

440

DOKUMENT WZORCOWY**ZAKŁAD POMIARU PARAMETRÓW PRZEPIYU**

Nazwa ONB/ZNB

BE 10

Główny wykonawca

mgr inż. Jan Goska

Wykonawcy:

mgr inż. Marek Maciąg

mgr inż. Wojciech Winiarski

Piotr Dopierała

**TEMAT: Opracowanie i badania laboratoryjne modelu
wzbudzenia pola magnetycznego i sygnału pomiarowego
elektromagnetycznego czujnika przepływu**

**Etap 3 : Badanie wpływu czynników zakłócających pracę
elektromagnetycznego czujnika przepływu oraz
sprawdzenie możliwości ich eliminacji lub kompensacji**

(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

Zleceniodawca

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Kierownik Zakładu DPQ

mgr inż. Wojciech Winiarski

Z-ca Dyrektora
ds. Badawczo-Rozwojowych

dr inż. Jan Jabłkowski

Pracę zakończono dnia **20.01.1998 r.**Nr arch. **7526**Nr zlecenia **S 1695**

Analiza deskryptorowa

**Przepływomierz elektromagnetyczny,
badania laboratoryjne**

Abstrakt

Sprawozdanie zawiera opis analizy czynników zakłócających pracę przepływomierza elektromagnetycznego, sposobów ich kompensacji i badania laboratoryjne.

Tytuły poprzednich sprawozdań

7372 Opracowanie i badania laboratoryjne układu wzbudzenia pola magnetycznego i sygnału pomiarowego elektromagnetycznego czujnika przepływu

7457 Opracowanie, wykonanie i badania laboratoryjne modelu elektromagnetycznego czujnika przepływu wraz z układem wejściowym.

Rozdzielnik

Egz. 1. **OIN**

Egz. 2. **DPQ**

Egz. 3. **DPQ**

1. Wstęp

1.1. Przedmiot pracy

Celem tego etapu było ustalenie wpływu i sprawdzenie możliwości opracowania układów eliminacji lub kompensacji sygnałów zakłócających pracę elektromagnetycznego czujnika przepływu. W zrealizowanym etapie, w wyniku przeprowadzonych pomiarów i obserwacji zostały określone źródła sygnałów zakłócających. Na tej podstawie opracowano i wykonano układ pomiarowy, a następnie sprawdzono jego właściwości. Chodzi tu o wpływ „przesłuchów” od prądu pola wzbudzającego i pól zewnętrznych, niestabilności sygnału „zerowego” oraz niestabilności pola magnetycznego w przestrzeni pomiarowej czujnika. Bez wyeliminowania tych czynników niemożliwe było poprawienie dokładności w stosunku do wyników z poprzedniego etapu i osiągnięcie poziomu, który spotykany jest w rozwiązaniach dobrych firm. W trakcie realizacji tego etapu okazało się niezbędne przesunięcie wysiłków z planowanych badań przepływowych mających na celu ustalenie wpływu poszczególnych sygnałów zakłócających na korzyść analizy i pomiarów układu elektronicznego.

1.2. Podstawa wykonania pracy

Praca niniejsza wykonana została w ramach 3 etapu zlecenia S 16 95 - „Badanie wpływu czynników zakłócających pracę elektromagnetyczną pracę elektromagnetycznego czujnika przepływu oraz sprawdzenie możliwości ich eliminacji lub kompensacji”. Etap ten stanowił kontynuację prac mających na celu rozpoznanie możliwości opracowania i wdrożenia, do produkcji w PIAP własnej konstrukcji przepływomierza elektromagnetycznego.

2. 2. Analiza obwodów pomiarowych czujnika

2.1. Analiza czynników zakłócających pracę czujnika.

W trakcie badań wykonanych w poprzednim etapie stwierdzono, że SEM czujnika podlega okresowym wahaniom o różnym okresie powtarzania i zmieniającej się amplitudzie. Efekty te zasadniczo wpływały na błędy pomiaru, który w badanym poprzednio modelu przekraczał wartość $\pm 1\%$. Długookresowe pomiary napięć i obserwacje przy pomocy oscyloskopu sygnałów uzyskiwanych w stosowanym, w poprzednim etapie, układzie pomiarowym wykazały:

- a. Występowanie „przydźwięku” od częstotliwości sieci o amplitudzie ok. 5mV

- b. Okresowe wahania sygnału zerowego o okresie powtarzania rzędu 10 s i rozpiętości do 100mV (dla wzmocnienia $K=1000V/V$).
- c. Niestabilność „pływanie” sygnału zerowego czujnika, która w poprzednich badaniach wymagała korekcji sygnału „zera” praktycznie przed każdą serią pomiarów.

Efekt opisany w a i b zwiększa błąd pomiaru w przypadku pomiaru małych dawek oraz pomiarów przy małej wartości strumienia objętości. W przypadku dużych dawek wpływ ulega uśrednieniu, a w przypadku dużych wartości strumienia objętości sygnały efekty zakłócające stają się małe wobec sygnału indukowanego od przepływu. Efekt opisany w punkcie c wprowadza systematyczne przesunięcie SEM czujnika wprowadzając błąd trudny do określenia co do wartości i do wyeliminowania. Obserwacja i rozróżnienie oraz ocena poszczególnych zakłóceń jest bardzo utrudniona na tle sygnału jaki powstaje nawet w nieruchomym medium przy obecności zmiennego pola magnesującego. W trakcie zmiany kierunku pola magnetycznego zmienia się gwałtownie wartość indukcji magnetycznej i w czujniku indukowana jest SEM o wartości przewyższającej wartość sygnału od przemieszczania się cieczy (jaki powstaje po ustaleniu się wartości indukcji magnetycznej). Dalsze, obserwacje wykazały, że dwa pierwsze z tych zjawisk występują w podobnym wymiarze również po wyłączeniu pola magnesującego czujnika. Ten fakt umożliwił obserwację i ustalenie cech ilościowych poszczególnych zakłóceń. Próby i obserwacje początkowo przeprowadzono na modelu układu z poprzedniego etapu modyfikowanym w kolejnych krokach. Na początku tych prób wzmacniacz wstępny miał wzmocnienie $K = 1000 V/V$ i rezystancje polaryzujące wejścia wzmacniacza $2 \times 20 M\Omega$. Wartości sygnałów zakłócających podane w niniejszym tekście uzyskane zostały przy zastosowaniu tego wzmacniacza. Próby przeprowadzone zostały z użyciem kilku egzemplarzy scalonych wzmacniaczy pomiarowych, dla których uzyskano bardzo podobny przebieg sygnałów i zakłóceń.

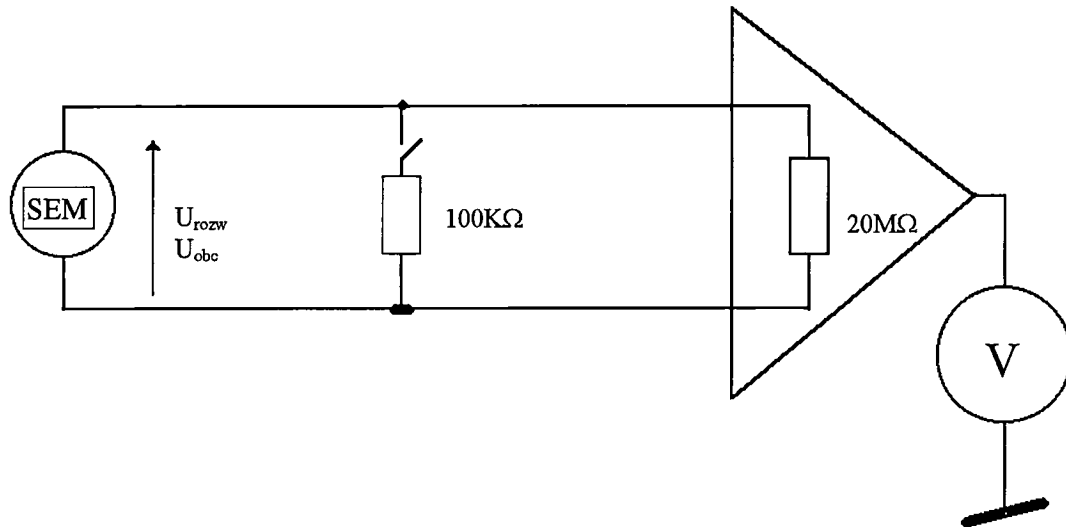
- Efekt opisany w punkcie a: „przydźwięk” od częstotliwości sieci obserwowany na wejściu układu próbującego - pamiętającego ma amplitudę na poziomie 10mV, a częstotliwość 50Hz. Efekt ten jest wywołany przez zewnętrzne pole zakłócające. Zmniejszenie wpływu tego zjawiska jest możliwe przez staranne ekranowanie przewodów, elementów oraz bardziej zwartą budowę wzmacniacza wstępnego. Efekt ten jest zależny również od miejsca usytuowania czujnika.
- Efekt opisany w punkcie b: „okresowe pływanie zera” w zakresie do 100mV. Czas trwania okresu powtarzania tego zjawiska wynosi ok. 10s.
- Efekt opisany w punkcie c: powodował przesuwanie się „zera” w granicach $0,15 \div 0,2V$. Zjawisko to praktycznie zanikało po wyłączeniu prądu magnesującego. To wskazuje na niewystarczającą skuteczność układu automatycznego ustawiania „zera”. Ten szkodliwy efekt udało się wyeliminować,

po wielu próbach przez wielokrotne zwiększenie stałej całkowania. Poprzednio zastosowano wartości zalecane przez producenta w schemacie aplikacyjnym. Analiza teoretyczna wskazywała na to, że powinny być one wystarczające. Mianowicie stosowana była pojemność 0,1 μ F i rezystor 1M Ω w układzie integratora Millera ze wzmacniaczem operacyjnym z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego dla składowej stałej. Zakładając, że wzmocnienie tego wzmacniacza jest nie mniejsze niż 1000 (powinno być wyższe) uzyskujemy stałą czasową:

$\tau = R \times C \times K = 10^6 [\Omega] \times 10^{-7} [F] \times 10^3 = 100s$. Wielkość ta przy częstotliwości przemagnesowywania ok. 10Hz wielokrotnie (1000 x) przewyższa cykl przemagnesowywania pola i próbkowania sygnału. Ustabilizowanie sygnału zerowego zapewniła dopiero praktycznie dobrana pojemność 1 μ F przy pozostawieniu rezystora 1M Ω . Zastosowanie takiej pojemności wyeliminowało efekt opisany w punkcie c. Pozostały do opanowania zjawiska opisane w punktach a i b. Próby zmniejszenia tych efektów przez zmniejszenie wzmocnienia powodują proporcjonalne zmniejszenie sygnału i zakłóceń w takim stosunku, w jakim nastąpiło zmniejszenie wzmocnienia. Ostatecznie proporcjonalny udział tych zjawisk pozostaje niezmienny. Zmniejszenie wartości rezystancji polaryzujących w zakresie możliwym w zastosowaniu do przepływomierza elektromagnetycznego również nie spowodowało istotnej poprawy. Istotne zmniejszenie tych rezystancji ograniczyłoby zastosowanie do pomiaru mediów o małej przewodności. Wykorzystując opisane wyżej obserwacje został opracowany układ pomiarowy umożliwiający wyeliminowanie efektu „okresowego pływania zera”. Efekt ten uzyskano przez skonstruowanie specjalnego detektora synchronicznego. Zasadniczą cechą tego rozwiązania jest pomiar różnicy SEM sygnału o polaryzacji dodatniej i ujemnej w kolejnych okresach pomiarowych przy magnesowaniu N-S i S-N. Ponieważ oba te pomiary odbywają się w czasie 1/T (dla częstotliwości 10Hz odbywa się to w czasie 0,1s) to płynięcie sygnału zera jest praktycznie niezauważalne. SEM fazy dodatniej sygnału czujnika „pływie” w identyczny sposób. W sygnale różnicowym to zjawisko ulega neutralizacji.

2.2. Poziom wymaganej impedancji wejściowej układu wzmacniacza

Producenci przepływomierzy elektromagnetycznych deklarują poprawną pracę dla przewodności cieczy > 5 μ S. Wynika stąd, że w czujniku DN 32 mamy do czynienia z impedancją między elektrodami na poziomie 200k Ω . Aby zmiany sygnału z powodu zmian przewodności cieczy nie wniosły błędu dodatkowego większego niż 1% impedancja wejściowa wzmacniacza powinna być na poziomie 20M Ω . W mediach, w których głównym składnikiem jest woda (mleko, roztwory wody) impedancja ta będzie znacznie niższa. Wykonano pomiar impedancji czujnika wypełnionego wodą. Dla impedancji wejściowej 20M Ω (2x10M Ω) sygnał miał wartość 4,8V. Po obciążeniu dodatkowym rezystorem dołączonym do elektrod 100 k Ω wielkość sygnału spadła do poziomu 4,4V. Ideę tego pomiaru pokazuje rysunek 1.



Rys. 1

Można założyć że impedancja $20\text{M}\Omega$ stanowi praktycznie rozwarcie w stosunku do wartości $100\text{k}\Omega$ i $U_{\text{rozww}} \approx \text{SEM}$. Wobec tego założenia, stosując zasadę Tewnina można ocenić z bardzo dobrym przybliżeniem wielkość impedancji między elektrodami czujnika wypełnionego wodą.

$$R = \frac{(U_{\text{rozww}} - U_{\text{obc}}) \times R_{\text{obc}}}{U_{\text{rozww}}} = \frac{(4,8\text{V} - 4,4\text{V}) \times 100\text{k}\Omega}{4,8\text{V}} \approx 10\text{k}\Omega$$

gdzie U_{rozww} - napięcie przy odłączonym rezystorze $100\text{k}\Omega$

U_{obc} - napięcie przy obciążeniu rezystorem $100\text{k}\Omega$

Z przeprowadzonego pomiaru wynika, że dla mediów o przewodności zbliżonej do wody błędy dodatkowe spowodowane poziomem przyjętej impedancji wzmacniacza są na poziomie $0,5 \times 10^{-3} \times 100\% = 0,05\%$.

3.3 Budowa układu pomiarowego

3.1. Układ wzmacniacza i detektora sygnału przepływomierza elektromagnetycznego.

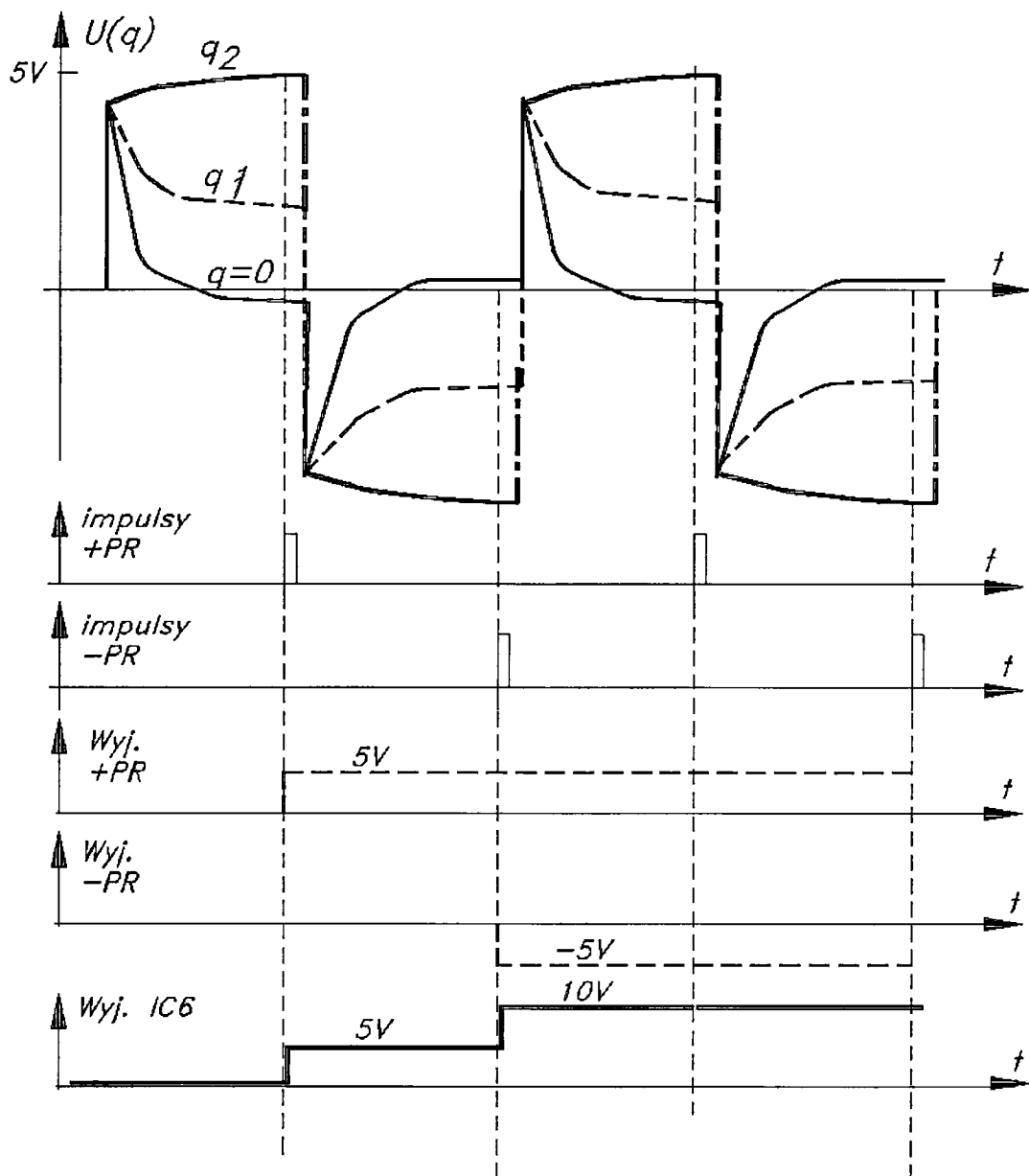
Układy zbudowano wykorzystując doświadczenia z poprzednich etapów oraz pomiary i obserwacje opisane w punkcie 2. Schemat ideowy układu przedstawiony został na rysunku Załącznik Nr 1. Wzmacniacz wstępny IC 1 jest precyzyjnym wzmacniaczem pomiarowym. Stabilność pracy tego elementu, który wzmacnia małe sygnały pomiarowe, decyduje o jakości pomiaru całego urządzenia. Do wejść 2 i 3 doprowadzone są przez kondensatory 100 nF C1 i C2 przewody od elektrod czujnika. Rezy-

stor R5 służy do ustawienia wzmocnienia wzmacniacza. Wzmocnienie dla zastosowanego tu wzmacniacza określa zależność $K = \frac{50000\Omega}{R5}$ Dla $R5 = 100\Omega$ wzmocnienie wynosi 500

Dwa rezystory R3 i R4 odtwarzają sygnał wspólny który przez wzmacniacz IC2 o wzmocnieniu $K = 1$ doprowadzony jest do ekranów przewodów doprowadzających sygnał z elektrod do wejścia wzmacniacza IC1. Do końcówki 5 wzmacniacza IC1 doprowadzony jest sygnał automatycznego zerowania wytwarzany przez układ IC3. Sygnał pomiarowy po wzmocnieniu jest doprowadzony jednocześnie do wejść układów IC4, IC5 stanowiących wraz z układem IC6 prostownik synchroniczny sygnału pomiarowego. Układy IC4 i IC5 są układami próbkująco - pamiętającymi. Układ IC4 zapamiętuje próbkę ujemnego napięcia sygnału pomiarowego natomiast układ IC5 próbkę dodatniego napięcia sygnału pomiarowego. Czas pobierania próbki jest krótki (ok. 10ms) i wybrany jest dla każdej fazy sygnału pomiarowego tak, aby wypadał po zaniku stanu nieustalonego związanego z przełączeniem kierunku magnesowania. Aby wykorzystać czas przy jak największej częstotliwości próbkowania, moment wybierania próbki ustalony został tuż przed następnym przełączeniem kierunku magnesowania. Momentem wybierania próbki sterują Sygnały PR- i PR+ doprowadzone z układu sterującego synchronizowanego z prądem zasilającym cewki wzbudzające pole magnetyczne. Próbki pobranych napięć doprowadzone są do wejść układu wzmacniacza IC6 o wzmocnieniu $K= 1$, który wytwarza sygnał będący sumą sygnału dodatniego i ujemnego. Ponieważ obie te próbki są pobierane w odstępie czasu poniżej 0,1s to wszelkie zmiany statycznego punktu pracy Wzmacniacza IC1 opisane w punkcie 1.3b obciążają w jednakowym stopniu (z takim samym znakiem) próbkę sygnału dodatniego jak i ujemnego napięcia. Ponieważ próbki dostarczane są do wejść, z których jedno odwraca fazę to sygnały użyteczne się sumują a sygnał niezrównoważenia wzmacniacza IC1, (mający jednakowy znak na obu wejściach) zostaje skompensowany. Rozwiązanie to ma dwie dodatkowe bardzo istotne zalety. Pierwszą zaletą jest to że sygnał uzyskiwany na wyjściu jest dwukrotnie większy co pozwoliło na obniżenie wzmocnienia wzmacniacza wstępnego co wiąże się z poprawą jego stabilności. Drugą zaletą jest to, że aktualizacja napięcia pomiarowego jest dwukrotnie częstsza niż częstotliwość przemagnesowywania pola magnetycznego. Dzięki temu przy częstotliwości przemagnesowywania 12Hz częstotliwość aktualizowania wartości mierzonej wynosi 24Hz. Układy IC7 i IC8 wytwarzają stabilne napięcie służące do zrównoważenia (wyzerowania) układu IC6 w takim stanie gdy przez czujnik nie przepływa ciecz. Z analizy układu i z pomiarów wynika, że wprowadzenie dodatkowego układu próbkująco - Pamiętającego nie pogarsza stabilności ponieważ ewentualne zmiany termiczne (pływanie) tych układów zlokalizowanych blisko siebie będzie się wzajemnie kompensować Natomiast układ IC6 pracujący z małym wzmocnieniem powinien zachować wysoką stabilność.

3.2. Układ sterujący pracą detektora synchronicznego

Na rysunku Zał. Nr2 przedstawiony jest układ zawierający obwody sterujące próbkowaniem, oraz obwody stanowiące integrator sygnału umożliwiające sprawdzenie dokładności przetwarzania czujnika przez porównanie z objętością wzorcową zmierzoną w zbiorniku pomiarowym.



Rys 2

Do wejść sterujących TP1 i TP2 doprowadzony jest sygnał z układu sterującego prądem magnesującym. Jest to sygnał prostokątny zmieniający swój stan równocześnie ze zmianą kierunku pola magnesującego. Doprowadzony jest on przez optoizolator równocześnie do układów IC2 i IC4. Układy IC2 i IC4 mają podany sygnał z optoizolatora na różne wejścia sterujące. Jeden z nich IC2 wyzwala jest ujemnym zboczem impulsu, a drugi IC4 dodatnim zboczem. Są to układy monostabilne wytwarzające opóźnienie impulsów próbkujących. Opóźnienie to w modelu można regulować potencjometrami P1 i P2. Po czasie opóźnienia zbocza kończące impulsy opóźniające wyzwalają dwa proste układy monostabilne zbudowane z bramek NOR układu IC3. Te układy wytwarzają z kolei impulsy sterujące pobieraniem próbek, odpowiednio sygnał IMP- próbki ujemnego napięcia, a sygnał IMP+ próbki dodatniego napięcia. Przebiegi sygnałów ilustruje rysunek Nr 2.

3.3. Integrator sygnału pomiarowego

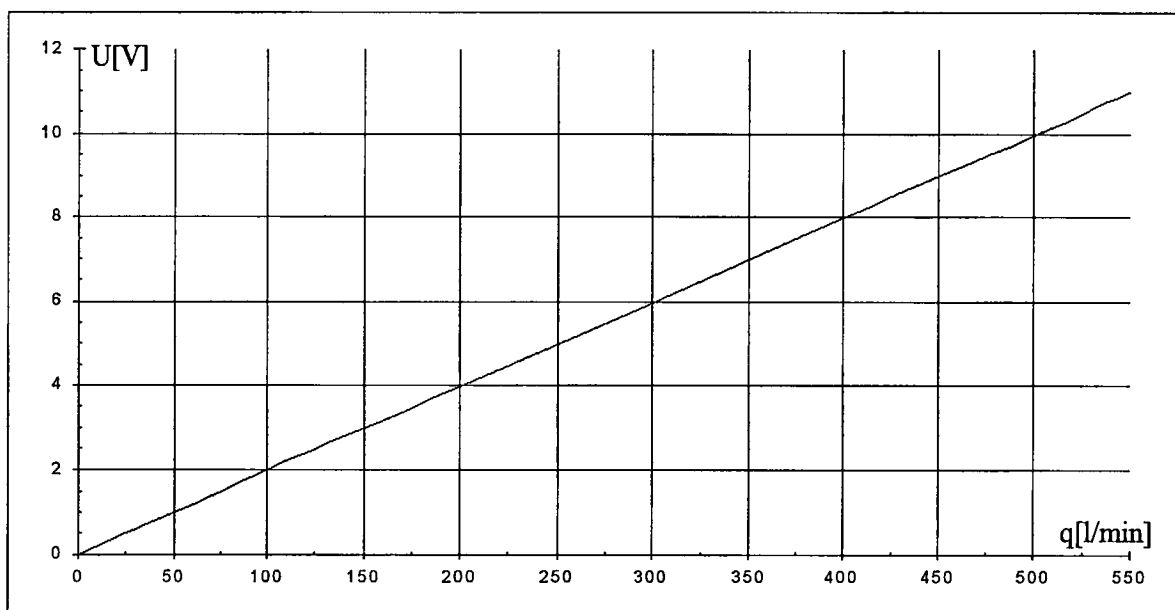
Aby umożliwić ocenę metrologiczną zbudowanych układów z zastosowaniem stanowisk pomiarowych dostępnych w Laboratorium Wodny PIAP zbudowany został integrator pozwalający na wytworzenie i zliczenie liczby impulsów, które są miarą objętości cieczy jaka przepłynęła przez czujnik i dają możliwość porównania z objętością do jakiej napełnił się zbiornik pomiarowy w czasie próby. Wytworzony sygnał pomiarowy napięcia z detektora synchronicznego doprowadzony jest przez złącze TP12 do wejścia układu IC7 przetwarzającego napięcie na częstotliwość ze współczynnikiem przetwarzania 1kHz/1V. Następnie sygnał z przetwornika podany jest do dzielnika 1/10 aby sprowadzić występujące podczas pomiaru częstotliwości do zakresu, który może być zliczany przez prosty licznik sumujący zliczający impulsy z częstotliwością graniczną 1kHz.

4. Sprawdzenie właściwości metrologicznych

4.1. Sprawdzenie błędu podstawowego przetwarzania objętości

Istniejące w PIAP stanowiska nie pozwalają na sprawdzenie bezpośrednio przetwarzanego napięcia w funkcji strumienia objętości. Stanowiska pomiarowe nie zapewniają wystarczającej stabilności strumienia objętości. Badany układ stanowiący fragment modelu przepływomierza nie jest wyposażony w żadne elementy uśredniające, które są niezbędne w torze analogowym przepływomierza elektromagnetycznego. Dlatego dla sprawdzenia właściwości metrologicznych konieczne jest porównanie objętości wzorcowej zmierzonej przy pomocy zbiornika wzorcowego z liczbą impulsów układu sumującego. Porównanie to pozwala na ocenę błędu pomiaru objętości badanego układu, a więc służy sprawdzeniu podstawowej funkcji przepływomierza.

W Tabelcy Nr 1 zestawione zostały wyniki pomiarów w zakresie od $25\text{dm}^3/\text{min}$ do $550\text{dm}^3/\text{min}$. W tej serii pomiarów zastosowano elektromagnesy o liczbie zwojów 2×1600 o rezystancji $9,8\Omega$. Wzmocnienie wzmacniacza wstępnego wynosiło 500V/V . W kolumnie 2 zamieszczona została nominalna wartość strumienia objętości przy której wykonywano pomiar. W rzeczywistości wartość strumienia objętości wahała się w czasie pomiaru, zwłaszcza przy dużych wartościach strumienia objętości, w granicach do 3%. Zmiany te w czasie wykonywania prób były korygowane ręcznie. Oprócz tych wahań wynikających ze spadku ciśnienia w instalacji występują stałe wahania, o mniejszej amplitudzie, obserwowane również na przepływomierzu szeregowo włączonym za czujnikiem elektromagnetycznym. W kolumnie 3, jako informacja pomocnicza zapisane zostały wartości średnie napięć sygnału na wyjściu układu detektora synchronicznego. Napięcie to steruje integrator złożony z przetwornika napięcie - częstotliwość, dzielnika i licznika impulsów. W kolumnie 4 podaną liczbę impulsów zliczonych podczas poszczególnych pomiarów. W kolumnie 5 podana jest wysokość słupa wody w zbiorniku pomiarowym, a w kolumnie 6 objętość wody określona na podstawie tablicy wzorcowania sporządzonej podczas legalizacji przez Okręgowy Urząd Miar w Warszawie. W kolumnie 7 podane są wartości współczynnika przetwarzania określające liczbę impulsów na 1dm^3 obliczonych dla każdego pomiaru. W kolumnie 2 zanotowane zostały wartości napięć z wyjścia detektora synchronicznego. Przebieg tego napięcia w funkcji strumienia objętości, przedstawia rysunek Nr3.



Rys. 3

Tablica Nr 1

Lp.	q[l/min]	U[V]	n [imp]	h [mm]	V [l]	k [imp/l]	$K_{str}(q)$
1	25	0,499	11837	399	101,42	116,71	116,52
2	25		11805	398	101,17	116,68	
3	25		11863	401	101,92	116,40	
4	25		11842	399	101,42	116,76	
5	25		11842	400	101,67	116,47	
6	25		11861	402	102,17	116,09	
1	50	0,99	23608	798	201,35	117,25	117,01
2	50		23689	804	202,85	116,78	
3	50		23656	802	202,35	116,90	
4	50		23720	802	202,35	117,22	
5	50		23669	803	202,60	116,83	
6	50		23658	801	202,10	117,06	
1	100	1,98	22533	761	192,09	117,30	117,32
2	100		23630	799	201,60	117,21	
3	100		23729	802	202,35	117,27	
4	100		23700	801	202,10	117,27	
5	100		23581	796	200,85	117,41	
6	100		23681	799	201,60	117,47	
1	200	3,98	24285	798	206,59	117,55	117,52
2	200		23524	804	200,35	117,41	
3	200		23435	802	199,61	117,40	
4	200		23747	802	202,10	117,50	
5	200		23745	803	201,85	117,64	
6	200		23745	801	201,85	117,64	

M

Tablica Nr 1 - ciąg dalszy

Lp.	q[l/min]	U[V]	n [imp]	h [mm]	V [l]	k [imp/l]	$K_{sr}(q)$
1	300	5,96	23984	809	204,1	117,51	117,53
2	300		23986	809	204,1	117,52	
3	300		23916	806	203,35	117,61	
4	300		24231	817	206,09	117,57	
5	300		23968	809	204,10	117,43	
6	300		24224	817	206,09	117,54	
1	400	7,95	24007	810	204,35	117,48	117,51
2	400		23985	809	204,10	117,52	
3	400		24006	809	204,10	117,62	
4	400		23018	776	195,85	117,53	
5	400		23778	803	202,60	117,36	
6	400		23993	809	204,10	117,56	
1	500	9,95	23677	798	201,35	117,59	117,51
2	500		23805	803	202,60	117,50	
3	500		24247	818	206,34	117,51	
4	500		24118	814	205,35	117,45	
5	500		24138	815	205,59	117,41	
6	500		24116	813	205,10	117,58	
1	550	11,00	23932	808	203,35	117,69	117,52
2	550		23708	799	201,60	117,60	
3	550		23878	806	203,35	117,42	
4	550		23938	808	203,85	117,43	
5	550		23792	803	202,60	117,43	
6	550		24161	815	205,59	117,52	

Na podstawie tablicy Nr 1 sporządzony został arkusz służący do oceny uzyskanych wyników pomiarów przedstawiony w postaci tablicy Nr 2. W wierszu 2 tej tablicy podano wartości strumienia objętości. Wiersze 3 - 8 zawierają wartości stałych przetwarzania z tablicy Nr 1. Wiersz 9 zawiera wyliczoną wartość średnią współczynnika przetwarzania dla poszczególnych wartości strumienia objętości. Wiersz 10 zawiera wartości estymatora odchylenia standardowego „s” obliczone dla poszczególnych kolumn zgodnie z wzorem

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - k_{\text{śr}})^2}{n - 1}}$$

n - liczba pomiarów (6);

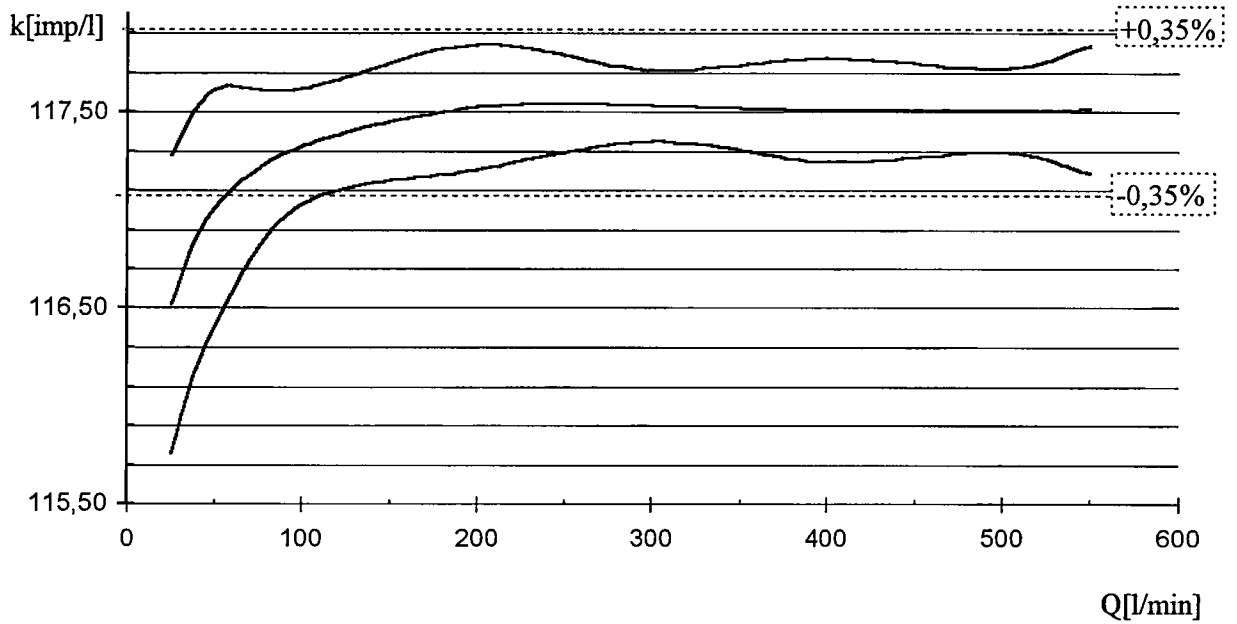
k_i - wartość współczynnika przetwarzania z pomiaru;

$k_{\text{śr}}$ - średnia wartość współczynnika przetwarzania;

Wiersz 11 zawiera wartość średnią współczynnika przetwarzania powiększoną o wartość 3s, a wiersz 12 zawiera wartość średnią współczynnika przetwarzania pomniejszoną o wartość 3s. Sporządzony na podstawie tego arkusza wykres, przedstawiony na rysunku Nr4, ilustruje przebieg wartości $K_{\text{śr}}$, $K_{\text{śr}} + 3s$, i $K_{\text{śr}} - 3s$ w funkcji strumienia objętości. Przedział pomiędzy $K_{\text{śr}} - 3s$ i $K_{\text{śr}} + 3s$ odpowiada najczęściej przyjmowanemu poziomowi ufności 0,997.

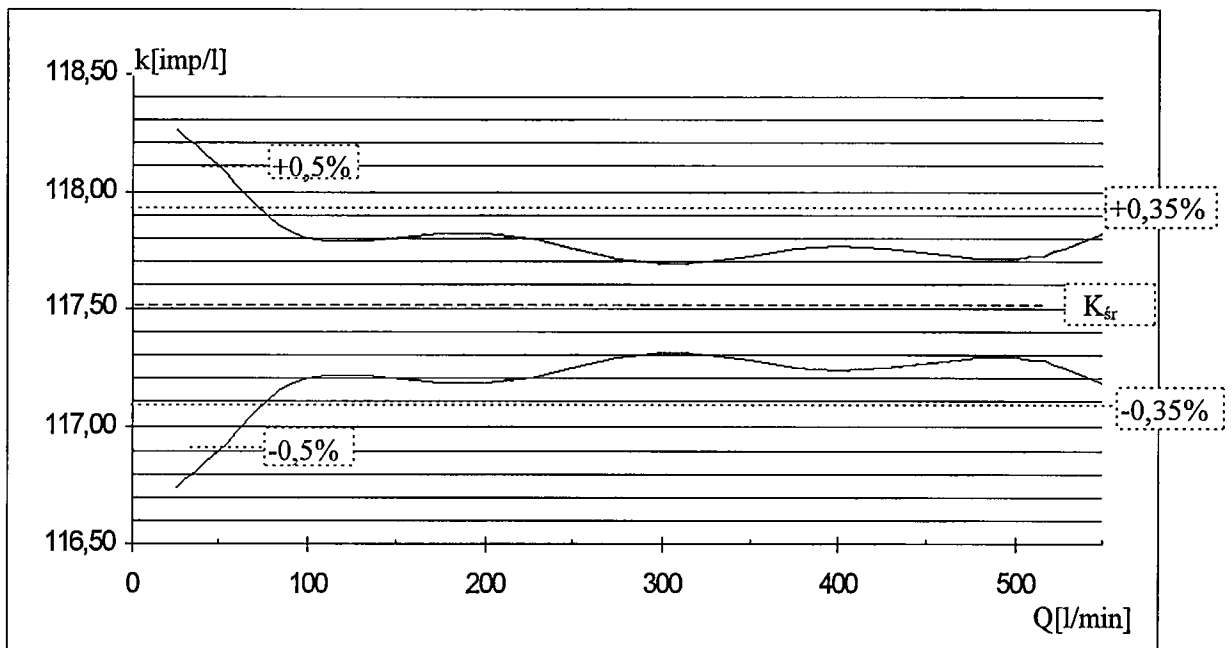
Tablica Nr 2

LP	1	2	3	4	5	6	7	8
q [l/min]	25	50	100	200	300	400	500	550
k1	116,71	117,25	117,3	117,55	117,51	117,47	117,59	117,68
k2	116,68	116,78	117,21	117,41	117,52	117,52	117,5	117,6
k3	116,40	116,90	117,27	117,40	117,61	117,62	117,51	117,42
k4	116,76	117,22	117,27	117,5	117,57	117,53	117,45	117,43
k5	116,47	116,83	117,41	117,64	117,43	117,36	117,41	117,43
k6	116,09	117,06	117,47	117,64	117,54	117,56	117,58	117,52
$K_{\text{śr}}$	116,52	117,01	117,32	117,52	117,53	117,51	117,51	117,51
s	0,253	0,201	0,098	0,106	0,061	0,089	0,071	0,108
$K_{\text{śr}}+3s$	117,28	117,61	117,62	117,84	117,71	117,78	117,72	117,84
$K_{\text{śr}}-3s$	115,76	116,40	117,03	117,20	117,35	117,24	117,29	117,19



Rys.4

Jeżeli przyjąć przebieg charakterystyki przetwarzania przedstawiony na rysunku Nr 4 to w docelowym układzie przepływomierza można zastosować korekcję tej charakterystyki.



Rys. 5

14

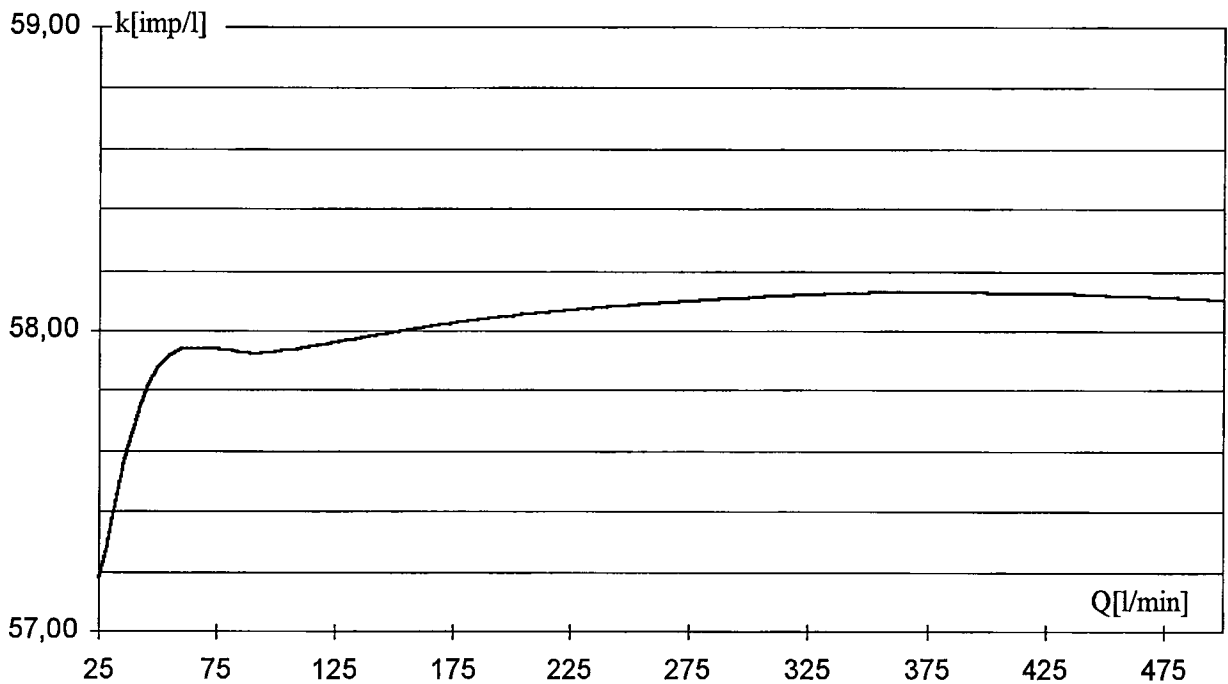
Otrzymaną charakterystykę należy skorygować w zakresie $0 \text{d} 25 \div 150 \text{dm}^3/\text{min}$. Po wprowadzeniu korekcji tego zakresu rozrzut wyników pomiaru, w całym zakresie pomiarowym, przy założeniu takich samych wartości odchylenia standardowego miałby przebieg, przedstawiony na rysunku Nr 5.

4.2. Sprawdzenie pracy przy obniżonym wzmocnieniu wzmacniacza wstępnego.

Ponieważ wzmacniacz wstępny pracuje przy bardzo dużej impedancji wejściowej dla składowej stałej sygnału (rezystory polaryzujące wejście mają wartość $2 \times 10 \text{M}\Omega$) to kolejne pomiary zostały wykonane przy zmniejszonym do ok. połowy, tj. do 248 V/V, wzmocnieniu. Ze względu na uciążliwość pomiarów ich liczbę ograniczona została do trzech, dla każdej wartości strumienia objętości. Ponadto ważne jest sprawdzenie czy przebieg współczynnika przetwarzania, który został zaobserwowany podczas poprzedniej serii pomiarów powtórzy się w innych warunkach.

Tablica Nr 3

Lp.	q[l/min]	U[V]	n [imp]	h [mm]	V [l]	k [imp/l]	$K_{\text{st}}(q)$
1	25	0,241	11639	808	203,85	57,10	57,18
2	25		11704	809	204,10	57,3	
3	25		11675	810	204,35	57,13	
1	50	0,49	12941	887	223,56	57,89	57,88
2	50		11799	807	203,85	57,88	
3	50		11393	780	196,85	57,88	
1	100	0,99	11810	808	203,85	57,88	57,93
2	100		11698	801	202,10	57,88	
3	100		11848	809	204,10	58,05	
1	200	1,95	11875	813	205,10	58,00	58,05
2	200		11873	812	204,85	57,96	
3	200		11851	807	203,60	58,20	
1	300	2,95	11730	800	201,85	58,11	58,11
2	300		11811	808	203,45	58,05	
3	300		12033	820	206,84	58,18	
1	400	3,95	11901	810	204,35	58,23	58,13
2	400		11916	813	205,10	58,10	
3	400		12054	823	207,59	58,05	
1	500	4,94	11075	755	190,58	58,11	58,10
2	500		12065	823	205,84	58,12	
3	500		11958	816	205,84	58,09	



Rys. 6

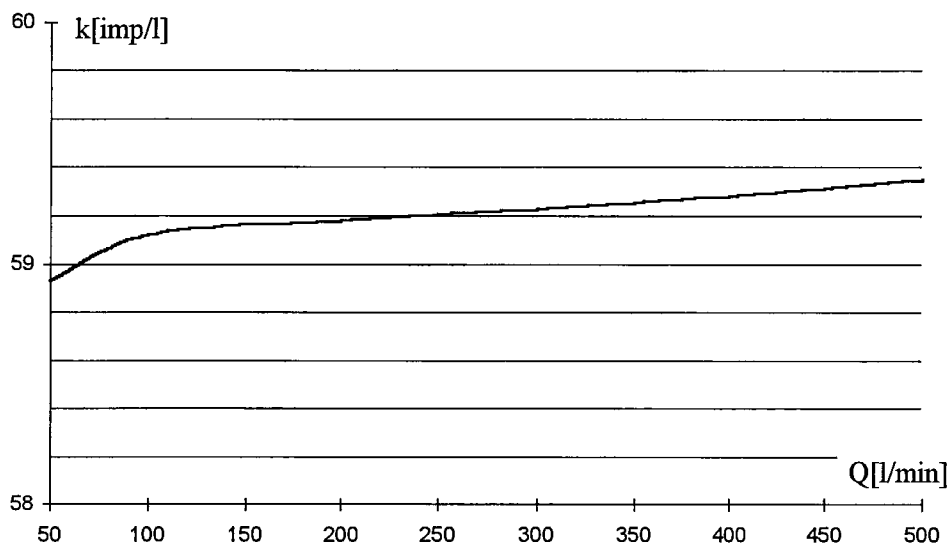
4.3. Sprawdzenie pracy przy zmianie parametrów cewek magnesujących.

Przy niezmienionej konfiguracji układu zamienione zostały cewki magnesujące czujnika. W miejsce dotychczasowych cewek o liczbie zwojów 2×1600 nawiniętych drutem o średnicy $0,38$ mm zamontowane zostały cewki o liczbie zwojów 2200 nawinięte drutem o średnicy $0,35$ mm. Rezystancja tych cewek wynosiła $20,2 \Omega$. Stała czasowa L/R cewek o mniejszej liczbie zwojów wynosiła $0,08$ s. Wielkość ta określona została na podstawie pomiaru oscyloskopem. Pozwalało to na pracę przy częstotliwości zmian kierunku magnesowania z częstotliwością ok. 12 Hz. W cewkach o większej liczbie zwojów stała czasowa wynosiła $0,1$ s. Wymagało to przestrojenia częstotliwości przemagnesowywania do poziomu ok. 8 Hz. Przestrojenia wymagał również moment „pobierania” próbki napięcia do przetwarzania. Przy wyborze (ustawianiu) częstotliwości i momentów pobierania próbek należy uwzględnić stosunek tej częstotliwości do podstawowego sygnału zakłócającego jakim w tym przypadku sygnał od sieci zasilającej 50 Hz. Podczas tych ustawień stwierdzone zostało, że w przypadku jedna z tych częstotliwości pozostaje w stosunku do drugiej w równej krotności to „próbki” napięcia pobierane są w podobnej fazie sygnału zakłócającego. W przypadku gdyby częstotliwość próbkowania była synchronizowana sygnałem sieci faza byłaby ustalona i wpływ tego sygnału w ustalonych warunkach można skompensować. Ale w przypadku gdy obie te częstotliwości są od siebie niezależne to następuje przesuwanie się fazy i okresowe narastanie i opadanie wpływu zakłóceń („dudnienie”). W układzie próbnym gdzie włączony

był wskaźnik analogowy napięcia przetworzonego objawiało się to wahaniem wskazówki które przy zmianie częstotliwości próbkowania zwiększało częstotliwość i zmniejszało amplitudę aż do wartości praktycznie pomijalnej. Zastosowane w tej próbie mają większą liczbę zwojów, która przy tej samej wartości prądu magnesującego pozwoliłaby wytworzyć (1,9x) większe pole w przestrzeni pomiarowej czujnika. Ale jednocześnie cewki te mają ponad dwukrotnie większą rezystancję i dla uzyskania takiego prądu potrzebne byłoby wyższe napięcie zasilające. Dlatego pole pozostało na poziomie zbliżonym do poprzednich pomiarów co potwierdzone zostało wartością stałej przetwarzania uzyskanej w tej serii pomiarów.

Tablica Nr 4

Lp.	q[l/min]	U[V]	n [imp]	h [mm]	V [l]	k [imp/l]	$K_{sr}(q)$
1	50	0,50	12032	811	204,60	58,81	58,93
2	50		11944	803	202,60	58,95	
3	50		11976	804	202,85	59,04	
1	100	1,01	11988	804	202,85	59,10	59,12
2	100		15444	1036	260,80	59,21	
3	100		12012	806	203,35	59,07	
1	200	2,01	11920	797	201,10	59,27	59,18
2	200		12016	805	203,10	59,16	
3	200		11975	803	202,60	59,11	
1	300	3,03	12016	805	203,10	59,16	59,23
2	300		11927	797	201,10	59,30	
3	300		12064	805	203,60	59,25	
1	400	4,01	11746	785	198,10	59,29	59,28
2	400		12017	804	202,85	59,24	
3	400		11922	796	200,85	59,33	
1	500	5,01	12347	825	208,09	59,33	59,35
2	500		11911	795	200,60	59,37	
3	500		12286	820	206,84	59,36	



Rys. 7

5. Założenia do konstrukcji przepływomierza elektromagnetycznego dla różnych zastosowań

5.1. Przepływomierz do małych dawek

Elementy modelowe badane w obecnym etapie ukierunkowane zostały na pomiary małych objętości co pozwala je wykorzystać do odmierzenia małych dawek. Jest zagadnienie trudniejsze do rozwiązania i opanowanie go zapewnia możliwość zbudowania jednocześnie przepływomierza do przepływów ciągłych wolnozmiennych. Cały cykl badań prowadzony był przy objętościach wzorcowych 200dm^3 . Aby ocenić właściwości dynamiczne modelu, po zakończeniu drugiej serii pomiarów, z których wynikało, że średnia wartość współczynnika przetwarzania wynosi 58imp/l , przeprowadzona została próba pomiaru dawki przy zmieniającym się strumieniu objętości. Do zbiornika w czasie ok. 60s nalane zostało $202,85\text{ l}$. Dawka nalewana była przy nastawach strumienia objętości zmieniających się w czasie pomiaru. Zmiany odbywały się, w 6-u cyklach od 10% do 100%, kolejno narastanie i opadanie. W czasie tego pomiaru licznik integratora zliczył 11768 impulsów. Wynika z tego, że średnia stała przetwarzania podczas tego pomiaru wynosiła $58,01\text{imp/l}$. Dalszą poprawę dynamiki tego przepływomierza, która może być wskazana w zastosowaniu do małych dawek można osiągnąć przez dalsze zwiększanie częstotliwości zmian pola magnetycznego. Ograniczenie stanowi tu indukcyjność własna cewek magnesyjących, która decyduje o długości czasu trwania stanu nieustalonego występującego po gwałtownej

zmianie płynącego prądu (od +I do -I, a następnie od -I do +I). Pewne zwiększenie częstotliwości, o 20 ÷ 30% jest jeszcze możliwe przy doborze parametrów R/L cewek wzbudzających pole magnetyczne z zachowaniem sygnału pomiarowego na poziomie zbliżonym do układu stosowanego w tym etapie. Bardzo korzystnie na dynamikę pomiaru wpłynęło zastosowanie detektora synchronicznego opracowanego w tym etapie.

5.2. Przepływomierze do przepływów wolnozmiennych

W zastosowaniu do przepływów ciągłych zmieniających się wolno można oczywiście zastosować takie samo rozwiązanie, poprawne z punktu widzenia metrologii. Jednak przy większych średnicach rurociągu trzeba będzie zastosować większe wartości prądu magnesującego co będzie wymagało zwiększenia mocy do zasilania przepływomierza. Badany model dla średnicy DN32 pobiera moc ok. 15VA, co nie stanowi problemu zarówno przy zasilaniu z sieci jak i instalacji pokładowej cysterny. Ponadto w przypadku większych średnic próbkowanie z dużą częstotliwością może być trudne ze względu na większą indukcyjność cewek. Wystarczy w tym przypadku próbkowanie z częstotliwością 1 ÷ 3Hz przy czym w przerwach pomiędzy próbkami pole może być wyłączane dla zaoszczędzenia energii i ograniczenia nagrzewania się cewek. Sygnały analogowe wytwarzane na bazie sygnału pomiarowego podlegają wahaniom z powodu nakładania się „przydźwięku sieci”

6. Wnioski

Wyniki sprawdzenia właściwości metrologicznych opisane w punktach 4 i 5.1 wskazują na to, że powstaje realna możliwość podjęcia prac konstrukcyjnych nad opracowaniem przepływomierza elektromagnetycznego w PIAP. Stwierdzony podobny charakter nieliniowości sygnału pozwala na skorygowanie charakterystyki przetwarzania. W docelowym układzie należy również wprowadzić układ odcinający sygnały poniżej wartości 2 ÷ 3% ponieważ w tym zakresie błąd jest duży, a ponadto może się zdarzyć, że w obecności zwiększonych zakłóceń miernik może powiększać swoje wskazania (zliczać objętość) i wskazywać minimalną wartość strumienia objętości przy braku przepływu. Należy jednak podkreślić, że mimo pozytywnych wyników pomiarów podstawowej i najtrudniejszej do uzyskania właściwości przepływomierza tj. poprawnego pomiaru objętości trzeba pamiętać, że występuje tu wiele złożonych zagadnień, które mogą spowodować nie przewidywane trudności. I tak np. w trakcie realizacji tego etapu okazało się niezbędne przesunięcie wysiłków z planowanych badań przepływowych, w celu rozpoznania i przyczyn niestabilności sygnału na korzyść pomiarów i analizy układu elektronicznego. Ze względu na niemożliwość oceny ilościowej wpływu poszczególnych czynników zakłócających podczas badań przepływowych nie można było wyprowadzić jednoznacznych wniosków

dotyczących usprawnienia układu. Czołowe firmy, które zajmują się produkcją tych przepływomierzy mają za sobą doświadczenia wielu lat np. Danfoss produkuje przepływomierze elektromagnetyczne od 25 lat. Żadne spotykane publikacje nie zawierają informacji, które mogą być pomocne.