

P O L S K A A K A D E M I A N A U K

INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE

INSTYTUTU MASZYN

PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS

OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

92

WARSZAWA—POZNAŃ 1990

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW
MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

RADA REDAKCYJNA—EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI
STEFAN PERYCZ · WŁODZIMIERZ PROSNAK · KAZIMIERZ STELLER
ROBERT SZEWAŁSKI (PRZEWODNICZĄCY—CHAIRMAN) · JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY—EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER — REDAKTOR — EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA—EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1990

Printed in Poland

ISBN 83-01-10189-X
ISSN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Ark. wyd. 17,75. Ark. druk. 13. Papier druk. sat. kl. III, 70 g, 70 × 100 cm
Oddano do składania w lipcu 1989 r. Podpisano do druku w listopadzie 1990 r.
Druk ukończono w grudniu 1990 r. Zam. nr 1079/89

Zakłady Graficzne im. KEN w Bydgoszczy

JÓZEF ŚMIGIELSKI

Gdańsk

Badania optymalizacyjne elektromagnetycznego przepływomierza pływakowego o osi poziomej i charakterystyce liniowej*

Przedstawiono zasadę działania i konstrukcję nowego rozwiązania przepływomierza pływakowego dla cieczy z elektrycznym sygnałem wyjściowym. Omówiono jego zalety w porównaniu z przepływomierzami pływakowymi o osi pionowej. Podano zasady doboru optymalnych proporcji i wymiarów przy danym zakresie pomiarowym. Przytoczono rezultaty badań charakterystyki wyjściowej.

1. Wstęp

Elektromagnetyczne przepływomierze pływakowe mają charakterystykę nieliniową. Wynika to z nakładania się nieliniowych charakterystyk składowych, przy czym decydujący wpływ ma kwadratowa zależność siły hydrodynamicznej od natężenia przepływu. Linearyzację charakterystyki wyjściowej można osiągnąć stosując odpowiednio wyprofilowany rdzeń zmieniający efektywny przekrój dyszy w pływaku [1]. Komplikuje to jednak konstrukcję i wykonanie oraz utrudnia skalowanie, a także zmniejsza niezawodność. Gdy ciężar pływaka, który determinuje stratę ciśnienia, jest zrównoważony przez siłę magnetyczną, wiąże się to z koniecznością wytwarzania odpowiednio silnego pola, a zatem ze stratą mocy elektrycznej.

Te mankamenty są wyeliminowane w przepływomierzu elektromagnetycznym z pływakiem, którego ciężar jest zrównoważony wyporem ośrodka, co jednak jest okupione pewnym ograniczeniem, gdyż układ taki nadaje się praktycznie tylko do pomiaru natężenia przepływu cieczy.

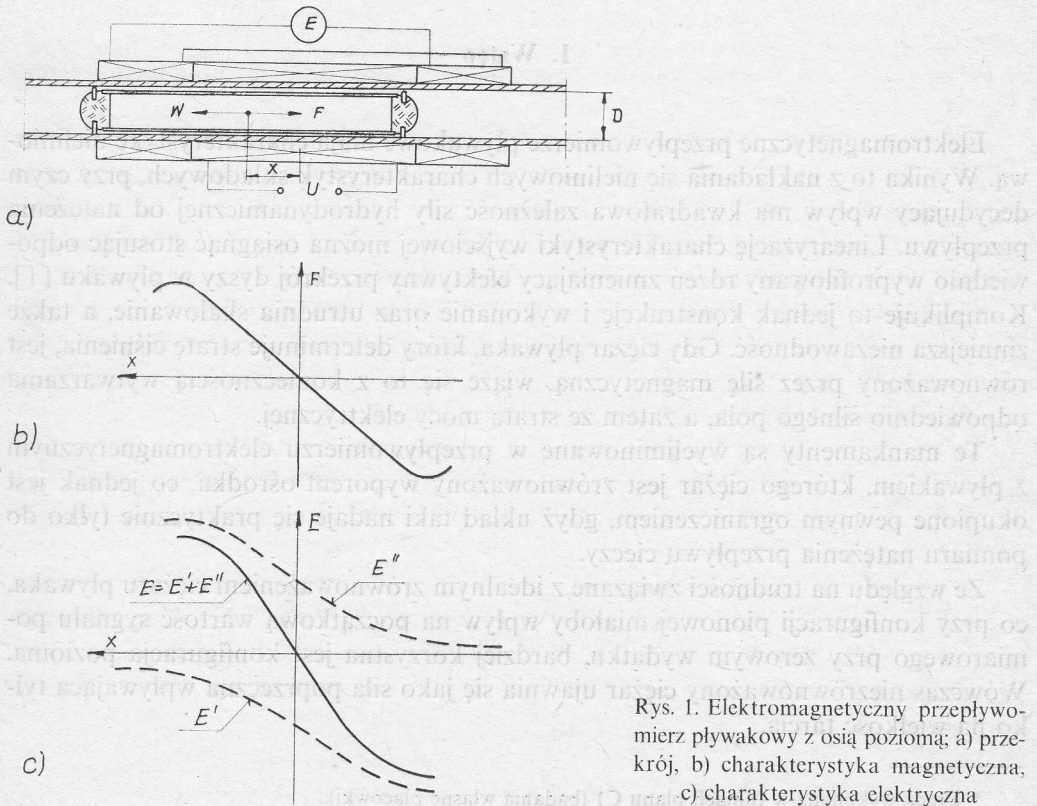
Ze względu na trudności związane z idealnym zrównoważeniem ciężaru pływaka, co przy konfiguracji pionowej miałyby wpływ na początkową wartość sygnału pomiarowego przy zerowym wydatku, bardziej korzystna jest konfiguracja pozioma. Wówczas niezrównoważony ciężar ujawnia się jako siła poprzeczna wpływająca tylko na wielkość tarcia.

* Praca wykonana w ramach planu C1 (badania własne placówki).

2. Zasada działania

Konstrukcję elektromagnetycznego przepływomierza pływakowego o osi poziomej [2] przedstawia rysunek 1a. Pływak wykonany jest w postaci cienkościennej rurki z materiału ferromagnetycznego. Jest on zamknięty obustronnie kołpakami z kołkami centrującymi pływak w przewodzie pomiarowym. Pływak wypełniony jest powietrzem i tak zwymiarowany, że jego ciężar G równoważy wypór ośrodka, co eliminuje tarcie o ściankę przewodu. Na zewnątrz przewodu umieszczone jest uzwojenie zasilane prądem zmiennym, które wytwarza pole magnetyczne, oddziałujące na pływak oraz dwa sprzężone z nim indukcyjnie uzwojenia układu pomiarowego, tworzące transformator różnicowy.

Przy braku przepływu pole magnetyczne utrzymuje pływak w środku układu, a siły elektromotoryczne indukowane w obu uzwojeniach pomiarowych znoszą się. Przepływający ośrodek wywiera na pływak siłę hydrodynamiczną W przemieszczając go do położenia, w którym jest ona równoważona przez siłę magnetyczną F zwiększającą się ze wzrostem odległości x środka pływaka od środka układu. Powoduje to powstawanie w cewkach pomiarowych sygnału elektrycznego, którego wartość jest miarą natężenia przepływu. Ponieważ pływak nie jest zawieszony w polu magnetycznym — tak jak to ma miejsce przy konfiguracji pionowej [1] — jego



ciężar G nie ma wpływu na prąd zasilania (liczbę NI amperozwojów), którego wartość, przy danej szerokości δ szczeliny pierścieniowej, decyduje o zakresie pomiarowym. Ogranicza się go do liniowego odcinka charakterystyki za pomocą zderzaka.

3. Charakterystyki przepływomierza

Charakterystyka magnetyczna układu cewki z rdzeniem ma przebieg pokazany na rysunku 1b. Zależy on od proporcji geometrycznych układu, podobnie jak to stwierdzono w przypadku konfiguracji pionowej [3]. Współrzędną ekstremum $x_{F_{\max}}$ siły magnetycznej F określa zależność [4]

$$X_{F_{\max}} \cong 0,4l, \quad (1)$$

gdzie l oznacza długość rdzenia.

Wartość maksymalną siły magnetycznej F_{\max} można wyznaczyć wykorzystując uogólnione zależności empiryczne podane w [5], przy czym dla typowych proporcji geometrycznych

$$\frac{F_{\max}}{\mu_0(NI)^2} \cong 0,7 \quad (2)$$

gdzie μ_0 — przenikalność magnetyczna próżni (powietrza), N — liczba zwojów cewki, I — natężenie prądu.

Zależność siły elektromotorycznej E indukowanej w uzwojeniu pomiarowym od położenia x pływaka i proporcji geometrycznych układu ustalona została w [6], a jej wartość maksymalną E_{\max} określa przybliżona relacja

$$\frac{E_{\max}}{\mu_0 \omega N_p (NI) D_w} \cong 1,0, \quad (3)$$

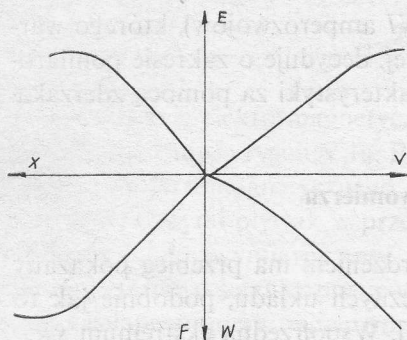
gdzie N_p — liczba zwojów cewki pomiarowej, D_w — średnica wewnętrzna cewki, ω — pulsacja prądu.

Zależność indukowanej siły elektromotorycznej E od położenia rdzenia x przedstawiono na rysunku 1c; linia ciągła reprezentuje wartość wypadkową przy połączeniu różnicowym cewek.

Ponieważ przepływ odbywa się przez stosunkowo wąską i długą szczelinę, na spadek ciśnienia Δp , który decyduje o wielkości siły hydrodynamicznej W , składa się strata energii kinetycznej proporcjonalna do kwadratu natężenia przepływu V i strata spowodowana lepkością, liniowo zależna od V , a zatem [1]

$$A \Delta p = W = aV + bV^2, \quad (4)$$

gdzie A — pole przekroju poprzecznego pływaka, przy czym stałe współczynniki zależą: a — od lepkości ośrodka oraz b — od gęstości ośrodka. Charakterystyka wyjściowa przepływomierza $E = E(V)$ powstaje jako wynik nakładania się charakterystyk składowych, co przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Charakterystyki składowe i charakterystyka wyjściowa przepływomierza elektromagnetycznego

Charakterystyka magnetyczna ma przebieg w przybliżeniu liniowy [1,5]

$$F = W = k_F x, \quad (5)$$

gdzie k_F — stały współczynnik uwzględniający proporcje geometryczne i warunki zasilania.

Z równania (4) reprezentującego charakterystykę hydrodynamiczną wynika zależność

$$V = \frac{a}{2b} \left(\sqrt{1 + \frac{4b}{a^2} F} - 1 \right), \quad (6)$$

która po uwzględnieniu rozwinięcia w szereg

$$\sqrt{1 + \frac{4b}{a^2} F} \cong 1 + \frac{2b}{a^2} F - 2 \left(\frac{b}{a^2} \right)^2 F^2 \quad (7)$$

przybiera postać

$$V \cong \frac{F}{a} \left(1 - \frac{b}{a^2} F \right). \quad (8)$$

Liniową charakterystykę wyjściową

$$E = k_E V \quad (9)$$

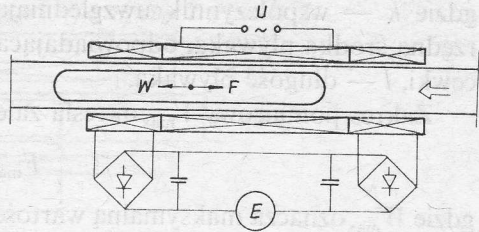
(gdzie k_E — stały współczynnik) można uzyskać gdy

$$E = \frac{k_E k_F}{a} x \left(1 - \frac{b}{a^2} k_E x \right), \quad (10)$$

co wynika z podstawienia (5) i (8) do (9).

4. Elektryczny układ pomiarowy

Układ pomiarowy elektromagnetycznego przepływomierza pływakowego o osi poziomej jest prostszy niż w przypadku konfiguracji pionowej [1], gdyż nie zachodzi potrzeba kompensacji wartości początkowej sygnału wyjściowego (rys. 1c). Przy



Rys. 3. Układ umożliwiający wyznaczenie wartości i kierunku przepływu

konfiguracji poziomej następuje to samoczynnie wobec różnicowego połączenia uzwojeń pomiarowych, co eliminuje również wpływ zmian napięcia zasilania na wartość sygnału wyjściowego przy zerowym natężeniu przepływu. Zależność charakterystyk składowych od natężenia prądu zasilającego: magnetycznej (por. (5)) [1]

$$F \sim I^2 x \quad (11)$$

oraz elektrycznej (por. (10))

$$E \sim Ix(1 - cx) \quad (12)$$

(gdzie c — stały współczynnik uwzględniający proporcje geometryczne) przy danym natężeniu przepływu V , a zatem i wartości siły magnetycznej F (por. [5]) zapewnia częściową kompensację wpływu zmian warunków zasilania. Okazuje się przy tym, że wzrost natężenia I prądu zasilającego przy danym natężeniu przepływu powoduje zmniejszenie się sygnału wyjściowego E , co wynika z przeważającego wpływu osłabienia sprzężenia indukcyjnego wskutek zmniejszenia się wychylenia x pływaka od położenia środkowego. Przy zachowaniu symetrii uzwojeń tworzących transformator różnicowy sygnał wyjściowy nie wymaga prostowania, jak to ma miejsce przy konfiguracji pionowej [1].

Elektromagnetyczny przepływomierz pływakowy o osi poziomej może działać przy obu kierunkach przepływu. Zastosowanie układu prostującego przedstawionego na rysunku 3 i wskaźnika z zerem w środku skali pozwala na pomiar natężenia przepływu z uwzględnieniem jego kierunku.

5. Optymalne proporcje i zakres pomiarowy

Zakres pomiarowy pływakowego przepływomierza elektromagnetycznego z osią poziomą przy danych proporcjach geometrycznych i wymiarach, a w szczególności długości h cewki zasilanej i długości l pływaka, zależy od średnicy D przewodu pomiarowego, szerokości szczeliny δ oraz od liczby amperozwojów NI cewki wytwarzającej pole magnetyczne.

Maksymalną wartość F_{\max} siły magnetycznej działającej na pływak określa przybliżona zależność zlinearyzowana o postaci (por. [5])

$$F_{\max} \cong \mu_0 k \left(\frac{l}{D_w} \right)^2 x_{F_{\max}} (NI)^2 \cdot D_w \quad (13)$$

gdzie k — współczynnik uwzględniający proporcje geometryczne, $x_{F_{\max}}$ — współrzędna środka pływaka, odpowiadająca F_{\max} , D_w — wewnętrzna średnica uzwojenia cewki, l — długość pływaka.

Zakres pomiarowy V_{\max} określa zależność

$$F_{\max} = W_{\max}, \quad (14)$$

gdzie W_{\max} oznacza maksymalną wartość działającej na pływak siły hydrodynamicznej, którą można wyznaczyć z (4). Zakres pomiarowy można zmieniać regulując prąd I zasilania, przy czym (por. (13)) dla danego przepływomierza

$$\frac{(W_{\max})_2}{(W_{\max})_1} = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2. \quad (15)$$

Warunek pełnego wykorzystania skoku pływaka ma postać

$$x_{F_{\max}} \cong x_{E_{\max}}, \quad (16)$$

gdzie $x_{E_{\max}}$ oznacza współrzędną pływaka, przy której indukowana siła elektromotoryczna E osiąga wartość maksymalną.

Z badań [6] wynika, że zależność (16) jest spełniona, gdy

$$x_{E_{\max}} = 1/2 h, \quad (17)$$

co wraz z zależnością (1) determinuje optymalną wysokość h cewki przy danej długości l pływaka.

Przebieg charakterystyk magnetycznych układu cewki z rdzeniem, wpływający na kształt charakterystyki wyjściowej przepływomierza, został ustalony w [3]. Zależy on od długości względnej pływaka l/D_w , której wzrost przyczynia się do zwiększenia indukowanej siły elektromotorycznej E . Jako optymalną długość z punktu widzenia linearyzacji charakterystyki wyjściowej można przyjąć [5]

$$l/D_w \cong 4. \quad (18)$$

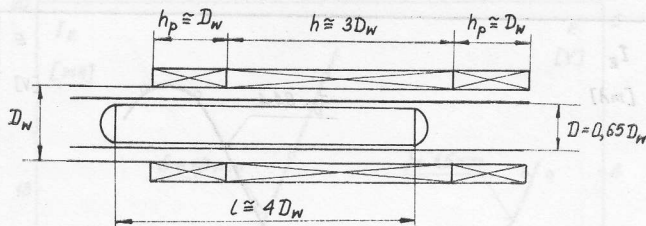
Wysokość h_p cewek pomiarowych nie odgrywa istotnej roli [6]. Ponieważ pochodna indukowanej siły elektromotorycznej dE/dh_p przy danej liczbie zwojów jest malejącą funkcją wysokości h_p cewki, celowe okazuje się przyjęcie

$$h_p \cong 1/2 h, \quad (19)$$

gdyż zapewnia to miejsce dla wystarczającej liczby zwojów, a zatem i wysoki poziom sygnału bez nadmiernego wzrostu średnicy zewnętrznej uzwojenia i całkowitej długości układu.

6. Wyniki badań

Badania elektromagnetycznego przepływomierza pływakowego z osią poziomą przeprowadzono na prototypie o średnicy przewodu pomiarowego $D = 16$ mm. Jego proporcje geometryczne pokazano na rysunku 4. W wyniku przeprowadzonych prób zostały one ustalone w sposób zapewniający najlepszą liniowość charakterystyki



Rys. 4. Optymalne proporcje geometryczne badanego przepływomierza

ki wyjściowej. Cewka wytwarzająca pole magnetyczne miała $N = 2000$ zwojów nawiniętych drutem o średnicy $\varnothing = 0,45$ mm. Każda z cewek pomiarowych miała $N_p = 3100$ zwojów o średnicy drutu $\varnothing_p = 0,12$ mm. Średnica wewnętrzna obu cewek wynosiła $D_w = 23$ mm. Pomiary wykonano dla wody.

Uwzględniono dwie możliwości zasilania: przy stałym natężeniu prądu ($I = \text{const}$) i przy stałym napięciu ($U = \text{const}$). Na rysunku 5 przedstawiono ustalone eksperymentalnie charakterystyki wyjściowe. Zwiększenie natężenia prądu powoduje dla danego wydatku obniżanie się indukowanej siły elektromotorycznej E . Jest to spowodowane zmniejszaniem się przemieszczenia x pływaka wynikającym z zależności

$$x_2/x_1 = (I_2/I_1)^{-2}, \quad (20)$$

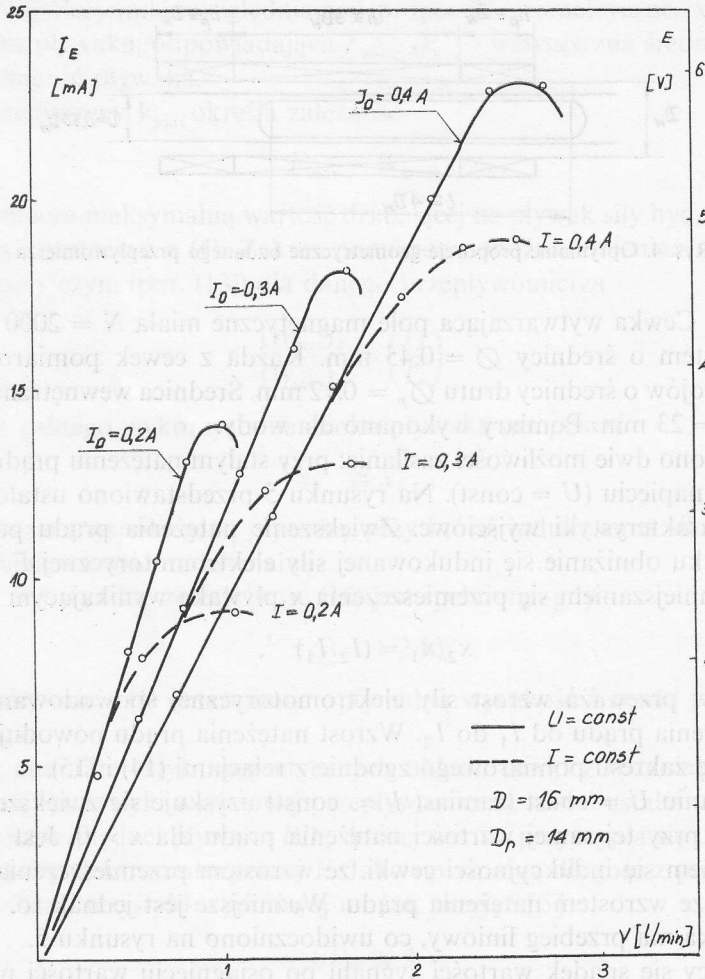
którego wpływ przeważa wzrost siły elektromotorycznej spowodowany zwiększeniem się natężenia prądu od I_1 do I_2 . Wzrost natężenia prądu powoduje natomiast zwiększenie się zakresu pomiarowego zgodnie z relacjami (14) i (15).

Przy zasilaniu $U = \text{const}$ (zamiast $I = \text{const}$) uzyskuje się zwiększenie zakresu pomiarowego przy tej samej wartości natężenia prądu dla $x = 0$. Jest to związane ze zmniejszaniem się indukcyjności cewki, ze wzrostem przemieszczenia x pływaka i tym samym ze wzrostem natężenia prądu. Ważniejsze jest jednak to, że wówczas charakterystyka ma przebieg liniowy, co uwidoczniło na rysunku 5.

Ujawniający się spadek wartości sygnału po osiągnięciu wartości maksymalnej (określającej zakres pomiarowy) związany jest z wykonaniem cewki wytwarzającej pole magnetyczne o mniejszej długości h niż to wynika z zależności (1) i (17) i zachodzącą wskutek tego nierównością $x_{E_{\max}} < x_{F_{\max}}$ (por. (16)).

Sposób pomiaru sygnału wyjściowego E nie ma istotnego wpływu na kształt charakterystyki. Można więc mierzyć zarówno indukowaną siłę elektromotoryczną E jak też odpowiadające jej natężenie prądu I_E , które zależy od impedancji obwodu zachowującej prawie stałą wartość dzięki szeregowemu połączeniu cewek pomiarowych i niewystępowaniu między nimi sprzężenia wzajemnego, oraz wskutek kompensowania się zmian indukcyjności obu cewek spowodowanych przemieszczaniem się pływaka.

Badanie wpływu szerokości δ szczeliny pierścieniowej pomiędzy pływakiem i przewodem pomiarowym wykonano dla pływaków o średnicach $D_r = 14$ mm i $D_r = 13$ mm, co odpowiada szczelinom $\delta = 1,0$ mm i $\delta = 1,5$ mm. Wyniki przedstawiono na rysunku 6, z którego wynika, że wpływ szerokości szczeliny jest bardzo silny. Okazuje się również, że przy zwiększaniu szerokości szczeliny δ charakterystyka wyjściowa

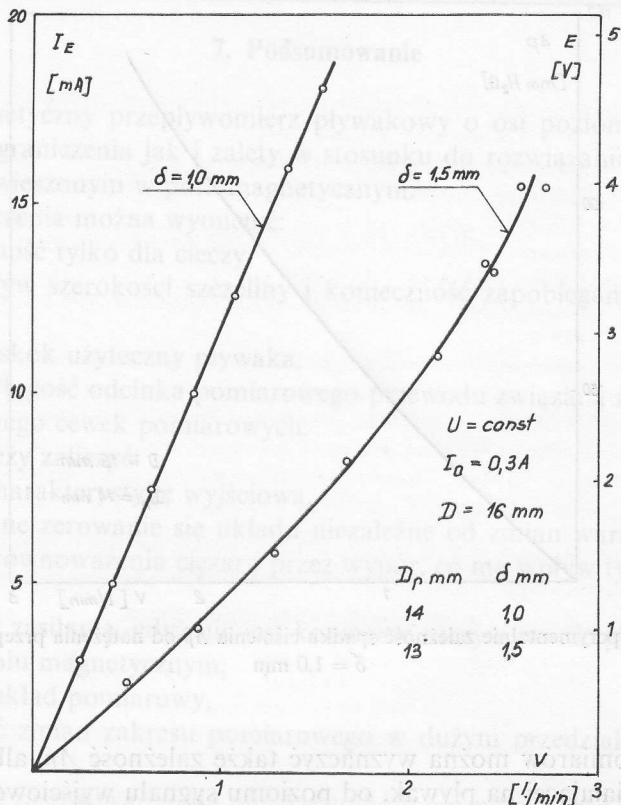


Rys. 5. Wyznaczone eksperymentalnie charakterystyki wyjściowe przepływomierza przy różnych warunkach i sposobach zasilania

ulega zakrzywieniu. Jest to spowodowane zwiększaniem się udziału straty energii kinetycznej w stosunku do strat spowodowanych lepkością. Liniowość charakterystyki przepływomierza przy zwiększonej szerokości szczeliny δ można zachować zmieniając zasilanie z $U = \text{const}$ na $I = \text{const}$, albo modyfikując odpowiednio proporcje geometryczne, co jednak nastęrcza trudności. Trzeba więc uznać, że warunkiem liniowości jest mała szczelina pierścieniowa pomiędzy pływakim i ścianką przewodu pomiarowego.

Z równania (4) przedstawionego w postaci (por. [1])

$$\Delta p = c_a \frac{l}{\delta^3} V + c_b \left(\frac{V}{\delta} \right)^2, \quad (21)$$



Rys. 6. Wyznaczone eksperymentalnie charakterystyki wyjściowe przepływomierza przy różnych szczelinach δ (średnicach D_p pływaka)

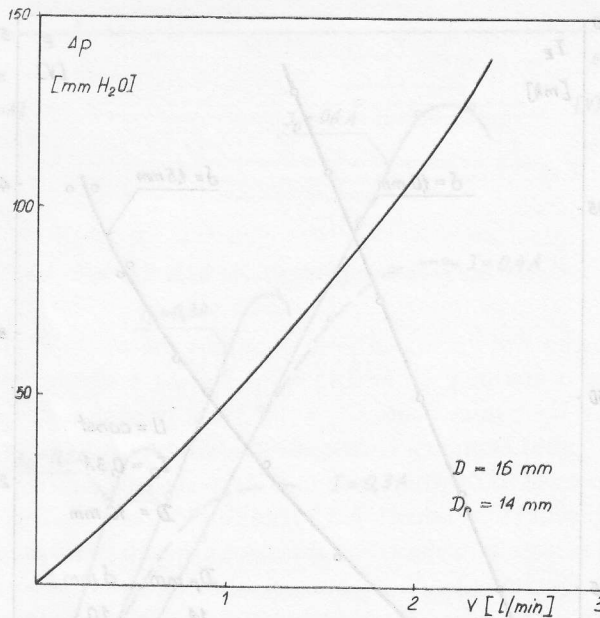
przy oznaczeniach

$$c_a = \frac{12\lambda}{\pi D}, \quad (22)$$

$$c_b = \frac{0,8\rho}{(\pi D)^2}, \quad (23)$$

gdzie λ — współczynnik lepkości, ρ — gęstość ośrodka, można wyznaczyć natężenie przepływu V jako funkcję szerokości szczeliny δ i spadku ciśnienia Δp .

Spadek ciśnienia Δp można obliczyć wykorzystując ogólną zależność (21), albo zmierzyć. Ponieważ bezpośredni pomiar jest dość kłopotliwy można wykonać go pośrednio wyznaczając siłę magnetyczną F przy pionowym położeniu układu cewek przepływomierza obciążając pływak zanurzony w wodzie. Uwzględnia się przy tym zależności (4) i (5). Znając zależność sygnału wyjściowego E od ciężaru pływaka można wyznaczyć zależność Δp od natężenia przepływu V dla różnych parametrów zasilania. Rezultaty pomiarów pokazano na rysunku 7. Odnoszą się one do pływaka o średnicy $D_p = 14$ mm, co odpowiada szczelinie $\delta = 1,0$ mm. Na podstawie danych



Rys. 7. Ustalona eksperymentalnie zależność spadku ciśnienia Δp od natężenia przepływu przy szczelinie $\delta = 1,0 \text{ mm}$

uzyskanych z pomiarów można wyznaczyć także zależność Δp , albo siły hydrodynamicznej W działającej na pływak, od poziomu sygnału wyjściowego (od E lub I). Znajomość takiej charakterystyki umożliwia zastosowanie układu do pomiarów różnic ciśnienia oraz ułatwia wyznaczanie zależności $\Delta p = f(V)$ dla różnych średnic D_r pływaka (zmieniających się w niezbyt dużych granicach) i tym samym dla różnych szerokości szczelin δ .

Znajomość spadku ciśnienia Δp umożliwia ustalenie wpływu szerokości szczeliny δ , który dla danej wartości sygnału E można określić w postaci relacji wynikającej z (21)

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\delta_1}{\delta_2} \frac{\sqrt{1 + \frac{4c_b \Delta p}{(c_a l)^2} \delta_2^4 - 1}}{\sqrt{1 + \frac{4c_b \Delta p}{(c_a l)^2} \delta_1^4 - 1}} \quad (24)$$

Obliczone w ten sposób wartości okazują się zgodne z tymi, jakie wynikają z wykresów na rysunku 6, co potwierdza poprawność zależności (21) wyznaczonej przy założeniach upraszczających.

Przedstawiając zależność z rysunku 7 w układzie współrzędnych $\Delta p/V$ i V reprezentowaną prostą (por. (21)), łatwo można odczytać wartości $c_a l / \delta^3$ (jako wartość początkową rzędnej) oraz c_b / δ^2 (jako pochylenie) określone odpowiednio relacjami (22) i (23). Na ich podstawie można następnie wyznaczyć współczynnik lepkości λ przepływającego ośrodka, a także jego gęstość ρ .

7. Podsumowanie

Elektromagnetyczny przepływomierz pływakowy o osi poziomej wykazuje zarówno pewne ograniczenia jak i zalety w stosunku do rozwiązania o osi pionowej z pływakiem zawieszonym w polu magnetycznym.

Jako ograniczenia można wymienić:

- stosowalność tylko dla cieczy,
- duży wpływ szerokości szczeliny i konieczność zapobiegania osadzaniu się zanieczyszczeń,
- mniejszy skok użyteczny pływaka,
- większą długość odcinka pomiarowego przewodu związaną z zastosowaniem układu różnicowego cewek pomiarowych.

Do zalet należy zaliczyć:

- liniową charakterystykę wyjściową,
- samoczynne zerowanie się układu niezależne od zmian warunków zasilania i niepełnego zrównoważenia ciężaru przez wypór, co ma wpływ tylko na wielkość tarcia,
- małą moc zasilania, gdyż nie jest konieczne utrzymywanie pływaka w stanie zawieszenia w polu magnetycznym,
- prostszy układ pomiarowy,
- możliwość zmian zakresu pomiarowego w dużym przedziale, przez zmianę prądu zasilania,
- możliwość zastosowania dla obu kierunków przepływu oraz ich rozróżnianie przy wskaźniku z zerem w środku skali.

Elektromagnetyczny przepływomierz pływakowy o osi poziomej nie wykazuje histerezy wskazań, gdyż tarcie o ściankę przewodu jest wyeliminowane przy zrównoważeniu ciężaru pływaka wyporem hydrostatycznym cieczy.

Elektromagnetyczny przepływomierz pływakowy o osi poziomej może znaleźć różnorodne zastosowanie, przy czym szczególnie nadaje się do przetwarzania niezbyt dużych natężeń przepływu (nie przekraczających paru l/min.) na sygnał elektryczny, wykorzystywany w układach automatycznej regulacji w elektronicznych układach do przetwarzania danych pomiarowych. Można również wykorzystać go do pomiaru oporów przepływu cieczy przez wąskie, pierścieniowe szczeliny oraz do wyznaczania wartości współczynnika lepkości.

Przedstawione rezultaty badań mają charakter wstępny, a ustalone optymalne proporcje zostały wydedukowane na podstawie obszerniejszych danych zebranych dla elektromagnetycznych przepływomierzy pływakowych o osi pionowej i zweryfikowane doświadczalnie dla kilku różnych proporcji geometrycznych w układzie poziomym. Uogólnienie wyników wymagałoby rozszerzenia zakresu badań przez uwzględnienie różnych średnic przewodów pomiarowych i pływaków oraz parametrów elektrycznych cewek.

Literatura

- [1] J. Śmigielski, *Elektromagnetyczne pływakowe przetworniki wydatku i ciśnienia. Podstawy teoretyczne, badania, konstrukcja*. PWN, Warszawa—Poznań 1980.
- [2] J. Śmigielski, *Licznik energii cieplnej*. Pat. nr 146733.
- [3] J. Śmigielski, *Zależność siły działającej na rdzeń w polu magnetycznym cewki od jego położenia*. Prace IMP z. 88, s. 159, 1985.
- [4] J. Śmigielski, *Ekstremalne położenie ferromagnetycznego rdzenia otwartego zawieszonoego w polu magnetycznym cewki*. Prace IMP z. 88, s. 147, 1985.
- [5] J. Śmigielski, *Charakterystyka magnetyczna cewki z ferromagnetycznym rdzeniem otwartym*. Prace IMP z. 88, s. 127, 1985.
- [6] J. Śmigielski, *Charakterystyka elektryczna dwóch cewek z ferromagnetycznym ruchomym rdzeniem otwartym*. Arch. Elektrot. z. 2, s. 513, 1986.
- [7] J. Hengstenberg, B. Sturm, O. Winkler, *Messen und Regeln in der Chemischen Technik*. Springer, Berlin 1957.

**Оптимизационные исследования электромагнитного поплавкового
расходомера характеризующегося горизонтальной осью
и линейной характеристикой**

Резюме

Представлены принцип действия и конструкция электромагнитного поплавкового расходомера, характеризующегося горизонтальной осью и линейной характеристикой.

Установлены зависимость составных характеристик от геометрических параметров и условия, при которых получается линейная исходная характеристика.

На основе результатов исследований системы двух катушек, сопряжённых индукционно при помощи ферромагнитного сердечника, определяются оптимальные геометрические пропорции расходомера.

Представлены результаты экспериментальных исследований с учётом влияния размера щели.

Обсуждаются ограничения и достоинства представленного решения, а также возможности применений.

**Optimizing Investigations of a Horizontal Electromagnetic Float-Flowmeter
with Linear Characteristic**

Summary

The arrangement and operation principle of a horizontal electromagnetic float-flowmeter with linear characteristic have been reported. The dependence of component characteristics on geometric parameters and the conditions of linearity of the output characteristic have been estimated. The optimum geometric proportions have been evaluated based on the results of investigations of two coils inductively linked by a ferromagnetic core. The results of experiments include the influence of clearance widths on the flowmeter performance. The limitations and advantages of the device as well as possible applications have been discussed.