

SYSTEM AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA PRZEPLYWEM WODY

Anna SZLACHTA¹, Andrzej ODON²

1. Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Metrologii i Systemów Diagnostycznych, tel.: +48 17 7342462, e-mail: annasz@prz.edu.pl
2. Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, tel.: +48 665 25 99, e-mail: andrzej.odon@put.poznan.pl

Streszczenie: Artykuł prezentuje system automatycznego sterowania przepływem wody w obiegu zamkniętym. Omówiono aplikację sterującą przepływem wody na stanowisku. Zaprezentowano wieloczuJNIKOWY system pomiarów. Na omawianym stanowisku przeprowadzane są badania metod statystycznych w pomiarach dwufazowych.

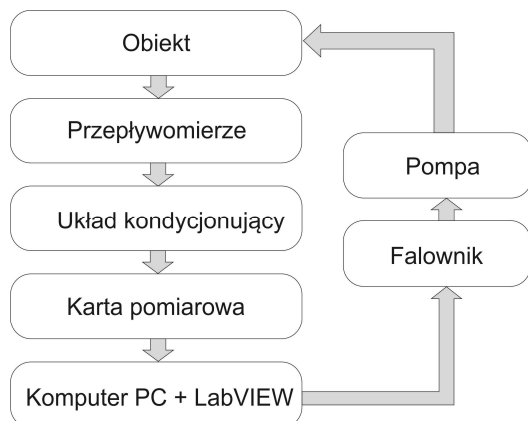
Słowa kluczowe: falownik, przepływomierz, regulator PID, LabVIEW.

1. WPROWADZENIE

W Katedrze Metrologii i Systemów Diagnostycznych Politechniki Rzeszowskiej od kilku lat prowadzone są badania metod statystycznych w pomiarach przepływów dwufazowych. Równocześnie rozwijane jest stanowisko do pomiarów przepływów dwufazowych. Kilka lat temu zakupiono nowoczesne przepływomierze Siemens, do pomiaru przepływu wody w rurociągu pół calowym i calowym. Opracowane zostały aplikacje do wyznaczenia opóźnień transportowych tj. do rejestracji danych z czujników pomiarowych. Ostatnim zakończonym etapem rozwoju stanowiska było uzyskanie pełnej automatyzacji sterowania przepływem wody.

2. STANOWISKO POMIAROWE

Na stanowisku do badań przepływów dwufazowych, przepływ wody odbywa się w obiegu zamkniętym. Schemat blokowy stanowiska przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska

Na rysunku 2 znajduje się zdjęcie stanowiska badań pomiarów przepływów KMiSD PRz.

W skład wyposażenia stanowiska badawczego wchodzi dwa zbiorniki wody połączone ze sobą przezroczystymi rurami, na których po zastosowaniu odpowiednich przewężeń zamontowano przepływomierz *Kobold DMI - 2302N20B30* oraz przepływomierz *Siemens Mag6000* [1, 2].



Rys. 2. Stanowisko badań przepływów dwufazowych

Dane techniczne obydwu przepływomierzy przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1 Specyfikacja przepływomierzy Siemens i Kobold [1, 2]

	Siemens	Kobold
Typ przepływomierza	elektromagnet.	elektromagnet.
Max przepływ [l/min]	80	50
Średnica rury do montażu [cal]	1	¾
Wyjście impulsowe	Tak	Tak
Wyjście prądowe [0-20 mA]	Tak	Tak
Dokładność pomiarowa	0,2%	3%
Detekcja pustego rurociągu	Tak	Nie
Wyświetlacz	Tak	Tak
Pobór mocy [VA]	17	6
Zasilanie [V]	24	24

Dostępne na stanowisku przepływomierze umożliwiają pomiar przepływu zarówno przy użyciu wyjść impulsowych, jak i prądowych. W celu poprawnego działania aplikacji do pomiaru przepływu wykonano odpowiedni układ kondycjonowania, który zmienia wartość prądu (4 - 20 mA) z wyjścia przetwornika na napięcie [3].

Do sterowania przepływem wody zastosowano falownik AMD VFD-B, który steruje pracą pompy wody WILO MP 604 DB. Dane techniczne falownika przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2 Specyfikacja falownika VFD-B [4]

Cechy urządzenia	
moc	0,75-75 kW dla zasilania 3 x 460 V AC
przeciążalność	150% przez minutę
częstotliwość wyjściowa	0,1 do 400 Hz
temperatura pracy	-10°C do +40°C
wbudowany tranzystor hamowania	do 11 kW
zaimplementowany protokół	Modbus ASCII
opcjonalne moduły magistral	DeviceNet, Profibus, Lon Works
wbudowane wejścia cyfrowe	10
wyjścia cyfrowe	4

Do rejestracji sygnałów z przepływomierzy zastosowano szesnastobitową kartę pomiarową NI-PCI 6143 (Tab. 3). Umożliwia ona jednoczesne próbkowanie w ośmiu kanałach.

Tab. 3 Specyfikacja techniczna karty pomiarowej NI-PCI 6143 [5]

Cechy urządzenia	
Liczba kanałów	8 – kanałów analogowych jednoczesnego próbkowania
Liczba bitów	16 bitów
częstotliwość próbkowania	250 kS/s
liczniki	8 cyfrowych linii I/O, dwa liczniki 24 bitowe z cyfrowym wyzwalaniem
Zakres napięciowy	± 5 V

3. APLIKACJA STERUJĄCA

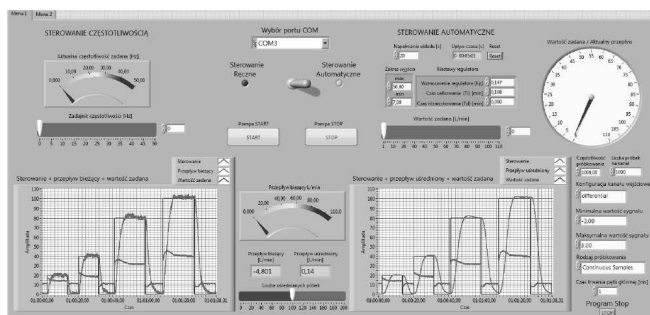
Falownik AMD-B jest wyposażony w port komunikacji RS485, w którym protokołem komunikacyjnym jest Modbus ASCII. Aby uzyskać możliwość sterowania falownikiem z poziomu komputera PC niezbędne było zastosowanie konwertera IFD6500 firmy Delta Electronics. Aplikacja sterująca ww. falownikiem została zaimplementowana w środowisku LabVIEW.

W celu poprawnego działania aplikacji do automatycznego sterowania falownikiem niezbędne było:

- opracowanie komunikacji z falownikiem,
- wyznaczenie sumy kontrolnej wysyłanych komunikatów,
- opracowanie wirtualnego zadajnika częstotliwości,
- odczyt aktualnego przepływu,
- identyfikacji obiektu i dobór regulatora,
- opracowanie modułu regulatora.

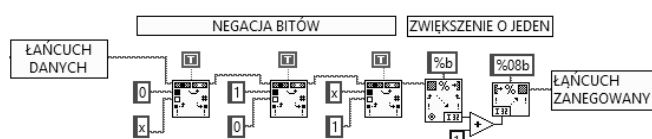
Aplikacja opracowana w środowisku LabVIEW (Rys. 3) w głównej mierze opiera się na wykorzystaniu konwertera IFD6500, który umożliwił fizyczne połączenie komputera z przemiennikiem częstotliwości.

Po ustaleniu parametrów komunikacji w tym prędkości transmisji 9600 b/s, braku kontroli parzystości, liczbie bitów danych 7, a bitów stopu 2, bardzo ważnym etapem pracy było wyznaczenie sumy kontrolnej wysyłanej do falownika ramki danych. W tym celu został opracowany kalkulator sumy kontrolnej, dla trybu ASCII jest to suma kontrolna LRC.



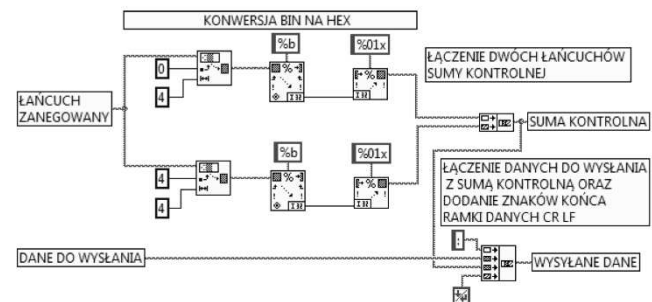
Rys. 3. Panel czołowy aplikacji sterującej [6]

Dane do wysłania do falownika, tj. przygotowany łańcuch danych został podzielony na sześć par znaków w kodzie szesnastkowym, następnie wartości są zamieniane na wartość dziesiętną i sumowane. Tak utworzona suma zmieniona jest na ośmiobitowy łańcuch znaków. Dane zostają zanegowane a ich wartość zostaje zwiększona o jeden (Rys. 4).



Rys. 4. Negacja bitów [6]

W kolejnym kroku podzielone na dwa łańcuchy danych zostają zamienione do postaci heksadecymalnej gdzie formowana jest ramka danych do falownika początek stanowi znak „:” natomiast na końcu ramki danych dołączana jest obliczona suma kontrolna oraz dwa bity stopu CR i LF (Rys. 5).



Rys. 5. Konwersja na liczbę heksadecymalną oraz tworzenie ramki danych [6]

Istotnym elementem aplikacji jest również wirtualny zadajnik częstotliwości, który umożliwia jej zadawanie w czasie rzeczywistym z poziomu aplikacji. Zadajnik przy tworzeniu komendy sterującej korzysta z kalkulatora sumy kontrolnej.

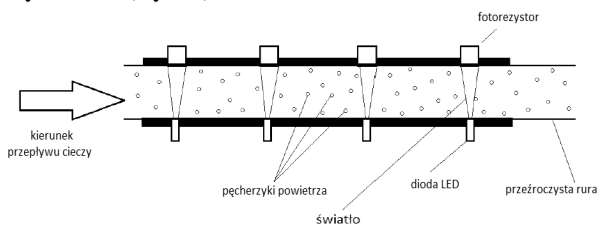
Urządzeniem, które umożliwia pomiar przepływu jest przepływomierz elektromagnetyczny *Siemen Sitrans FM Magflo MAG6000*. W celu pomiaru prędkości wykorzystano wyjście prądowe przepływomierza, które przy pomocy układu kondycjonującego zostało podłączone do karty pomiarowej NI-PCI 6143. Wartość jego odczytu stanowi pętlę sprzężenia zwrotnego regulatora przepływu. Opracowany i zaimplementowany moduł regulatora PI jest głównym elementem aplikacji sterującej. Dzięki poprawnej identyfikacji obiektu oraz wyznaczeniu właściwych nastaw, możliwe jest automatyczne sterowanie procesem przepływu wody na stanowisku badawczym. Zaimplementowany regulator umożliwia sterowanie pracą stanowiska dla zadanej wartości przepływu wody.

Dodatkowo aplikacja pozwala na komunikację z falownikiem za pomocą komend tekstowych, co pozwala na zapoznanie się użytkownika z tym trybem.

Opracowany system sterowania przepływem umożliwia przeprowadzenie zajęć laboratoryjnych nt. teorii sterowania. Studenci dużo lepiej przyswajają wiedzę jeśli możliwa jest praca na rzeczywistych obiektach.

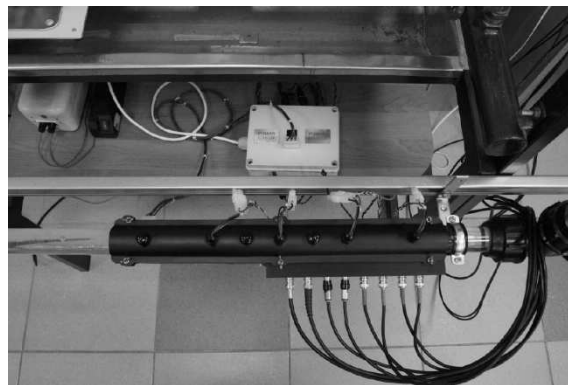
4. WIELOCZUJNIKOWY SYSTEM POMIARU

Prezentowany wieloczujnikowy system pomiaru przepływu umożliwia jednoczesne wykorzystanie czterech czujników rozmieszczonych co dziesięć lub co pięć centymetrów (Rys. 6).



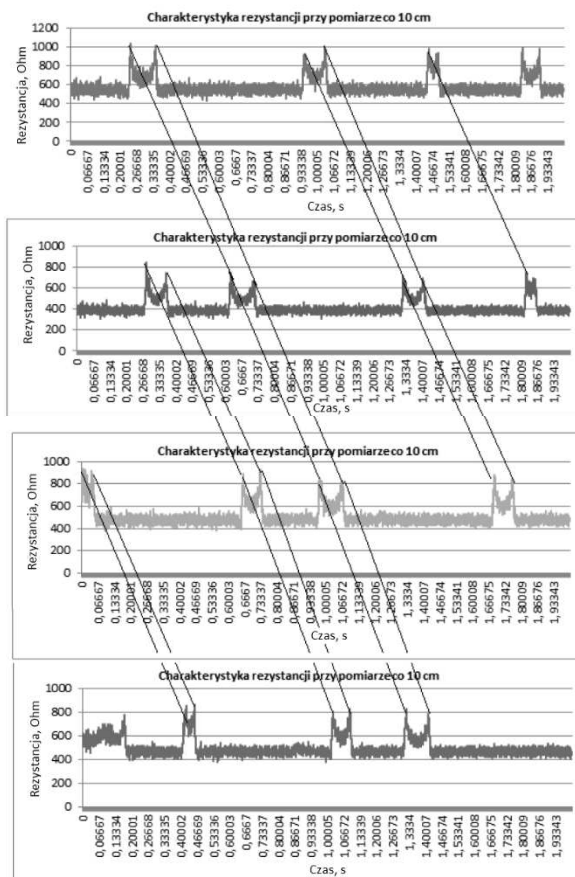
Rys. 6. Schemat poglądowy wieloczujnikowego systemu pomiaru przepływu [7]

Po zaprojektowaniu i wykonaniu system został zamontowany na stanowisku do badań przepływów Katedry Metrologii i Systemów Diagnostycznych Politechniki Rzeszowskiej [7]. Urządzenie zostało przygotowane do montażu zarówno na odcinku pionowym jak i poziomym stanowiska. Montaż odbywa się przy pomocy nakrętek typu „motylek”, całość jest pomalowana czarną farbą oraz uszczelniona, aby na czujniki nie oddziaływały czynniki zewnętrzne. Finalnie układ został zamontowany na poziomym odcinku pomiarowym rurociągu co zaprezentowano na rysunku 7. Jako czujniki zaproponowano zastosowanie fotorezystorów o odpowiedniej rezystancji (dostosowanej do zakresu napięciowego karty pomiarowej). Źródłem światła są diody LED koloru białego połączone szeregowo z rezystorami. Każda z nich jest umieszczona z zachowaniem osiowości, co zapewnia takie samo natężenie i kąt padania światła na każdy fotelement. W układzie istnieje możliwość zaświecenia diod co 5 cm lub co 10 cm, wybór następuje poprzez przełączenie dwustanowego przycisku.



Rys. 7. Zdjęcie systemu zamontowanego na rurociągu poziomym [7]

Wieloczujnikowy system pomiaru umożliwia jednoczesne wykorzystanie czterech czujników rozmieszczonych odpowiednio co 5 lub 10 cm. Na rysunku 8 przedstawione zostały przykładowe wyniki badań, można zauważyć zależności czasowe pomiędzy kanałami, typowe dla przepływu dwufazowego woda-powietrze. Dla każdego fotorezystora został przygotowany dedykowany dzielnik napięcia, tak aby można było wykorzystać osiem kanałów karty pomiarowej NI-PCI 6143 (cztery fotelementy i cztery rezystory wzorcowe).



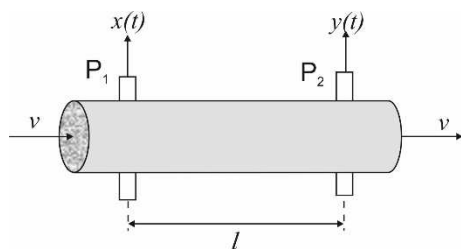
Rys. 8. Przebiegi wartości rezystancji fotelementów rozmieszczonych co 10 cm dla 4 kanałów pomiarowych [7]

5. MOŻLIWOŚCI BADAWCZE STANOWISKA

Na stanowisku istnieje możliwość wykonywania badań metod statystycznych stosowanych w pomiarach przepływów dwufazowych. W Katedrze Metrologii

i Systemów Diagnostycznych prowadzone są badania metody warunkowego uśredniania sygnałów [8].

Zasada działania polega w uproszczeniu na analizie sygnałów z dwóch lub więcej przetworników P_1 , P_2 umieszczonych w odległości l . W przepływającym medium większościowym jakim jest woda usytuowane są chwilowe niejednorodności tj. medium mniejszościowe w postaci pęcherzyków powietrza, które generują w odpowiednich przetwornikach stochastyczne sygnały elektryczne $x(t)$ i $y(t)$. Na wyjściu przetworników zbierane są elektryczne sygnały niosące informacje o specyficznej zmieniającej się losowo właściwości medium objętościowego (Rys.9).



Rys. 9. Zasada pomiaru prędkości cieczy

Przy występowaniu opóźnienia transportowego τ_0 , związanego z przemieszczeniem się obiektu na odległości l ze stałą prędkością v , zależności między sygnałami otrzymywanymi z czujników można przedstawić uproszczonym modelem opisującym to zjawisko [8]:

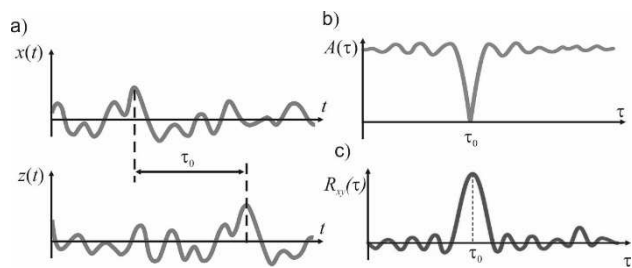
$$y(t) = k \cdot x(t - \tau_0) + n(t), \quad (1)$$

gdzie:

k – współczynnik tłumienia,

$n(t)$ – zakłócenie $N(0, \sigma_n)$ nieskorelowane z sygnałem $y(t)$.

Przykładowe przebiegi sygnałów oraz charakterystyki metod statystycznych otrzymanych w pomiarach przepływów przedstawia rysunek 10.



Rys. 10. Zasada wyznaczania czasu opóźnienia dla sygnałów stochastycznych:

- przebiegi wzajemnie opóźnionych sygnałów stochastycznych,
- przebieg funkcji metody warunkowego uśredniania modułu sygnału $A(\tau)$,
- przebieg funkcji korelacji $R_{xy}(\tau)$.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule zaprezentowanego system automatycznego sterowania w pomiarach przepływu. Przedstawiono stanowisko badawcze, omówiono również szczegółowo program do automatycznego sterowania przepływem.

Wieloczujnikowy system pomiaru przepływów pozwala otrzymać sygnały stochastyczne, co umożliwia weryfikację metod statystycznych takich jak korelacja wzajemna czy metody warunkowego uśredniania sygnałów.

Wyniki badań tych metod były publikowane na konferencjach krajowych i zagranicznych a także zebrane w monografii [8]. Natomiast dalszy rozwój stanowiska umożliwia weryfikację kolejnych hipotez. Kolejnym etapem rozwijania stanowiska jest zaprojektowanie i wykonanie nowego systemu dozowania powietrza.

Ponadto na prezentowanym stanowisku mogą odbywać się zajęcia dydaktyczne dla studentów kierunku automatyka i robotyka z zakresu sterowania.

Stanowisko poprzez zastosowanie zestawu przepływomierzy dla różnej wielkości rur umożliwia również badania poprawności wskazań wodomierzy.

5. BIBLIOGRAFIA

- Dokumentacja techniczna przepływomierza Siemens Mag6000: https://www.automatyka.siemens.pl/docs/doc_s_ia/KK_MAG6000.pdf, dostęp 11.12.2017
- Dokumentacja przepływomierza Siemens Mag6000: http://kobold.com/uploads/files/s5gb_dmi.pdf, dostęp 11.12.2017.
- Michalik Ł.: Rejestrator paramentów przepływu cieczy. Politechnika Rzeszowska Wydział Elektrotechniki i Informatyki. Promotor dr inż. A. Szlachta. Praca dyplomowa magisterska 2013.
- Dokumentacja techniczna falownika: www.delta.com.tw/product/em/drive/ac_motor/download/manual/VFD-B_manual_en.pdf, dostęp 11.12.2017.
- Dokumentacja techniczna karty pomiarowej: <http://www.ni.com/pdf/manuals/370835a.pdf>, dostęp 11.12.2017.
- Kłosowski K. System sterowania falownikiem w pomiarach przepływów dwufazowych. Politechnika Rzeszowska Wydział Elektrotechniki i Informatyki. Promotor dr inż. A. Szlachta. Praca dyplomowa inżynierska 2015.
- Łuczyszyn D.: Wieloczujnikowy system pomiaru przepływu. Politechnika Rzeszowska Wydział Elektrotechniki i Informatyki. Promotor dr inż. A. Szlachta. Praca dyplomowa inżynierska 2016.
- Kowalczyk A.: Pomiarowe zastosowania warunkowego uśredniania sygnałów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2015.

THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM IN FLOW MEASUREMENT

The system of automatic control of the water flow in a closed circuit has been presented in this paper. The laboratory stand allows to control the inverter on the position of research flows. Measurements were concerned a liquid in two-phase (water and air). The application to control the water flow was also discussed. The multi-sensors measurement system was presented. The laboratory stands have been realized for the results verification made obtained from mathematical models, computer simulations and signals acquisition using the stochastic methods. The statistical methods in the measurement of two-phase of statistical methods used in time delay estimation: direct cross-correlation and the function of conditional average value of delayed signal were carried out in the study for this stand.

Keywords: inverter, flow meter, PID controller, LabVIEW.