

Regulacja adaptacyjna w anemometrze stałotemperaturowym

PAWEŁ LIĞEZA

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

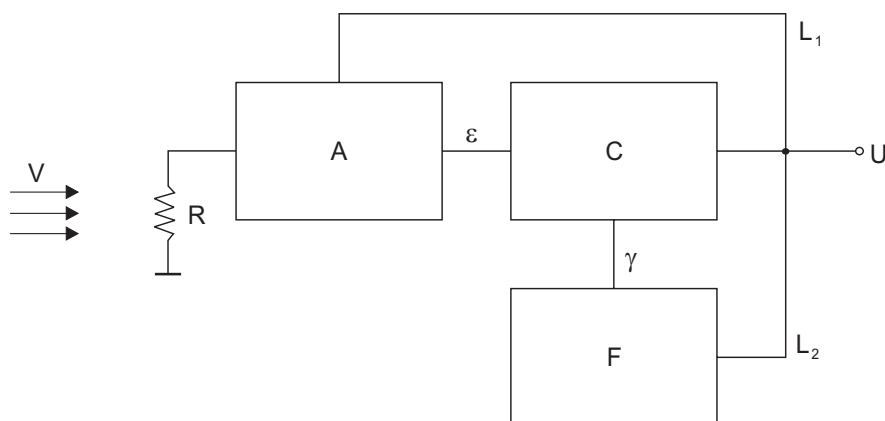
W pracy przedstawiono propozycję wprowadzenia do układu stałotemperaturowego regulatora adaptacyjnego działającego w taki sposób, aby uzyskać możliwie stałe pasmo przenoszenia anemometru w funkcji prędkości przepływu. Jest to realizowane poprzez zastosowanie drugiej pętli sprzężenia zwrotnego. W pętli tej sygnał wyjściowy z anemometru steruje parametrami regulatora tak, aby zarówno dla małych jak i dla dużych prędkości pasmo przenoszenia było zbliżone. Opracowany model matematyczny anemometru stałotemperaturowego oraz przeprowadzone badania modelowe pozwalają na ocenę zaproponowanego rozwiązania.

Słowa kluczowe: anemometr stałotemperaturowy, regulacja adaptacyjna, pasmo przenoszenia

1. Wprowadzenie

Anemometr stałotemperaturowy umożliwia pomiar szybkozmiennych fluktuacji prędkości przepływu, jednak pasmo przenoszenia anemometru jest funkcją prędkości przepływu. Pomiaru przepływów szybkozmiennych wymagają dokonania regulacji właściwości dynamicznych anemometru stałotemperaturowego. Regulację przeprowadza się w taki sposób, aby dla największej mierzonej prędkości uzyskać możliwie szerokie pasmo przenoszenia przy stabilnej pracy anemometru. Przy takiej regulacji pasmo przenoszenia anemometru dla małych prędkości jest mniejsze. Natomiast przy większych prędkościach sygnał jest przeregulowany, mogą wystąpić oscylacje własne zakłócające pomiar, a także niestabilność pracy powodująca przepalenie włókna czujnika.

W niniejszej pracy przedstawiono propozycję wprowadzenia do układu stałotemperaturowego regulatora adaptacyjnego działającego w taki sposób, aby uzyskać możliwie stałe pasmo przenoszenia anemometru w funkcji prędkości przepływu. Jest to realizowane poprzez zastosowanie drugiej pętli sprzężenia zwrotnego. W pętli tej sygnał wyjściowy z anemometru steruje parametrami regulatora tak, aby zarówno dla małych jak i dla dużych prędkości pasmo przenoszenia było zbliżone. Schemat blokowy anemometru stałotemperaturowego z regulatorem adaptacyjnym przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat blokowy anemometru stałotemperaturowego z regulatorem adaptacyjnym

Proponowany anemometr stałotemperaturowy z regulatorem adaptacyjnym zawiera czujnik pomiaru prędkości R podłączony do układu komparacji rezystancji A , w którym rezystancja czujnika jest porównywana z rezystancją zadaną. Sygnał błędu ε z układu komparacji rezystancji steruje pracą regulatora C , którego zadaniem jest zasilanie czujnika pomiaru prędkości takim prądem, aby minimalizować sygnał błędu ε . Ten proces utrzymywania stałej rezystancji, a więc również stałej średniej temperatury czujnika jest realizowany poprzez pierwsze sprzężenie zwrotne L_1 . Sygnał wyjściowy U z regulatora jest proporcjonalny do mierzonej prędkości przepływu i jest sygnałem wyjściowym z anemometru. Jednocześnie sygnał wyjściowy z regulatora poprzez blok funkcyjny F steruje za pomocą sygnału γ parametrami regulatora C w taki sposób, aby uzyskać pasmo przenoszenia o zadanej szerokości w funkcji prędkości przepływu. W szczególności można uzyskać pasmo przenoszenia o stałej szerokości w funkcji prędkości przepływu. Proces ten jest realizowany poprzez drugie sprzężenie zwrotne L_2 . Przedstawione rozwiązanie jest przedmiotem zgłoszenia patentowego [1]. Opracowany model matematyczny anemometru stałotemperaturowego [2, 3] oraz przeprowadzone badania modelowe opisane w dalszej części pracy pozwalają na ocenę zaproponowanego rozwiązania.

2. Badania modelowe anemometru stałotemperaturowego

Celem badań modelowych jest wyznaczenie pasma przenoszenia anemometru stałotemperaturowego oraz wyznaczenie zależności pasma przenoszenia od wartości średniej prędkości przepływu. Badania przeprowadzono dla klasycznego anemometru stałotemperaturowego z regulatorem o stałych parametrach oraz dla anemometru z zastosowaniem regulatora adaptacyjnego. Badania przeprowadzono metodą wielokrotnego rozwiązywania układu równań stanowiącego model anemometru. Proces taki jest symulacją pracy układu. Wykorzystano tu środowisko MATLAB. Do rozwiązywania układu równań różniczkowych zastosowano metodę Rungego-Kutty piątego rzędu. Przebieg symulacji polegał na wyznaczeniu stanu ustalonego dla danego zbioru parametrów, a następnie wyznaczeniu odpowiedzi układu dla zadanego wymuszenia. Jako wymuszenie stosowano sinusoidalną funkcję zmiany prędkości w czasie w postaci:

$$V = V_M + \Delta V \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

gdzie:

- V_M – prędkość średnia,
- ΔV – amplituda wymuszenia.

Wyznaczano amplitudę i przesunięcie fazowe prędkości mierzonej v względem wymuszenia V dla różnych częstotliwości f . Jako parametr określający pasmo przenoszenia anemometru przyjęto częstotliwość graniczną f_C , dla której amplituda odpowiedzi układu spada o 3 dB względem wymuszenia. Następnie wyznaczano zależność pasma przenoszenia układu od prędkości średniej V_M .

Do obliczeń przyjęto parametry czujnika i układu zbliżone do stosowanych w układach rzeczywistych. Dla czujnika przyjęto typowe parametry czujnika z włóknem wolframowym o średnicy 3 mikrometrów. Parametry te zebrano w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry czujnika anemometrycznego

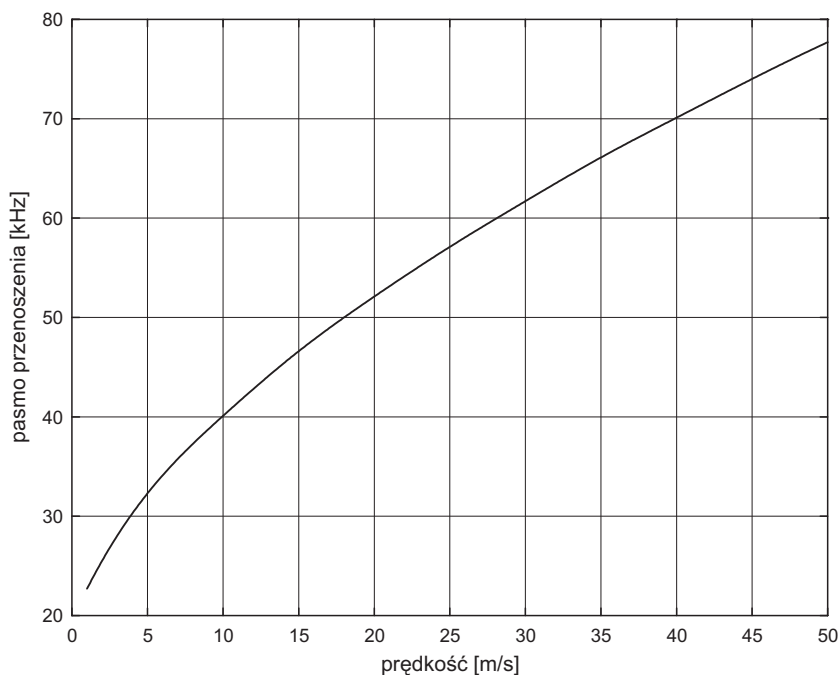
R_{SG}	T_G	α_G	I_L	V_L	τ_L	n
[Ω]	[K]	[1/K]	[A]	[m/s]	[s]	
5	293	3.33×10^{-3}	45×10^{-3}	4	0.25×10^{-3}	0.5

Natomiast parametry układu przedstawiono w tabeli 2, przy czym dla wzmacniacza operacyjnego regulatora przyjęto parametry wzmacniacza operacyjnego OP27. Wzmacniacz ten jest często stosowany w rzeczywistych układach anemometru stałotemperaturowego.

Tab. 2. Parametry układu elektronicznego

R_I	R_2	η	U_0	R_A	k_A	τ_A	R_C
[Ω]	[Ω]		[V]	[Ω]		[s]	[Ω]
10	100	2	1×10^{-6}	1×10^6	1×10^6	10×10^{-3}	100

Dla anemometru stałotemperaturowego z regulatorem o stałych parametrach parametry regulatora k_C , τ_C dobrano optymalnie tak, aby dla maksymalnej założonej prędkości $V_{MAX} = 50$ m/s uzyskać możliwie szerokie pasmo przenoszenia. Optymalne parametry dla badanego układu wynoszą $k_C = 65$, $\tau_C = 150 \times 10^{-6}$ s. Na rysunku 2 przedstawiono zależność pasma przenoszenia od średniej prędkości przepływu dla klasycznego anemometru stałotemperaturowego z regulatorem o stałych parametrach. Pasmo przenoszenia rośnie ze wzrostem prędkości średniej. Dla maksymalnej prędkości pasmo przenoszenia osiąga 400% pasma przy prędkości minimalnej.



Rys. 2. Zależność pasma przenoszenia anemometru z regulatorem stałym od prędkości średniej

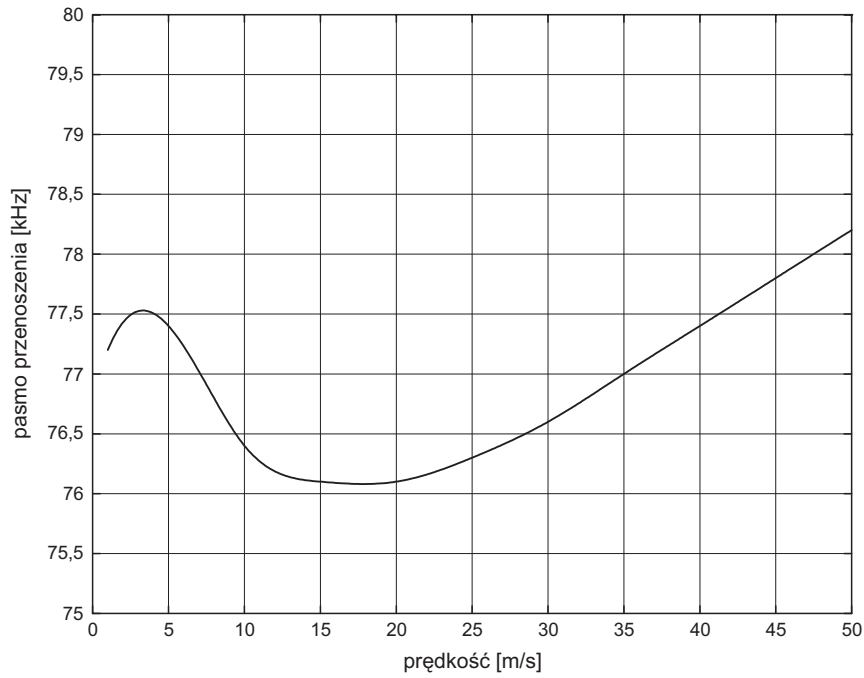
Następnie przeprowadzono badania anemometru z regulatorem adaptacyjnym. Poszukiwano takiej zależności parametrów regulatora k_C , τ_C od napięcia wyjściowego U_R , dla której wpływ prędkości średniej na pasmo przenoszenia anemometru będzie minimalny. Ograniczono się do poszukiwania prostych zależności, aby umożliwić ich realizację na drodze analogowego układu elektronicznego o małym stopniu złożoności. W wyniku przeprowadzonych badań modelowych stwierdzono, że wpływ zmian wzmacnienia regulatora na pasmo przenoszenia jest dominujący, natomiast wpływ zmian stałej czasowej regulatora jest mały. Ostatecznie dla regulacji adaptacyjnej przyjęto stałą wartość τ_C , natomiast wzmacnienie regulatora opisane funkcją:

$$k_C = \frac{k_{C0}}{1 + \beta \frac{U_R - U_{R0}}{U_{R0}}} \quad (2)$$

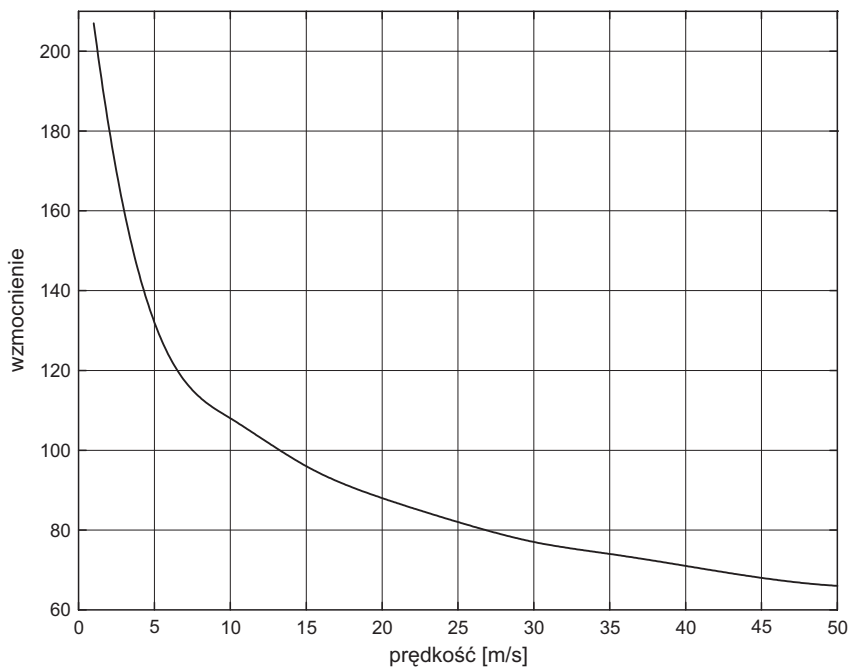
gdzie:

- k_{C0} – optymalne wzmacnienie dla minimalnej przyjętej prędkości V_{MIN} ,
- U_{R0} – napięcie wyjściowe regulatora dla minimalnej przyjętej prędkości V_{MIN} ,
- β – współczynnik korekcyjny dobierany doświadczalnie.

Dla badanego układu optymalne rezultaty uzyskano dla $k_{C0} = 200$, $\beta = 2.7$ i $U_{R0} = 0.7688$ V. Na rysunku 3 przedstawiono zależność pasma przenoszenia od średniej prędkości przepływu dla anemometru stałotemperaturowego z regulatorem adaptacyjnym. Uzyskano w przybliżeniu stałe pasmo przenoszenia w funkcji prędkości średniej. W przyjętym zakresie prędkości fluktuacje pasma przenoszenia nie przekraczają 1.5%. Na rysunku 4 przedstawiono przebieg wzmacnienia regulatora w funkcji prędkości przepływu dla badanego układu.



Rys. 3. Zależność pasma przenoszenia anemometru z regulatorem adaptacyjnym od prędkości średniej



Rys. 4. Zależność wzmocnienia regulatora adaptacyjnego od prędkości przepływu

3. Podsumowanie

Zastosowanie regulatora adaptacyjnego w anemometrze stałotemperaturowym pozwala na znaczne ograniczenie wpływu prędkości średniej na pasmo przenoszenia anemometru. Opracowany układ pozwala na minimalizację błędów dynamicznych w pomiarach fluktuacji prędkości w przepływach, w których prędkość średnia zmienia się znacząco. Wymagana jest jednak rozbudowa układu elektronicznego i dobór dodatkowych parametrów w procesie regulacji przyrządu. Praktycznej realizacji regulatora adaptacyjnego w anemometrze stałotemperaturowym można dokonać na drodze układu analogowego lub analogowo cy-

frowego. W najprostszym przypadku wymaga to zastosowania elementu o zmiennej rezystancji sterowanego napięciowo włączonego w układ regulatora. Może to być tranzystor polowy lub transoptor. Układ można również zrealizować w oparciu o mnożarki analogowe lub mnożące przetworniki cyfrowo-analogowe. Obecnie prowadzone są prace badawcze nad prototypem układem anemometru o stałym paśmie przenoszenia.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w ramach działalności statutowej IMG PAN w roku 2006.

4. Literatura

- [1] P. Ligęza, *Sposób kształtowania pasma przenoszenia anemometru stałotemperaturowego z kompensacją częstotliwości oraz anemometr stałotemperaturowy z kompensacją częstotliwości*; zgłoszenie patentowe, 2006
- [2] P. Ligęza, *Układy termooanemometryczne – struktura, modelowanie, przyrządy i systemy pomiarowe*; Wydawnictwa AGH, Rozprawy, Monografie nr 98, Kraków 2001
- [3] P. Ligęza, *On unique parameters and unified formal form of hot-wire anemometric sensor model*; Review of Scientific Instruments, vol. 76, 1, 2005

Adaptive control in constant temperature anemometer

Abstract

A modification of constant temperature anemometer circuit is outlined whereby an adaptive controller is incorporated in the CT system such that the anemometer's transmission band should remain constant in the function of flow velocity. For that purpose a second feedback loop is provided and the output signal from the anemometer will regulate the controller's parameters such that the transmission band remain identical both for small and high velocities. The developed mathematical model of a CTA and model testing data allow a through evaluation of the proposed solution.

Keywords: hot-wire anemometry, adaptive controller, frequency bandwidth

Recenzent: Prof. dr hab. inż. *Stanisław Gumuła*, AGH