

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

88

WARSZAWA – POZNAŃ 1985

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 1985

Printed in Poland

ISBN 83-01-07020-X

ISSN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 340 + 90 egz. Ark. wyd. 13. Ark. druk. 10,875. Papier druk. sat. kl. V, 70 g. 70 × 100 cm. Oddano do składania 3 I 1985 r. Podpisano do druku 5 XI 1985 r.

Druk ukończono w listopadzie 1985 r. Zam. nr 240/107. S-7/712. Cena zł 220,-

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

JÓZEF ŚMIGIELSKI

Gdańsk

Wyznaczanie charakterystycznych parametrów pływakowego przepływomierza elektromagnetycznego na zasadzie podobieństwa*

W pracy przedstawiono analizę podobieństwa elektromagnetycznych przepływomierzy pływakowych. Ustalono zależności pozwalające na wyznaczenie charakterystycznych parametrów prototypu za pomocą znanych wartości dla modelu o innych wymiarach. Rozważono również przypadki częściowo zniekształconego podobieństwa.

Optymalny dobór wymiarów i proporcji elektromagnetycznego przepływomierza pływakowego opiera się na znajomości charakterystyk składowych (hydrodynamicznej, magnetycznej i elektrycznej) układu cewki z ferromagnetycznym rdzeniem otwartym, spełniającym rolę ruchomej zwężki (rys. 1) [1].

W ten sposób, przyjmując odpowiednie kryterium optymalizacji [2], można jednak określić charakterystyczne parametry pracy tylko w sposób przybliżony, ze względu na przyjmowane uproszczenia i aproksymacje. Rzeczywiste wartości ustala się przeprowadzając pomiary na wykonanym modelu. Uzyskane w ten sposób dane można następnie wykorzystać przy projektowaniu przepływomierzy dla innych zakresów pomiarowych, a więc o innych wymiarach, przy takich samych proporcjach geometrycznych. Pozwala to na ściślejsze określenie parametrów pracy niż to ma miejsce w przypadku opierania się na znajomości i uogólnieniach charakterystyk składowych. W przypadku zniekształceń proporcji geometrycznych można również ocenić charakterystyczne parametry przepływomierza, ale przy zmniejszonej dokładności.

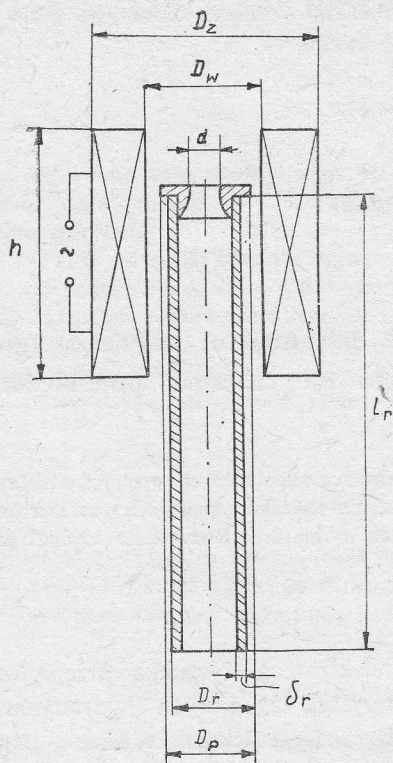
Współczynnik skali s prototypu w stosunku do modelu wynika z zależności

$$D_{p2} = sD_{p1}, \quad (1)$$

gdzie D_p oznacza średnicę przewodu pomiarowego przepływomierza, a indeksy 2 i 1 odnoszą się odpowiednio do obiektu projektowanego (prototypu) i obiektu istniejącego (modelu).

Inne wymiary podstawowe, takie jak długość pływaka l_p , jego średnica zewnętrzna D_p , grubość ścianki pływaka δ_r oraz wysokość h i średnica wewnętrzna D_w cewki określa-

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



Rys. 1. Schemat układu cewki z rdzeniem wyjaśniający najważniejsze oznaczenia wymiarów

ją zależności

$$l_{r2} = s l_{r1}, \quad (2)$$

$$D_{r2} = s D_{r1}, \quad (3)$$

$$\delta_{r2} = s \delta_{r1}, \quad (4)$$

$$h_2 = s h_1, \quad (5)$$

$$D_{w2} = s D_{w1}. \quad (6)$$

Maksymalny wydatek objętościowy V_{\max} (który łatwo może być przeliczony na wydatek masowy), a zatem zakres pomiarowy, określa zależność [1]

$$2G = \frac{2\rho V_{\max}^2}{\pi D_p^2} \left[\left(\frac{D_p}{d} \right)^2 - 1 \right]^2, \quad (7)$$

gdzie G – ciężar pływaka, d – średnica otworu pomiarowego w kołpaku pływaka.

Ciężar pływaka (efektywny, z uwzględnieniem wyporu hydrostatycznego, ale z pominięciem ciężaru kołpaka) można wyrazić w postaci

$$G = \frac{\pi}{4} D_r^2 \left[1 - \left(\frac{D_r - 2\delta_r}{D_r} \right)^2 \right] l_r (\rho_{Fe} - \rho) g, \quad (8)$$

albo po przekształceniu

$$G = \pi D_r \delta_r l_r \left(1 - \frac{\delta_r}{D_r} \right) (\rho_{Fe} - \rho) g, \quad (9)$$

przy czym ρ_{Fe} – gęstość materiału pływaka, ρ – gęstość ośrodka, g – przyspieszenie grawitacyjne.

Z obu tych zależności dla danej wartości stosunku d/D_p wynika związek

$$G_2 = s^3 G_1, \quad (10)$$

a po uwzględnieniu (7) także

$$\frac{(V_{\max})_2}{(V_{\max})_1} = s^{5/2}. \quad (11)$$

Spadek ciśnienia na przepływomierzu określa relacja [1]

$$\Delta p = \frac{8\rho V_{\max}^2}{\pi^2 D^4} \left[\left(\frac{D_p}{d} \right)^4 - 1 \right], \quad (12)$$

a zatem stosunek spadków ciśnień, po uwzględnieniu (1) i (11), wyraża związek

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = s. \quad (13)$$

W podobny sposób jak ciężar pływaka G zmienia się również maksymalna wartość siły magnetycznej F_{\max} , która równoważy ciężar pływaka w jego krańcowym położeniu [1].

Ponieważ

$$F_{\max} \cong G, \quad (14)$$

więc

$$(F_{\max})_2 = s^3 (F_{\max})_1. \quad (15)$$

Badania doświadczalne wykazały, że istnieje ogólna jednoznaczna zależność bezwymiarowej siły magnetycznej od parametrów geometrycznych układu cewki z rdzeniem (rys. 2) [1]

$$\frac{F_{\max}}{\mu_0 (NI)^2} = f \left(\frac{h}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}, \frac{D_z}{D_w} \right), \quad (16)$$

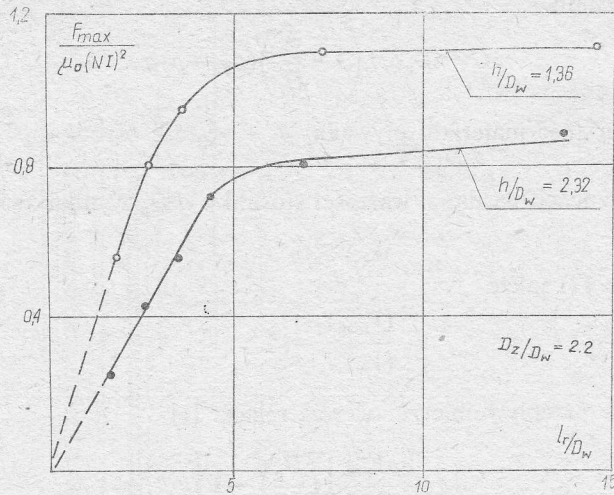
gdzie μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni, N – liczba zwojów cewki wytwarzającej pole magnetyczne, I – natężenie prądu zasilającego cewkę, D_z – średnica zewnętrzna cewki.

Dla układów geometrycznie podobnych, po uwzględnieniu (10), (15) i (16), otrzymuje się zależność

$$(NI)_2 = s^{3/2} (NI)_1. \quad (17)$$

Natężenie prądu zasilającego cewkę można wyrazić w postaci

$$I = i \frac{\pi}{4} \Phi^2, \quad (18)$$



Rys. 2. Zależność maksymalnej wartości siły magnetycznej działającej na rdzeń od jego długości

gdzie i – dopuszczalna gęstość prądu, Φ – średnica drutu.

Przy $i = \text{const}$ z (18) wynika zależność

$$N_2 \Phi_2^2 = s^{3/2} N_1 \Phi_1^2. \quad (19)$$

Napięcie zasilania cewki wyraża relacja

$$U = I \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}, \quad (20)$$

gdzie R – rezystancja cewki, L – indukcyjność cewki, ω – pulsacja prądu zasilającego.

Z zależności (20) wynika związek

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_2 R_2}{I_1 R_1} \sqrt{\frac{1 + (\omega L_2/R_2)^2}{1 + (\omega L_1/R_1)^2}}. \quad (21)$$

Rezystancję cewki określa zależność

$$R = \frac{4N}{\sigma \Phi^2} \frac{D_z + D_w}{2}, \quad (22)$$

w której σ oznacza konduktywność.

Z (22) wynika relacja

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{N_2 D_{z2} + D_{w2}}{N_1 D_{z1} + D_{w1}} \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_2} \right)^2, \quad (23)$$

która po uwzględnieniu (6) i (19) przybiera formę

$$\frac{R_2}{R_1} = s^{-1/2} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2. \quad (24)$$

Odwołując się do (17) można ostatecznie (21) przedstawić w postaci

$$\frac{U_2}{U_1} = s^{5/2} \frac{I_1}{I_2} \sqrt{\frac{1 + (\omega L_2/R_2)^2}{1 + (\omega L_1/R_1)^2}}, \quad (25)$$

albo

$$\frac{U_2}{U_1} = s \frac{N_2}{N_1} \sqrt{\frac{1 + (\omega L_2/R_2)^2}{1 + (\omega L_1/R_1)^2}}. \quad (26)$$

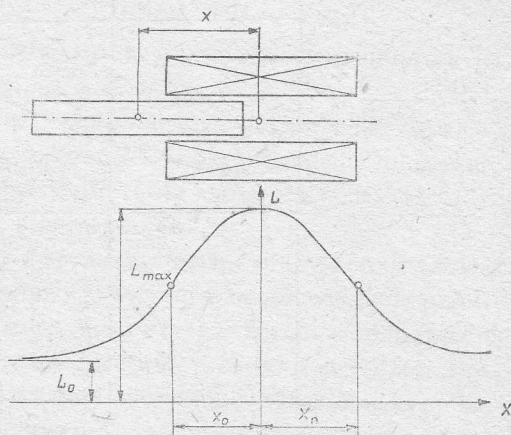
Biorąc pod uwagę maksymalną indukcyjność cewki z rdzeniem umieszczonym w jej środku (rys. 3) można czynnik występujący w (21) pod pierwiastkiem przedstawić w postaci

$$\frac{\omega L_{\max}}{R} = \frac{\omega L_0}{R} \frac{L_{\max}}{L_0}. \quad (27)$$

Czynnik L_{\max}/L_0 jest jednoznaczłą funkcją parametrów geometrycznych układu cewki z rdzeniem

$$\frac{L_{\max}}{L_0} = \psi\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right) \quad (28)$$

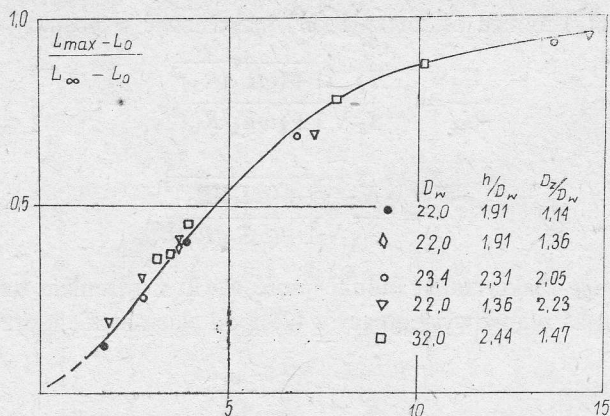
a jego wartość, która może być wyznaczona na drodze eksperymentalnej [1], jest stała



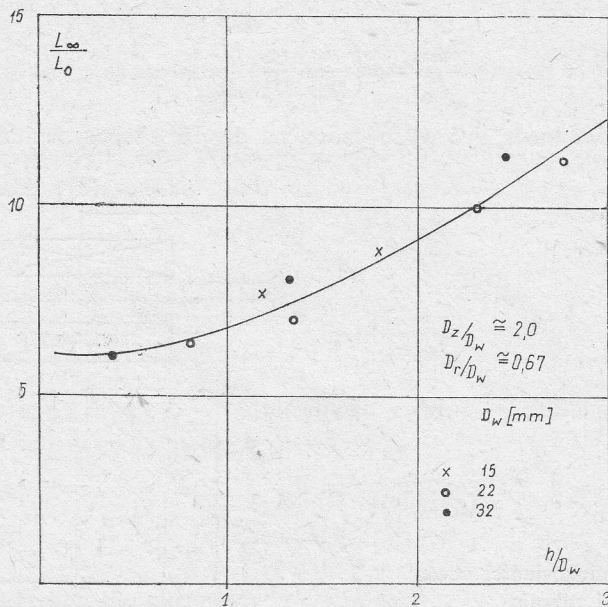
Rys. 3. Zależność indukcyjności cewki od położenia rdzenia

dla układów geometrycznie podobnych. Na rysunku 4 przedstawiono tę zależność w formie zredukowanej, przez odniesienie do wartości granicznej L_{∞}/L_0 , odpowiadającej długości l_r/D_w rdzenia rosnącej nieograniczenie. Ułatwia to ustalenie zależności ogólnej opartej na wynikach badań eksperymentalnych, gdyż występują wówczas funkcje nie więcej niż dwóch zmiennych [1]. Przebieg funkcji L_{∞}/L_0 przedstawiono na rysunku 5. Pomiary odnoszą się do długości rdzenia $l_r/D_w \cong 15$, przy której osiągnięta jest praktycznie wartość graniczna indukcyjności. W relacjach (27) i (28) L_0 oznacza indukcyjność cewki bez rdzenia. W ogólnym przypadku cewki o grubym uzwojeniu i ograniczonej długości, L_0 określa zależność [3]

$$\frac{L_0}{\mu_0 N^2 D_w} = \varphi\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}\right). \quad (29)$$



Rys. 4. Zależność zredukowanej maksymalnej indukcyjności cewki od długości rdzenia



Rys. 5. Zależność względnej maksymalnej granicznej wartości indukcyjności cewki z rdzeniem od wysokości cewki

Uwzględniając ten związek oraz (23) i (28) można (27) wyrazić w postaci

$$\frac{\omega L_{\max}}{R} = \mu_0 \frac{\omega \sigma}{2} N \Phi^2 \frac{\varphi\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}\right)}{\frac{D_z}{D_w} - 1} \psi\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right). \quad (30)$$

Biorąc pod uwagę zależność (19) i oznaczając

$$\mu \frac{\omega \sigma}{2} = c, \quad (31)$$

przy czym dla miedzi i częstotliwości prądu 50 Hz $c = 1,11 \cdot 10^4$, oraz oznaczając

$$\frac{\varphi\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}\right)}{\frac{D_z}{D_w} - 1} \psi\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right) = \Gamma\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right), \quad (32)$$

można (25) przedstawić w postaci

$$\frac{U_2}{U_1} = s^{5/2} \frac{I_1}{I_2} \sqrt{\frac{1 + s^3 \left[c N_1 \Phi_1^2 \Gamma\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right) \right]^2}{1 + \left[c N_1 \Phi_1^2 \Gamma\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right) \right]^2}}. \quad (33)$$

Moc pozorną zasilania przy stałej gęstości prądu określa zatem zależność

$$\frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} = s^{5/2} \sqrt{\frac{1 + s^3 \left[c N_1 \Phi_1^2 \Gamma\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right) \right]^2}{1 + \left[c N_1 \Phi_1^2 \Gamma\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right) \right]^2}}, \quad (34)$$

z której wynika (uwzględniając (32)), że dla układów geometrycznie podobnych moc jest jednoznacznie określona przez współczynnik s skali.

Wyznaczania najważniejszych parametrów przepływomierza dokonuje się zwykle dla założonego zakresu pomiarowego, który przez zależność (11) określa współczynnik skali s . Determinuje on bezpośrednio wymiary geometryczne cewki i pływaka (zależności (2) ... (6)), a przez zależność (17) również liczbę amperozwojów.

Istnieje swoboda wyboru wartości jednej z dwóch zmiennych I oraz N , ponieważ w grę wchodzi tylko jedno równanie (17). Bardziej celowy jest wybór wartości natężenia prądu I , gdyż determinują je parametry zasilacza stabilizującego, a z (17) wyznacza się odpowiednią liczbę zwojów cewki. Z równania (19) wynika średnica drutu Φ_2 przy założonej gęstości prądu i . Z równań (33) i (34), uwzględniając (31) i wartość odczytaną z wykresu na rysunku 4, można wyznaczyć zarówno napięcie jak i moc pozorną zasilania (maksymalne wartości).

W przypadku zasilania napięciowego wybiera się zwykle wartość U_2 (np. kierując się względami bezpieczeństwa ogranicza się wartość napięcia do 24 V). Z równania (33) można wówczas wyznaczyć natężenie prądu I_2 i dalsze wielkości charakterystyczne N_2 , Φ_2 oraz moc zasilania $U_2 I_2$, kolejno z równań (17), (19) i (34).

W analizie podobieństwa przepływomierzy pominięte zostało zagadnienie uzwojenia pomiarowego (rys. 1) i indukowanej w nim siły elektromotorycznej E . Uzasadnieniem tego jest względna niezależność układu pomiarowego oraz brak potrzeby i celowości zachowywania podobieństwa geometrycznego cewek pomiarowych. Poziom sygnału indukowanego w uzwojeniu pomiarowym jest wysoki i nie wymaga wzmocnienia. Wartość strumienia magnetycznego wytwarzanego przez cewkę pierwotną jest uwarunkowana ciężarem pływaka. Przy wzrastających jego wymiarach można by więc również odpowiednio zwiększyć poziom sygnału wyjściowego z cewki pomiarowej. Nie jest to jednak potrzebne,

tym bardziej, gdy stosowany jest standardowy układ pomiarowy [4]. Dlatego cewka pomiarowa przepływomierza wykonanego w zwiększonej skali (prototypu) ma zwykle mniejsze wymiary względne niż w modelu, co narusza podobieństwo geometryczne. Istotne znaczenie ma natomiast zachowanie stałego stosunku maksymalnego poziomu sygnału wyjściowego do jego wartości początkowej. Maksymalizacja tej wartości stanowi podstawowe kryterium optymalizacji przepływomierza przy różnych możliwościach [5].

Przy projektowaniu przepływomierzy względy praktyczne mogą zdecydować o konieczności zmiany niektórych proporcji geometrycznych. Zawsze dotyczy to średnicy zewnętrznej D_z cewki. Przekrój uzwojenia określa zależność

$$\frac{h}{2}(D_z - D_w) = \frac{N \pi \Phi^2}{\chi \cdot 4}, \quad (35)$$

gdzie χ oznacza współczynnik wypełnienia [6] zależny od rodzaju izolacji drutu. Przyjmując określoną gęstość prądu, uwzględniając równania (17) i (18) oraz dokonując przekształceń otrzymuje się zależność

$$\frac{(D_z/D_w)_2 - 1}{(D_z/D_w)_1 - 1} = s^{-1/2}, \quad (36)$$

z której wynika, że względna średnica zewnętrzna zmniejsza się ze wzrostem współczynnika skali. Ponieważ zmiany te nie są duże, a zależność funkcji φ (por. (29)) i ψ (por. (28)) występujących w równaniach (33) i (34) reprezentowanych przez Γ , od średnicy zewnętrznej nie jest zbyt silna, więc można wpływ zmiany D_z/D_w pominąć.

Oprócz zmian średnicy zewnętrznej cewki może zachodzić konieczność zmiany:

- gęstości natężenia prądu,
- efektywnego ciężaru pływaka (np. ze względu na zastosowanie do pomiaru natężenia przepływu innego czynnika).

Zmiana ciężaru pływaka (np. przez zmianę grubości ścianki), jak wynika z zależności (9), umożliwi zmianę zakresu pomiarowego. Nie będzie natomiast rozpatrywany wpływ zmian proporcji geometrycznych cewki z rdzeniem, gdyż powodują one tak znaczne różnice charakterystyk, że trudno wówczas w ogóle mówić o podobieństwie układów.

Gęstość prądu w uzwojeniu cewki wpływa na jej temperaturę. Ze względu na różne warunki chłodzenia, zależne zarówno od temperatury otoczenia jak i od rodzaju przepływającego czynnika (gaz, woda), a także od sposobu wykonania cewki, można przyjmować gęstość natężenia prądu w granicach [6]

$$i = 1,0 - 2,5 \text{ A/mm}^2. \quad (37)$$

Dlatego, nawet zachowując pełne podobieństwo geometryczne, może zachodzić konieczność uwzględnienia różnych wartości i w modelu i prototypie. Może ona wynikać również z braku drutu o odpowiedniej średnicy Φ , albo z dążenia do obniżenia mocy zasilania, co ma istotne znaczenie dla przepływomierzy na duże wydatki. W tym przypadku z równań (17) i (18) wynika zależność

$$N_2 \Phi_2^2 i_2 = s^{3/2} N_1 \Phi_1^2 i_1. \quad (38)$$

Moc zasilania prototypu można wyrazić ogólnie w formie relacji

$$UI = I^2 R \sqrt{1 + (\omega L_{\max}/R)^2}. \quad (39)$$

Po uwzględnieniu (18), (22) i (30) oraz po dokonaniu uproszczeń otrzymuje się zależność

$$UI = \frac{\pi}{2\sigma} N I D_w \left(\frac{D_z}{D_w} + 1 \right) i \sqrt{1 + \left[\frac{2}{\pi} \mu_0 \frac{\omega \sigma}{i} N I \Gamma \left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w} \right) \right]^2}. \quad (40)$$

Dla układów podobnych geometrycznie przy współczynniku skali s otrzymuje się więc zależność

$$\frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} = s^{5/2} \sqrt{\frac{\left(\frac{i_2}{i_1} \right)^2 + s^3 \left[\frac{2}{\pi} \mu_0 \frac{\omega \sigma}{i_1} N_1 I_1 \Gamma \left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w} \right) \right]^2}{1 + \left[\frac{2}{\pi} \mu_0 \frac{\omega \sigma}{i_1} N_1 I_1 \Gamma \left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w} \right) \right]^2}}, \quad (41)$$

która biorąc pod uwagę (18) i (32) może również mieć postać

$$\frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} = s^{5/2} \sqrt{\frac{\left(\frac{i_2}{i_1} \right)^2 + s^3 \left[c N_1 \Phi_1 \Gamma \left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w} \right) \right]^2}{1 + \left[c N_1 \Phi_1 \Gamma \left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w} \right) \right]^2}}. \quad (42)$$

W przypadku, gdy

$$\left[c N_1 \Phi_1 \Gamma \left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w} \right) \right]^2 = \left(\frac{\omega L_{\max}}{R} \right)^2 \gg 1 \quad (43)$$

oraz przy

$$\left(\frac{i_2}{i_1} \right)^2 \leq 1, \quad (44)$$

równanie (42) można przedstawić w formie przybliżonej i wówczas

$$\frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cong s^4. \quad (45)$$

Jak wynika z zależności (45), przy wzroście wymiarów przepływomierza następuje znaczne podwyższenie mocy zasilania, co stanowi ograniczenie zakresu pomiarowego dla tego typu przyrządów. Z tego powodu wskazane jest stosowanie środków konstrukcyjnych zapewniających obniżenie mocy, takich jak zmniejszenie wysokości cewki h/D_w . Można również obniżać moc pozorną zasilania przez stosowanie przyłączonych szeregowo kondensatorów o dużej pojemności, obniżających reaktancję układu. Zmniejszenie ciężaru pływaka może nastąpić przez zmniejszenie grubości jego ścianki δ_r , albo przez zmniejszenie długości l_r . Obniża się w ten sposób moc zasilania, ale także zakres pomiarowy.

W pierwszym przypadku jeśli

$$\delta'_r = \varepsilon \delta_r, \quad (46)$$

to w podobny sposób zmniejsza się także ciężar (por. (9))

$$G' = \varepsilon G. \quad (47)$$

Ponieważ odnosi się to również do siły magnetycznej (16), więc dochodzi się ostatecznie do relacji

$$(NI)_2 = \varepsilon s^{3/2} (NI)_1. \quad (48)$$

Moc zasilania prototypu w tym przypadku określa związek

$$\frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} = s^{5/2} \varepsilon \sqrt{\frac{\left(\frac{i_2}{i_1}\right)^2 + s^3 \varepsilon^2 \left[\frac{2}{\pi} \mu_0 \frac{\omega \sigma}{i_1} N_1 I_1 \Gamma\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right) \right]^2}{1 + \left[\frac{2}{\pi} \mu_0 \frac{\omega \sigma}{i_1} N_1 I_1 \Gamma\left(\frac{h}{D_w}, \frac{D_z}{D_w}, \frac{l_r}{D_w}\right) \right]^2}}. \quad (49)$$

Zmiana długości l_r pływaka wpływa na wartość czynnika L_{\max}/L_0 (por. (28)), tak jak to pokazuje wykres na rysunku 4. Ponieważ funkcja aproksymująca tę zależność ma złożoną postać, więc zamiast uwzględnienia jej w formie algebraicznej bardziej celowe okazuje się odczytanie odpowiednich wartości z wykresu i obliczenie współczynnika deformacji długości pływaka

$$\lambda = \frac{(L_{\max}/L_0)_2}{(L_{\max}/L_0)_1}. \quad (50)$$

Występujący w liczniku równania (49) (por. (28) i (32)) stosunek indukcyjności dla pływaka o zmienionej długości określa wówczas relacja

$$\left(\frac{L_{\max}}{L_0}\right)_2 = \lambda \left(\frac{L_{\max}}{L_0}\right)_1. \quad (51)$$

Zmiany którejkolwiek proporcji geometrycznej prototypu w stosunku do modelu pociągają za sobą zmiany wartości zarówno czynnika ψ (por. (28)) jak i funkcji φ (por. (29)), których ogólna postać algebraiczna jest znana jedynie w postaci złożonych wyrażeń aproksymujących. Dlatego w razie konieczności uwzględnienia tych zmian pozostaje jedynie możliwość podstawienia do wyrażenia (42) odpowiednich wartości odczytanych z wykresu (rys. 4) i obliczonych z wyrażenia (29).

Zmiana wartości stosunku d/D_p w prototypie w stosunku do modelu, jak wynika z (7), prowadzi do relacji

$$\frac{G_2}{G_1} = \left(\frac{D_{p1}}{D_{p2}}\right)^2 \frac{[(V_{\max})_2]^2 \left[\frac{\left(\frac{D_p}{d}\right)_2^2 - 1}{\left(\frac{D_p}{d}\right)_1^2 - 1} \right]^2}{[(V_{\max})_1]^2}, \quad (52)$$

która uwzględniając (1) i (10) przybiera postać

$$\frac{(V_{\max})_2}{(V_{\max})_1} = s^{5/2} \frac{\left(\frac{D_p}{d}\right)_2^2 - 1}{\left(\frac{D_p}{d}\right)_1^2 - 1}. \quad (53)$$

Spadek ciśnienia na prototypowym przepływomierzu (por. (12)) określa wówczas relacja

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = s \frac{\left(\frac{D_p}{d}\right)_2^4 - 1}{\left(\frac{D_p}{d}\right)_1^4 - 1}. \quad (54)$$

Zmiana wartości D_p/d w prototypie w stosunku do modelu nie ma natomiast wpływu na związki określające parametry elektryczne prototypowego przepływomierza.

Wyprowadzone zależności określają wartości odbiegające od rzeczywistych jeśli model i prototyp różnią się w sposób zasadniczy, np. gdy dla obniżenia mocy zasilania prototypu stosuje się kondensatory kompensujące reaktancję cewki, albo gdy obiekty różnią się wskutek zastosowania w jednym z nich ekranowania eliminującego zakłócający wpływ pól zewnętrznych. W tym ostatnim przypadku zmniejsza się oporność magnetyczna, a tym samym obniża liczba amperozwojów i moc zasilania. Trzeba też liczyć się z wpływem prądów wirowych indukowanych w częściach metalowych przepływomierza, których natężenie zależy od rezystancji materiału, z którego wykonany jest przewód pomiarowy. W każdym jednak przypadku można przynajmniej oszacować wartości zasadniczych parametrów pracy przepływomierza, co umożliwi dobór odpowiednich sposobów zasilania i ilościową ocenę wpływu wszystkich zmiennych parametrów bez konieczności wykonywania pomiarów.

Praca wpłynęła do Redakcji w listopadzie 1982 r.

Literatura

- [1] J. Śmigielski, *Elektromagnetyczne pływakowe przetworniki wydatku i ciśnienia*. PWN, Warszawa 1980.
- [2] A. Jaworek, *Optymalizacja elektromagnetycznego przepływomierza pływakowego według kryteriów dokładnościowych*. Prace IMP, z. 87, 1984.
- [3] J. Śmigielski, *Indukcyjność cewki o grubym uzwojeniu i małej długości*. Prace IMP, z. 87, 1984.
- [4] A. Jaworek, J. Ziemann, *Układy zasilający i pomiarowy elektromagnetycznego przepływomierza pływakowego*. Oprac. wewn. IMP PAN nr 156/80.
- [5] A. Jaworek, *Projektowanie uzwojenia wtórnego elektromagnetycznego przepływomierza pływakowego*. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 133/1043/82.
- [6] J. Dobrski, *Nawijanie cewek*. PWT, Warszawa 1980.

Определение характерных параметров электромагнитного поплавкового расходомера на основе принципа подобия

Резюме

В работе представлен анализ подобия электромагнитных поплавковых расходомеров. Установлены в ней зависимости позволяющие предвидывать основные параметры характеризующие прототип, если известны они для модели. Выведены также связи позволяющие производить расчет

числа обмоток катушки, диаметр проволоки, силу тока, а также напряжение и мощность питания для прототипа.

Рассмотрены также случаи частично деформированного подобия, а в особенности изменение плотности тока, веса и размеров поплавка, а также их влияние на параметры характеризующие прототип. Выведенные зависимости могут оказаться полезными в процессе проектирования расходомеров, а также для оценки влияния отдельных переменных и при выборе источника питания.

Estimation of Characteristic Parameters of an Electromagnetic Float-Flowmeter by Application of the Similarity Principle

Summary

An analysis of similarity of electromagnetic float-flowmeter is presented. Relations determining the basic characteristic parameters for the prototype based on those for the model have been derived. The number of turns of the magnetizing coil, wire diameter, current and voltage, as well as the dissipated power have been evaluated. The case of distorted similarity has been considered, taking account for variations of the current density, weight and relative dimensions of the float.

The expressions derived may be useful for designers of electromagnetic flowmeters. They allow for estimation of performance of the device and choice of appropriate power supply unit.