraz warunki wewnętrzne (np. dostawa nowego towaru do schłodzenia). Powoduje to, że instalacja chłodnicza ma za zadanie, w różnych okresach czasu odebrać różną ilość ciepła (produkować inną ilość chłodu). Sytuacja ta powoduje, że urządzenie chłodnicze musi posiadać możliwość zmiany mocy chłodniczej w zależności od obciążenia cieplnego. Jedną z metod sterowania mocą chłodniczą jest wykorzystanie przemiennika częstotliwości.

Przemiennik częstotliwości, zwany potocznie falownikiem lub inwerterem umożliwia zmianę częstotliwości prądu ze standardowych 50Hz na prawie dowolną wartość. W instalacjach chłodniczych wykorzystywane są zazwyczaj inwertery umożliwiające zmianę częstotliwości w zakresie od 1 do 90 Hz.

Zasada działania przemiennika częstotliwości została przedstawiona na rysunku nr 1. Prąd zmienny konwertowany jest w prąd stały, a następnie prąd stały zamieniany jest znów w prąd zmienny, tyle, że już o innej częstotliwości. Częstotliwość zależna jest od sygnału sterującego. Uzyskany prąd zmienny wykorzystywany jest do napędu silnika prądu zmiennego, którego prędkość obrotowa zależy właśnie od częstotliwości prądu.



Rys. 1. Zasada działania przemiennika częstotliwości.

W instalacjach chłodniczych falowniki wykorzystywane są w dwóch aplikacjach. Do zmiany prędkości obrotowych wentylatorów oraz do zmiany prędkości obrotowych sprężarek. Pierwsze

zastosowanie pozwala utrzymać w przeciągu całego roku zadane ciśnienie (głównie w skraplaczu), natomiast drugie zastosowanie umożliwia zmieniać płynnie moc chłodniczą. Nie dzieje się to jednak bez żadnych konsekwencji na układ chłodniczy.

Wielu producentów informuje, że zmiana prędkości obrotowej zmienia się proporcjonalnie do odchyłki od zadanej temperatury, oznaczałoby to, że urządzenie takie pracuje według proporcjonalnego  $P$  modelu sterowania. W najogólniejszej postaci sterowanie proporcjonalne można zapisać w następujący sposób.

$$y = kx \quad (1)$$

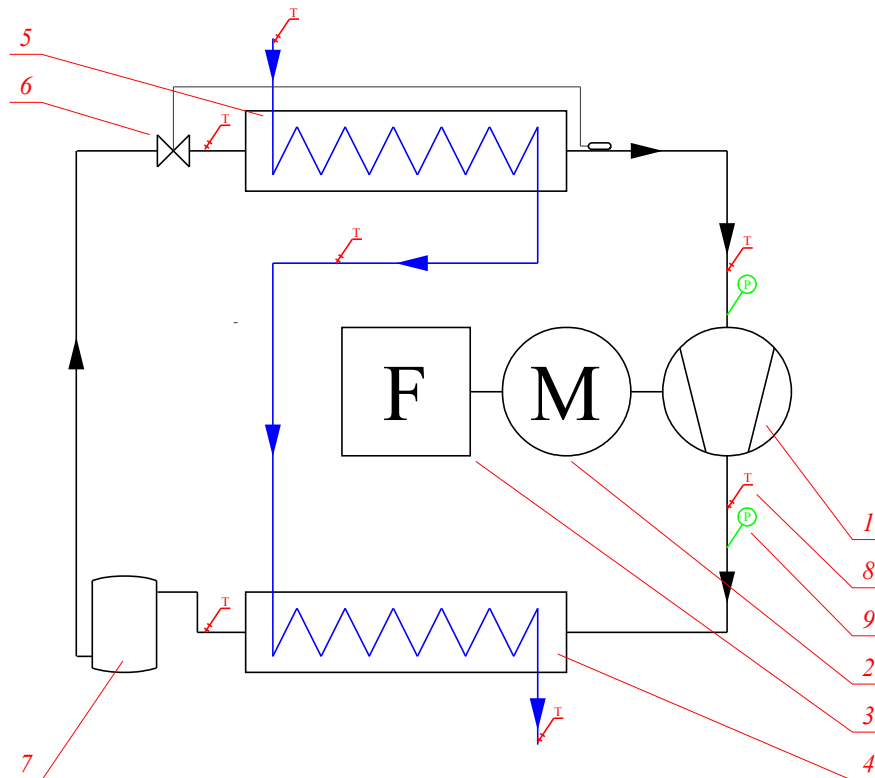
Gdzie  $x$  to odchyłka od zadanej temperatury,  $y$  to odchyłka od nominalnej prędkości obrotowej, natomiast  $k$  to współczynnik proporcjonalności.

Jeżeli układ będzie pracował przy obciążeniu innym niż nominalne, będzie występował, jak w każdym systemie sterowania proporcjonalnego, uchyb resztkowy 2.6. Wynika on z tego, iż przy innym niż zakładano obciążeniu cieplnym regulator nie będzie zmierzał do zadanej temperatury, tylko do temperatury odbiegającej od zadanej właśnie o wartość  $\Delta x$ . Wynika to wprost z zależności nr 1. Aby zostać przy temperaturze zadanej, odchyłka  $x$  musiałaby być zero. Gdy tak się dzieje, odchyłka prędkości obrotowej także jest równa zero. Oznacza to, że urządzenie pracuje z mocą nominalną. Natomiast, gdy urządzenie ma pracować z inną mocą musi występować inna prędkość obrotowa. W takim przypadku, aby równanie nr 1 było spełnione  $x$  także musi być różne od zera. Uchyb resztkowy da się zmniejszyć poprzez konstrukcje układu sterowania, w taki sposób, aby współczynnik proporcjonalności był jak największy. Powoduje to jednak, że zmiana prędkości obrotowej będzie zachodzić znacząco przy niewielkich zmianach temperatury. A to z kolei może spowodować, że cały układ może wpaść w stan niestabilnej pracy. Odchyłka resztkowa fizycznie oznacza, że jeżeli wzrośnie nam obciążenie cieplne układu, to system regulacji będzie dążył do temperatury wyższej o odchyłkę resztkową od temperatury zadanej. Natomiast, jeżeli obciążenie będzie mniejsze od nominalnego to regulator po dojściu do stanu równowagi ustali temperaturę niższą od zadanej.

### 2.3. Stanowisko laboratoryjne

Na rysunku nr 2 został przedstawiony schemat stanowiska laboratoryjnego. Urządzenie składa się z otwartej sprężarki tłokowej napędzanej poprzez przekładnię pasową przez silnik prądu zmiennego. Silnik zasilany jest poprzez inwerter z sieci elektrycznej. Przemiennej częstotliwości umożliwia uzyskanie prędkości obrotowej silnika w zakresie od 1 do 60 Hz. W instalacji chłodniczej zastosowano czynnik chłodniczy R134a. Parownik oraz skraplacz zbudowane są w postaci wymiennika typu rura w rurze.

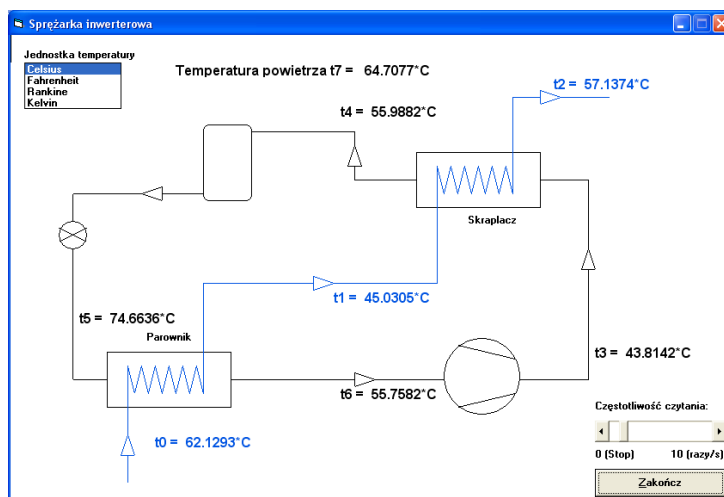




Rys. 2. Schemat stanowiska laboratoryjnego.

(1 – sprężarka, 2 – silnik prądu zmiennego, 3 – przemiennik częstotliwości, 4 – skraplacz, 5 – parownik, 6 – termostacyjny zawór rozprężny, 7 – zbiornik, 8 – punkt pomiaru temperatury, 9 – punkt pomiaru ciśnienia, T – punkt pomiaru temperatury, p – punkt pomiaru ciśnienia)

Stanowisko badawcze wyposażone jest w układ sterująco-pomiarowy, który umożliwia wyznaczenie strumieni ciepła wymienianego w parowniku oraz skraplaczu. W punktach charakterystycznych układu chłodniczego mierzone są temperatury czynnika roboczego oraz jego ciśnienie. Pozwala to wyznaczyć entalpie poszczególnych punktów. Układ pomiarowy współpracuje z komputerem klasy PC. Na rysunku nr 3 został przedstawiony interfejs graficzny układu pomiarowego.



Rys. 3. Widok interfejsu graficznego układu pomiarowego.



## 2.4. Przebieg ćwiczenia

W pierwszym etapie studenci mają za zadanie wyznaczyć stałą proporcjonalności  $k$ . W tym celu odkręcają zawór doprowadzający wodę do parownika oraz uruchamiają urządzenie z częstotliwością prądu  $f_0=40 \text{ Hz}$ . Po dojściu układu do stanu ustalonego należy zanotować temperaturę wody za parownikiem  $T_0$ . Będzie to temperatura zadana. Następnie należy zmienić częstotliwość prądu na  $f_1=50 \text{ Hz}$ , i po ustaleniu się pracy urządzenia (około 3 minuty) zanotować temperaturę za wody za parownikiem  $T_1$ . Zgodnie z równaniem 1, współczynnik proporcjonalności  $k$  wyniesie:

$$k = \frac{y}{x} \quad (2)$$

Co w przypadku dokonanych pomiarów:

$$k = \frac{f_1 - f_0}{T_1 - T_0} \quad (3)$$

Drugi etap ćwiczenia polega na sprawdzeniu w jaki sposób zachowuje się układ w przypadku zmiany obciążenia cieplnego, przy regulacji typu  $P$ , o znanym współczynnik proporcjonalności  $k$ . W tym celu należy powrócić do częstotliwości  $f=40 \text{ Hz}$ . Następnie należy zmienić strumień wody, spowoduje to zmianę mocy w parowniku, a tym samym zmianę temperatury za parownikiem.

Znając nową różnicę temperatury należy zgodnie z równaniem 4 obliczyć nową prędkość obrotową i ją zadać na falowniku.

$$f_i = f_0 + k(T_i - T_0) \quad (4)$$

Spowoduje to zmianę mocy chłodniczej, a tym samym zmianę temperatury wody za parownikiem. Etap ten należy powtarzać aż do momentu uzyskania stałej temperatury (jeśli uda się ją uzyskać!). Po każdym kroku należy spisać wartość temperatury.

## 2.5. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Cel ćwiczenia;
- Opis stanowiska;
- Obliczenia stałej proporcjonalności  $k$ .
- Wykres zmiany temperatury w czasie.



- Spostrzeżenia z wykonania zadania;
- Wnioski

## 2.6. Literatura

- [1]. Andersen S. A.: Automatische urządzenia chłodnicze. Wydawnictwo przemysłu lekkiego i spożywczego. Warszawa, 1964.
- [2]. Ganicz W., Grzebielec A., Zasowski R.: Badania eksperymentalne zmiany mocy chłodniczej urządzenia w wyniku zmiany prędkości obrotowej sprężarki. Chłodnictwo 5, 2011, strony 16-19.

