

074 A
PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202. 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

OŚRODEK POMIARÓW RUCHU I CZASU

Główny wykonawca dr inż. Edward Golonka

Wykonawcy mgr inż. J. Chróstny, dr inż. S. Osipow,
mgr inż. L. Nowakowski, mgr inż. M. Muter

Konsultant

Nr zlecenia 1180

Opracowanie i wykonanie urządzenia
wibracyjnego do pomiaru ilościowej
zawartości zanieczyszczeń mechanicz-
nych i piasku w warunkach przepływu
wody drenażowej w zaporze
Etap II
"Założenia i projekt wstępny"

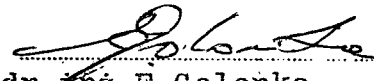
Zleceniodawca IMGW

Pracę rozpoczęto dnia 1989.10.01

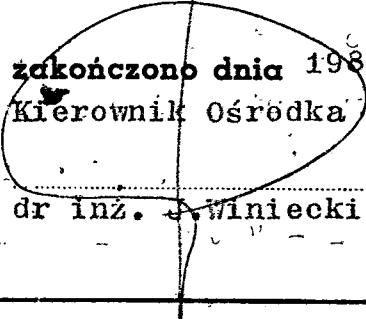
zakończono dnia 1989.11.30

Kierownik Pracowni

Kierownik Ośrodka


dr inż. E. Golonka

Z-ca Dyrektora
d/s Automatyki
i Pomiarów


dr inż. J. Winiecki

doc. dr inż. T. Gałazka

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 28+17

Egz. 1 BOINTE

rysunków 10+3

Egz. 2 IMGW

fotografii -

Egz. 3 ORC-PIAP

tabel 3

Egz. 4 IMGW

tablic -

Egz. 5 IMGW

załączników 19+3

Egz. 6 PIAP-ORC

Nr rejestr. 6354

Analiza deskrytorowa APARATURA POMIAROWA, APARATURA POMIAROWA DO
BUDOWLI WODNYCH, PRZEPŁYWOMIERZ WIBRACYJNY, MASOWY
URZĄDZENIA POMIAROWE, PRZEPŁYWOMIERZ

Analiza dokumentacyjna APARATURA KONTROLNOŚĆ POMIAROWA OPARTA NA
WYKORZYSTANIU DRGAŃ MECHANICZNYCH.

Tytuły poprzednich sprawozdań

Opracowanie i wykonanie urządzenia wibracyjnego do pomiaru ilościowej
zawartości zanieczyszczeń mechanicznych i piasku w warunkach przepływu
wody drenażowej w zaporze.

Etap I - "Studia i badania stanu techniki".

681.1218 Przepływomierze

UKD

PIAP 41/88 10000

Spis treści

ZAŁOŻENIA TECHNICZNO - EKONOMICZNE

| | | |
|------|--|----|
| 1. | SPRAWY FORMALNE | 3 |
| 1.1 | Przedmiot założeń techniczno-ekonomicznych | 3 |
| 1.2 | Podstawa wykonania pracy | 3 |
| 1.3 | Zastosowanie | |
| 2. | OGÓLNE WYMAGANIA TECHNICZNE | 4 |
| 3. | OMÓWIENIE SPOTYKANYCH KONSTRUKCJI PRZEPŁYWOMIERZY WIBRA- CYJNYCH /CORIOLISA/ W TECHNICIE ŚWIATOWEJ Z UWZGLĘDNIENIEM ROZWIĄZAŃ ZAWARTYCH W PATENTACH' | 5 |
| 3.1 | Informacje wstępne | 5 |
| 3.2 | Przegląd pierwszych strunowych konstrukcji z lat 70-tych. | 6 |
| 3.3 | Przegląd najnowszych konstrukcji przepływomierzy wibra- cyjnych, masowych | 11 |
| 3.4 | Wybrane, specyficzne spostrzeżenia technologiczne | 13 |
| 3.5 | Przegląd rozwiązań czujnikowych i układowych | 13 |
| 4. | WYTYCZNE DO WŁASNEJ KONSTRUKCJI MODELU PRZEPŁYWOMIERZA WIBRACYJNEGO, MASOWEGO ORAZ WYBRANE WYMAGANIA | 19 |
| 4.1 | Pętla pomiarowa, rurowa | 19 |
| 4.2 | Zespoły do wprowadzenia i odprowadzenia cieczy z pętli pomiarowej | 20 |
| 4.3 | Zespół konstrukcyjny do mocowania wzbudnika drgań | 20 |
| 4.4. | Zespół konstrukcyjny mocowania czujników pom. sygnału ... | 21 |
| 4.5 | Zespół ograniczający strefę drgań pętli | 21 |
| 4.6 | Wytyczne do wzbudnika drgań | 21 |
| 4.7 | Wytyczne do czujników sygnałów pomiarowych | 22 |
| 5. | ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA | 22 |
| 5.1 | Wstęp | 22 |
| 5.2 | Analiza potrzeb rynkowych-krajowych | 22 |
| 5.3 | Ocena możliwości eksportowych | 24 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.4 | Wykonanie modelu | 24 |
| 5.5 | Potrzeby materiałowe z importu | 24 |
| 5.6 | Nakłady na pracę | 24 |
| 5.7 | wstępna analiza opłacalności produkcji - okres zwrotu nakładów | 25 |
| 6. | ZALACZNIKI | |

II PROJEKT WSTEPNY

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | WSTEP | 3 |
| 1.1 | Przedmiot projektu wstępnego | 3 |
| 1.2 | Symbole przyrządu pomiarowego | 3 |
| 2. | WYMAGANIA TECHNICZNO-METROLOGICZNE | 3 |
| 3. | OMÓWIENIE PODSTAWOWYCH WZELÓW WŁASNEGO ROZWIĄZANIA MODELU PRZEPLYWOMIERZA WIBRACYJNEGO-MASOWEGO | 5 |
| 3.1 | Projekt wstępny modelu czujnika przepływu | 5 |
| 3.2 | Projekt wstępny programowego układu czujnikowo- przetwarzającego | 9 |
| 3.3 | Koncepcja układu pomiarowego | 13 |
| 3.4 | Wstępna propozycja rozwiązania układów sterowania i pomiarów opartych na mikroprocesorze | 17 |
| 4. | ZALACZNIKI | 18 |

1. SPRAWY FORMALNE.

1.1 Przedmiot założeń

Przedmiotem założeń jest przyrząd służący do pomiaru przecieków wody w budowlach hydrotechnicznych łącznie z pomiarem zawartości w tej wodzie wypłukiwanych cząsteczek składowych konstrukcji zapory takich jak: cement, piasek, muł itp.

Zadaniem przyrządu jest ciągły pomiar tych przecieków w celu odpowiednio wczesnego podjęcia środków zaradczych, zapobiegających awariom w przypadku nadmiernych poziomów tych przecieków.

Materiały wyjściowe:

- ogólne wymagania Zamawiającego
- sprawozdanie MERA-PIAP Nr 6347 ze stanu techniki w dziedzinie przyrządów przepływu,
- katalogi i perspekty firm zagranicznych produkujących przyrządy w tej dziedzinie ze szczególnym uwzględnieniem wibracyjnych przyrządów do pomiaru przepływu.
- potenty.

1.2 Podstawa wykonania pracy.

Praca została zamówiona przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie i dotyczy CPBR 11.10. cel 88.

Praca jest wykonywana na podstawie umowy Nr 29/89, na podstawie, której otwarto zlecenie w PIAP Nr 1180.

1.3 Zastosowanie.

Zadaniem przyrządu będzie pomiar strumienia objętości przeciekającej przez zapórę wody oraz określenie zawartości zanieczyszczeń wypłukiwanych przez nią z konstrukcji zapory takich jak cement, piasek, muł itp.

Pomiary tych parametrów powinny odbywać się w miarę możliwości zdalnie z możliwością ich kontroli i obserwacji np. w sterowni zapory.

Osiągnięcie określonego poziomu wypływu wody i stężenia zanieczyszczeń powinno być sygnalizowane.

2. OGÓLNE WYMAGANIA -TECHNICZNE.

Poniżej podaje się podstawowe wymagania dotyczące przepływomierza wibracyjnego, masowego.

- a/ przepływomierz będący przedmiotem rozważań powinien mierzyć strumień objętości przeciekającej przez zapórę wody zawierającego od kilku do kilkudziesięciu litrów na godzinę oraz określać zawartość wzorcową /procentową/ zanieczyszczeń wypłukiwanych przez nią z konstrukcji zapory jak cement, piasek, muł itp,
- b/ pomiary /odeczyty/ tych parametrów powinny się odbywać w miarę możliwości zdalnie /kilkanaście metrów/, z możliwością ich kontroli i obserwacji np. w sterowni zapory,
- c/ osiągnięcie określonego poziomu przepływu powinno być w miarę możliwości sygnalizowane,
- d/ przyrząd powinien posiadać jak największą, możliwą do osiągnięcia zakresowość np. $1 \div 20$,
- e/ niedokładność pomiaru modelu nie powinna być mniejsza niż 2% wartości mierzonej.

3. OMÓWIENIE SPOTYKANYCH KONSTRUKCJI.

3.1 Informacje wstępne.

Każda konstrukcja wibracyjnego przepływomierza masowego opartego o zasadę Coriolisa składa się z następujących, podstawowych części - podzespołów:

- a/ jednej lub dwóch zakrzywionych rur w kształcie litery U, S, spirali lub o innym kształcie, umocowanych swoim początkiem i końcem w głównej rurze przez, którą przepływa badane medium,
- b/ wzbudnika drgań zadaniem którego jest wymuszanie i podtrzymywanie drgań rezonansowych zakrzywionej rury lub rur oraz pomiar tej częstotliwości drgań.

Wzbudniki takie są zamocowane na początku krzywizny rur, w środku między rurami, w przypadku spirali i składają się z magnesu trwałego w kształcie /z reguły/ walca przesuwającego się wewnątrz pierścieniowej cewki z dwoma uzwojeniami, oraz z elementów mocujących i wsporczych,

- c/ dwóch czujników elektromagnetycznych, optycznych lub innych umieszczonych na dwóch przeciwległych ramionach rur na ogół w początkach krzywizn rur. *Zwykle* taki czujnik elektromagnetyczny /indukcyjny/ składa się ze stałego magnesu przesuwającego się względem cewki zamocowanej na drugim elemencie ruchomym /rura/ lub nieruchomym. Zadaniem tych czujników "ruchu" jest —————
————— pomiar kąta ————— skrętu drgających rur, przez które przepływa badane medium lub różnicy czasu potrzebnego na dokonanie jednego przesunięcia z jednego skrajnego położenia wibrujących rur w drugie,

d/ urządzenia elektryczno-elektronicznego zasilającego wszystkie czujniki ruchu i wzbudnik, zliczającego częstotliwość drgań, ^{ORAZ} przetwarzającego otrzymane sygnały na wartość użyteczną pomiaru, takie Urządzenia oparte są z reguły na mikroprocesorze.

3.2 Przeгляд pierwszych /starych/ konstrukcji z lat 70-ych.

Jedną z pierwszych konstrukcji przepływomierza wibracyjnego, która znalazła praktyczne zastosowanie jest przepływomierz f-my Micro-Motion, która jest niekwestionowanie wiodąca w tej dziedzinie techniki i pierwsza weszła na rynek z przyrządami tego typu, przydatnymi do zastosowań przemysłowych.

Takim pierwszym przyrządem tej firmy był przepływomierz Model L pokazany na załączniku Rys.1.

Czujnik tego przepływomierza stanowiła pojedyncza pętla rurowa osadzona w sztywnej płytowej konstrukcji.

Na wierzchołku pętli umocowana była konstrukcja, na której osadzony jest wzbudnik.

Pętla rurowa była przymocowana sztywno do podstawy przez otwory, w której był wlot i wylot cieczy z przyłączem gwintowym. Elementem sprężystym względem, którego były wymuszane drgania była specjalna listwa sprężysta, kształtu litery T/ przyspawana podstawą do pętli rurowej w jej dolnej części.

Na końcu wydłużonego języka listwy sprężystej przymocowane były elementy wzbudnika drgań /cewki/.

Do bocznych ramion pętli, jej głównej części, mocowane były czujniki pomiarowe, fotooptyczne.

Przyrząd ten umożliwia ^{pomiar} masowy przepływu cieczy oraz pomiar gęstości.

Deklarowany przez firmę błąd pomiaru masowego przepływu wynosi

$\pm 0,4\%$ /od wartości max/.

Firma oferowała 4 wielkości przepływomierzy L12, L25, L50 i L100 o zakresie przepływu 2,5 funta/min \pm 500 funtów/min.

Pętla rurowa była wykonana ze stali kwasoodpornej 316 /wg Allas Steel/ tj. zawierająca 18% Cr, 13% Ni i ok. 2% Mo, najbliższym jej odpowiednikiem w Polsce jest stal krajowa 1H18N9T.

Odmianą tego rozwiązania jest konstrukcja zawarta w patencie USA 4.187721 z lutego 1980r., którego właścicielem jest inna firma Sand F Associates z Boulder Colorado.

W konstrukcji tej jest pętla takiego samego kształtu jak stosowana w f-mie Micro-Motion.

Przepływomierz ten jak uprzedni posiada pojedynczą pętlę sztywno osadzoną w masywnej podstawie.

Drgania wymuszone są względem podobnej listwy elastycznej kształtu litery T przymocowanej poprzecznym ramieniem do podstawy.

Na końcu swobodnego ramienia listwy osadzony jest wzbudnik.

Rozwiązanie to różni się poza tym innym rozmieszczeniem czujników pomiarowych /fotooptycznych/. Osadzone są one na górnych za-
gięciach pętli.

Fakt stosowania przez różne firmy takiego samego kształtu pętli /typ U/ wskazuje na wygaśnięcie patentów obejmujących zastrzeżenie tego kształtu.

Nowym rozwiązaniem przepływomierza wibracyjnego firmy Micro Motion jest przepływomierz wibracyjny typ D10RT pokazany na zał. Rys.2.

Różni on się od Modelu L konstrukcją mechaniczną, na której osadzone są wzbudniki.

Konstrukcja ta umieszczona wewnątrz pętli składa się z dwóch sprężystych rur osadzonych w sztywnej podstawie. Rury te sprzęgnięte są poprzeczną belką. Na jednej, z nich osadzony jest

wzbudnik.

Czujniki pomiarowe sygnałów osadzone są na końcach narożnych pętli.

Całość umieszczona jest w masywnej odlewanej obudowie. Wlot i wylot cieczy może być wyposażony w przyłącza gwintowe dla mniejszych wielkości i kołnierzone dla większych.

Jednym z charakterystycznych szczegółów, które pojawiły się w tej konstrukcji jest sztywna płyta obejmująca sztywno rury. Płyta ta połączona z obudową ogranicza strefę drgań pętli.

Należy przypuszczać, że położenie tego usztywnienia może służyć do korygowania zakresu częstotliwości drgań pętli.

Ilustracją tej konstrukcji jest patent USA 4.422338 z grudnia 1983.

W konstrukcji tej zastosowano czujniki pomiarowe sygnału indukcyjnego.

W wykonaniu przemysłowym zamiast wewnętrznej, elastycznej ramy z rur względem, której odbywają się drgania pętli pomiarowej zastosowano drugą pętlę spełniającą tę samą funkcję.

Odmianą konstrukcji przepływomierza wibracyjnego, w którym drgania pętli wymuszone są względem sztywnej płyty jest przyrząd przedstawiony w patencie USA 4252028.

W rozwiązaniu tym pojawia się podwójna pętla, jednak sprzężona przyspawanymi do siebie prętami tworząc jedną drgającą całość. Wymuszanie drgań odbywa się względem sztywnej masywnej płyty, do której przymocowane są zespoły wzbudnika drgań i czujników pomiarowych.

Rozwiązanie poza skomplikowaniem nie wnosi niczego istotnego i jak dotychczas nie znalazło praktycznego zastosowania.

Jedną z pierwszych konstrukcji, w której zastosowano wzbudzanie drgań pętli pomiarowych względem siebie w zdwojonym układzie pętli jest konstrukcja przedstawiona w patencie USA 4192184

zgłoszonego w listopadzie 1978 przez firmę Haliburton. Jest to znana firma amerykańska zajmująca się produkcją różnych przepływomierzy.

Budowa tego przepływomierza pokazana jest na załączniku Rys.3. Podwójna pętla osadzona w sztywnej płycie charakteryzuje się pojedynczym wlotem i wylotem cieczy i skomplikowanym podwójnym obiegiem cieczy stwarzającym wysokie spadki ciśnień.

Konstrukcja tego przyrządu nastrocza dużych trudności technologicznych i nie znalazła handlowego zastosowania.

Charakterystycznym jest, że pętla pomiarowa posiada kształt litery U tak samo jak podstawowy kształt f-my Micro-Motion.

Ciekawostką techniczną znaną przy poszukiwaniach patentowych jest przyrząd zgłoszony w r. 1975 w USA pod nr 3927565, w którym opatentowano pętlę w kształcie litery S jak pokazano na załączniku Rys.4.

Rozwiązanie zawarte w powyższym patencie nie znalazło dotychczas praktycznego zastosowania.

Ukoronowaniem rozwoju wibracyjnych przepływomierzy masowych w f-mie Micro-Motion jest jej najnowsza konstrukcja /Model D/ produkowany seryjnie wspólnie ze znaną światową f-mą Brooks.

Przepływomierz pokazany jest na załączniku Rys.5.

Wytwarzany jest już w sześciu wielkościach. Firma zrezygnowała z pojedynczej pętli pomiarowej i przeszła na pętlę podwójną.

Wymuszanie drgań odbywa się między tymi pętlami. Firma zachowuje swój tradycyjny kształt pętli w postaci litery "U".

Czujnik przepływomierza tej firmy składa się z korpusu głównego umieszczonego osiowo w rurociągu wyposażonego w przyłącza śrubowe lub kołnierzowe /przy większych wymiarach/.

W korpusie znajdują się zbiorcze komory przepływowe, od których wyprowadzone są pętle rurowe, przez które przepływa ciecz mierzana.

Pętle rurowe osłonięte są prostokątnymi osłonami blaszanymi.

Pętle w górnej części usztywnione są belkami, do których mocowane są elementy wzbudnika drgań.

Czujniki pomiarowe sygnału umieszczone są na końcach tych belek. Część drgająca pętli ograniczona jest sztywnymi płytami *usytu-*
-owanymi w dolnej części w odległości kilku centymetrów od korpusu.

Wydaje się, że połączeniem tych płyt można dobierać w ograniczonym stopniu częstotliwość drgań pętli.

Firma podaje, że przy użyciu tego przyrządu można mierzyć wszelkie ciecze z wysoką dokładnością jak np:

- paliwa, oleje
- farby, melasa
- piasek roponośny
- smoła
- mleko
- pokarm dla *zwierząt*,
- tworzywa sztuczne itd.

Deklarowany aktualnie przez firmę błąd pomiaru wynosi $\pm 0,2\%$ /od wartości mierzonej/.

Należy ocenić to bardzo wysoko.

Firma produkuje czujniki o wymiarze nominalnym ^{*φ rury*} od 1,5 mm /dla mikroprzepływów/ od $0 \pm 0,91$ kg/min. do 150 mm i przepływów 0 ± 11350 kg/min przy czym ciężar takiego przepływomierza sięga 680 kg, *dla rury φ 150 mm.*

Konstrukcja przepływomierza wibracyjnego typu Q objęta jest patentami USA nr 4768385 i Nr 4491025, Załączniki Rys 6 i 7. Podstawowe zastrzeżenia zawarte w tych patentach dotyczą konstrukcji wyprowadzeń pętli rurowych z komór zbiorczych korpusu głównego, konstrukcji samych komór zbiorowych, przegród oddzielających przepływ /kierujących cieczer przez pętle/, położenia płyt usztywniających i położenia belek konstrukcyjnych, dla mocowania wzbudników.

Nie natrafiono dotychczas na zastrzeżenia dotyczące kształtu samej pętli, ocenia się, że zastrzeżenia takie mogą być w patentach sprzed 1975.

Wg danych firmy, dotychczas zostało zainstalowane przez nią 50000 przepływomierzy bezpośrednio masowych, co należy oceniać jako liczbę bardzo wielką.

3.3 Przegląd ^{najnowszych} konstrukcji przepływomierzy masowych, wibracyjnych.

W ostatnich dwóch, trzech latach pojawiło się w omawianej dziedzinie szereg nowych producentów oferujących użytkownikom przepływomierze o innej konstrukcji organu pomiarowego w stosunku do klasycznej pętli "U" firmy Micro-Motion /Brooks/.

Do takich nowych, poważnych producentów można zaliczyć:

- Bailey Controls - USA
- Neptune Schlumberger - USA, Francja
- MMG-Automatica - WRL
- Exac Corp.

Krótkie informacje o wyrobach tych firm podaje czasopismo Control Engineering, May 89, Załącznik, Rys.8. Dotychczas nie udało się uzyskać dokładniejszych informacji technicznych o wyrobach w/w firm /za wyj. MERLAK WRL/.

I tak f-ma Bailey oferuje nowe przepływomierze wibracyjne, w których organem pomiarowym jest układ dwóch rur ułożonych

równoległe - poza obszarem drgającym, ograniczonym dwoma płytami usztywniającymi, zbiegające się w króćcach przyłącznikowych.

Przepływomierze te oznaczone typem DM mierzą przepływ masy w zakresie $0 \div 5000 \text{ LB/min /funt/min/}$.

Przepływomierze te charakteryzują się poważnymi zaletami w postaci niższych strat ciśnienia w stosunku do pętli oraz mniejszymi wymiarami niż pętlowe.

Do ich wad można zaliczyć konieczność stosowania mocniejszych wzbudników do wymuszenia drgań wynikającą z większej sztywności układu rur niż w przypadku pętli.

Firma Neptune - Schlumberger wprowadziła na rynek przepływomierz wibracyjny Datamate 2000 pokazany na załączniku Rys.9, w którym organ pomiarowy stanowi podwójna pętla w kształcie spłaszczonej litery omega. Wloty i wyloty pętli osadzone są w sztywnym pudle korpusu.

Firma podkreśla, że oprócz pomiaru przepływu masowego cieczy, przyrządem można mierzyć koncentrację cząstek stałych.

Firma MAG-Automatika /WRL/ wystąpiła w r.1987

z przepływomierzem wibracyjnym typ/Cori-Force, pokazanym na rys.10, oferowanym w 5-ciu wielkościach o zakresie przepływu 27 do 40500 kg/h.

Organ pomiarowy tego przepływomierza stanowi podwójna pętla w kształcie zbliżonym do dwóch spłaszczonych okręgów.

Główna rura przelotowa /korpus główny/ stanowi odcinek rurociągu z przyłączami wśrodku, którego wspawany jest prostopadłościenny blok z komorami zbiorczymi i wyprowadzeniami rur pętli pomiarowych.

Szczegółem charakterystycznym jest umieszczenie pętli pomiarowych symetrycznie po bokach rurociągu głównego. Przynosi to zmniejszenie wymiaru poprzecznego całego czujnika przepływu.

111

Budowę czujników przepływu firm Neptune-Schlumberger i MMG Automatika pokazują załączniki *Rys. Rys. 9 i 10.*

3.4 Wybrane specyficzne spostrzeżenia technologiczne.

Na podstawie oględzin przyrządów f-my Brooks oraz niektórych patentów daje się zauważyć, że wszelkie łączenia elementów wzbudników i czujników sygnału mocowane są do części drgającej przyrządu albo przez spawanie nisko topliwym lutem /srebrny/ lub mocowane mechanicznie.

Spoiny spawnicze występują tylko poza strefą drgającą przyrządów.

Ma to na celu utrzymanie pierwotnej struktury materiału rur pętli pomiarowych.

3.5 Przeгляд rozwiązań czujnikowych i układowych.

Z pozoru bardzo różniące się dwa systemy mechaniczne jak pętlowy i rur prostych, nie różnią się zupełnie pod względem zjawisk i sposobów pomiaru określających przepływ masy. Istota podstawowa zjawisk określona jest w obu przypadkach taką samą zależnością siły Coriolisa F_c .

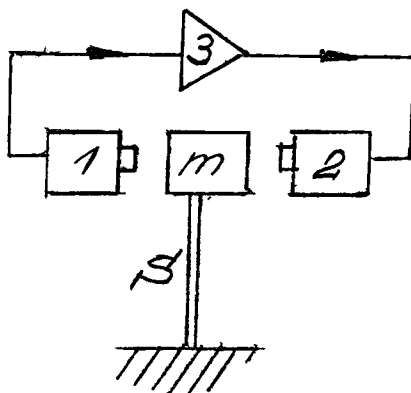
$$F_c = 2 m \vec{\omega} \times \vec{v}$$

gdzie: m - masa podlegająca ruchowi, $\vec{\omega}$ -wektorowa wartość prędkości kątowej, \vec{v} - wektorowa wartość prędkości liniowej. W obu wspomnianych przypadkach konstrukcyjnych ruch obrotowy realizowany jest jako drgania harmoniczne, a ruch liniowy występuje jako przepływ płynu w prostym lub zbliżonym do prostego odcinku rury czujnika.

Wzbudzenie. We wszystkich konstrukcjach wzbudzanie drgań odbywa się na drodze elektromagnetycznej. Dla uzyskania sił

Coriolisa wzbudzenie nie musi odbywać się z częstotliwością rezonansową, mogło *by* być wymuszone z jakakolwiek stałą częstotliwością.

Jednak wszystkie produkowane w świecie przepływomierze tego typu pracują w rezonansie. Pierwszą przyczyną jest zmniejszenie energii wzbudzenia, a drugą jest możliwość równoczesnego pomiaru gęstości płynącego płynu poprzez pomiar częstotliwości rezonansowej. Dlatego też wszystkie układy wzbudzenia są układami z elektromechanicznym sprzężeniem zwrotnym wg poniższego schematu:



gdzie: m - jest masą drgającą na elemencie sprężystym S ,
1 - jest czujnikiem położenia, 2 - jest siłownikiem powodującym przesunięcie masy, który sterowany jest wzmacniaczem 3, z odpowiednim przesunięciem fazowym.

Dzięki zasadzie samowzbudnego sprzężenia zwrotnego w układzie elektromechanicznym uzyskuje się drgania masy o częstotliwości rezonansowej.

Czujniki. Układ wzbudzenia i pomiaru potrzebuje czujników, których sygnał wykorzystany jest do przeróbki, prowadzącej do określenia przepływu masy i gęstości płynącego płynu. Stosuje się dwa zasadnicze rodzaje czujników, mianowicie

czujniki położenia oraz czujniki prędkości. Zależnie od ich rodzaju układ wzmacniający musi realizować odpowiednie przesunięcie fazowe. Układ dwu czujników prędkości i siłownika pokazany jest na załączniku rys.11. Fig.1 z patentu USA Nr 4777833 przepływomierza z jedną pętlą. Na drugim zaś załączniku, rys.12 Fig. 3,4,5, pochodzącym z tego samego patentu, pokazano różne stadia działania czujnika prędkości typu magnetoelektrycznego. Pole magnetyczne pochodzi z magnesu stałego 502 i 502. Zwora przymocowana do rury drgającej przesuwa się w osi cewki wzbudza impulsy o napięciu proporcjonalnym do prędkości ruchu. Drugim rodzajem jest czujnik położenia. Może to być czujnik zbliżeniowy indukcyjny z generatorem zrywającym drgania. Może być halotronowy albo z gausotronem /magnetorezystancyjny/. Tym samym rodzajem jest również czujnik fotoelektryczny. Pracuje on na zasadzie przysłaniania wiązki promieniowania diody świecącej "odczytywanej" przez fotodiodę lub fototranzystor. Przykłady takich czujników w zastosowaniu do przepływomierza z prostymi rurami pokazane są na załącznikach rys.13 i rys.14.

Szczegółowe rozwiązania konstrukcyjne różnych producentów różnią się od siebie, lecz zawsze pozostaje ta sama zasada, że przesłona związana z elementem drgającym przy jego ruchu zasłania i odsłania dostęp wiązki światła do fotoelementu. W rozwiązaniu z pętlą pojedynczą, oraz z prostą rurą pojedynczą czujniki wykazują ruch elementu drgającego w stosunku do sztywnego, nie drgającego stelaża. W przypadku układów symetrycznych, czujniki zamocowane są na obu symetrycznych rurach i wykazują ruch względny obu rur w stosunku do siebie. Tak więc w systemie podwojonym jest taka sama ilość dwu czujników i jeden siłownik

wzbudzający jak i w systemie pojedynczym.

Układy przetwarzania sygnału we wszystkich produkowanych przepływomierzach mają jako wielkość wejściową różnicę szerokości impulsów, a nie kąt skręcania pętli. Jest to uzasadnione tym, że układ różnicowy pozwala na uzyskanie większej stabilności. Ogólny ideowy schemat układu przetwarzania sygnałów pokazany jest na załączniku rys.15.

Na rysunku tym czujnik zaznaczony jest symbolem 10, a przetwornik elektroniczny 30. Zwrócić należy uwagę na czujnik temperatury płynu mierzonego.

Trzeba w tym miejscu podkreślić, że z literatury niestety nie można wywnioskować żadnych informacji o algorytmie kompensacji temperatury, który jest ściśle związany przecież z materiałem konstrukcyjnym rur. Wiadomo jedynie jaki stosuje się materiał. Jest to z reguły stal austenityczna typu 316 /nasz odpowiednik 1M18N9T/, oraz stop Hasteloy, a niekiedy tytan. Nie wszystkie firmy stosują kompensację temperatury. Np. f-ma Micro-Motion i Brooks podają jedynie wpływ temperatury jako zawarty w niestabilności zera /dla zmiany o 10°C /.

Dla lepszego zrozumienia odczytu i przemian sygnału na poniższym schemacie wziętym z patentu amerykańskiego załącznik rys.16 pokazane są kształty sygnałów i tworzenie impulsów, których szerokość stanowi zasadniczy sygnał do wykorzystania. Na schemacie Fig-5 pokazano przebieg sygnałów z obu czujników /lewego i prawego/ przy braku przepływu, na schemacie zaś Fig.7 widac oba sygnały przesunięte w fazie przy odbywającym się przez czujnik przepływie. Odpowiednio pokazano kształty sygnałów na schematach Fig.6 i Fig.8. Układ przy pomocy, którego zrealizowano te sygnały przedstawiony jest na Załączniku rys.17, Fig.4.

Czujniki zaznaczono tu symbolami 45 i 45'. Integratory 49 i 49' wraz z filtrami 50 i 50' stanowią układ do eliminacji zakłóceń zewnętrznych. Wzmacniacze 55 i 55' pracują /w nasyceniu/.

Komparatory 60 i 60' mają różne poziomy odniesienia /różne rezystory 65 i 66/ służą do wyodrębnienia impulsów o szerokościach, których różnica jest miarą przepływu masy płynu, przepływającego przez czujnik.

Blok 70 służy do wyznaczenia różnicy szerokości impulsów oznaczonych jak "downcount integration" i "upcount integration". Układ ^{elektroniczny} bloku 70 może być dwu rodzajów. Może on być licznikiem cyfrowo wyznaczającym różnicę szerokości tych impulsów jak również może on być układem analogowym, który na zasadzie integracji i różnicowania wyznacza analogową wartość sygnału. Wyznaczanie impulsów o określonej szerokości może odbywać się nie tylko na zasadzie komparatorów 60 i 60' z różnymi poziomami odniesienia, lecz również w oparciu o zbocza narastające i opadające.

Innym charakterystycznym typem układu przetwornika elektronicznego jest układ firmy "Flowtec" A.G. ze Szwajcarii zawierający przelicznik mikroprocesorowy. Schemat blokowy tego układu pokazany jest na *Rys. 19*.

Bardzo charakterystyczną cechą tego układu jest regulacja przesunięcia fazowego w obwodzie wzbudzenia. W obwodzie regulacji fazy porównuje się częstotliwość drgań rury z częstotliwością wzbudzenia. Przy przesunięciu fazy o 90° rura drga z częstotliwością rezonansową. W układzie przetwarzania sygnału, nadajnik /LED/ zasilany jest stałą wartością prądu i wytwarza promieniowanie podczerwone 880 nm. Przesłany moduluje to promieniowanie w takt drgań rur. Fotodioda dostarcza

sygnał prądu stałego zmodulowany natężeniem światła. Napięcie zmienne doprowadzone jest do układu automatycznej regulacji wzmocnienia i do regulacji fazy /PLL/. Ponadto poprzez przetwornik analogowo cyfrowy sygnał ten podawany jest do mikrokomputera i służy on do określenia gęstości.

Idący od czujnika 2 modulowany sygnał prądu stałego podawany jest do wzmacniacza różnicowego. Pozostała składowa stała poprzez przetwornik prąd-napięcie i wzmacniacz podawana jest do stopnia regulacji wzmacniania, który tak reguluje prąd zasilania czujnika 2 /LED/, aby amplitudy składowej zmiennej w obu fotodiodach były jednakowe. Sygnał prądu stałego jako sygnał \times podawany jest z przetwornika A/D do mikrokomputera, który wytwarza przesunięcie fazowe proporcjonalne do przepływu masy płynu.

Dryfty nadajników, odbiorników i wzmacniaczy są przez mikrokomputer okresowo sprawdzane. Do tego celu wyłączony jest czujnik 2. Wynik sygnału pochodzącego od czujnika 1 jest zapamiętywany w mikrokomputerze.

Dla pełnego obrazu istniejących układów przetworników podaje się w załączniku rys.17 charakterystyczny układ wzbudzenia wg patentu USA Nr 4777833.

Z podanego schematu widać wyraźnie uzyskiwanie przesunięcia fazowego i kształtowanie impulsów wzbudzających /dwukierunkowych/. Nie jest to jedyny możliwy układ, zadanie można bowiem rozwiązać na wiele znanych konwencjonalnych sposobów.

4. WYTYCZNE DO WŁASNEJ KONSTRUKCJI MODELU PRZEPŁYWOMIERZA WIBRACYJNEGO, MASOWEGO ORAZ WYBRANE WYMAGANIA.

Przepływomierz wibracyjny, masowy powinien składać się z następujących zespołów funkcjonalnych:

- a/ pętli rurowej, pomiarowej,
- b/ zespołów funkcjonalnych doprowadzenia i odprowadzenia cieczy z pętli,
- c/ zespołu konstrukcyjnego dla mocowania elementów wzбудnika drgań pętli,
- d/ zespołów konstrukcyjnych mocowania i precyzyjnego ustawienia czujników pomiarowych sygnałowych,
- e/ zespołów/sztywnych elementów / ograniczających strefę drgań pętli.

4.1 Pętla pomiarowa, rurowa.

Pętla rurowa stanowi jeden z najważniejszych zespołów przepływomierza.

Dobór kształtu i parametrów konstrukcyjnych pętli decyduje o końcowym wyniku i powodzeniu pracy.

Pętla powinna charakteryzować się następującymi głównymi cechami:

- możliwie małą masą własną w stosunku do masy płynącej przez nią cieczy,
- możliwie wysoką odpornością na korozję, szczególnie na działanie wody, często silnie zanieczyszczonej agresywnymi składnikami chemicznymi,
- prostotą konstrukcyjną i technologiczną. Jest ^{to}warunek trudny do spełnienia ze względu na dużą liczbę istniejących rozwiązań konstrukcyjnych często objętych zastrzeżeniami patentowymi,

- w obszarze roboczym pętli /strefa drgająca/ nie powinno być połączeń ^zzrzwanych i spawanych oraz innych naruszających naturalną strukturę materiału rury.

Na podstawie przeprowadzonych prac studialnych, kolejnego przeglądu patentów sugeruje się, że pętla rurowa powinna mieć kształt zbliżony do podwójnej pętli typu "U" z możliwością obejścia ewentualnych zagrożeń patentowych.

4.2 Zespoły doprowadzenia i odprowadzenia cieczy do pętli pomiarowej.

Zespoły te powinny charakteryzować się następującymi głównymi cechami:

- powinny zapewnić sztywne i szczelne połączenie końcówek pętli na wlocie i wylocie,
- powinny zabezpieczać przed możliwością przecieku cieczy bezpośrednio między króćcami przyłączeniowymi do rurociągu z pominięciem pętli pomiarowej,
- powinny posiadać kształty nie powodujące dodatkowych strat ciśnienia przy przepływie cieczy,
- nie powinny posiadać zakamarków sprzyjających gromadzeniu się zanieczyszczeń.

4.3 Zespół konstrukcyjny do mocowania wzbudnika drgań.

Zespół ten powinien charakteryzować się następującymi cechami:

- sztywną i zarazem lekką konstrukcją, w której nie mogą występować względem pętli rurowej dodatkowe ugięcia podczas drgań pętli,
- pożądane będzie uzyskanie takiej konstrukcji, aby uzyskać zmniejszoną siłę wzbudnika przez wydłużenie ramienia zamocowania wzbudnika względem pętli,

- umożliwić dokładne ustawienie elementów wzбудnika
względem pętli.

4.4 Zespół konstrukcyjny mocowania czujników pomiarowych -
sygnałowych.

Zespół ten powinien mieć możliwie małą masę i niezbędną
sztywność.

Powinien być wykonany z materiału nie powodującego zakłóceń
pola elektromagnetycznego czujników oraz powinien umożliwiać
dokładne ustawienie elementów czujników sygnału względem siebie.

4.5 Zespół ograniczający strefę drgań pętli.

Przypuszcza się, że zespół ten ma za zadanie regulować
amplitudę i częstotliwość drgań do wymaganego zakresu a tym
samym umożliwiać korekcję tych dwóch parametrów z jednej
strony, oraz eliminować siły powstające podczas drgań pętli
i oddziaływujące na mocowania rur do korpusu z króćcami
przyłączeniowymi z drugiej strony.

4.6 Wytyczne do wzbudnika drgań pętli.

Na podstawie przeprowadzonych studiów stwierdza się, że pe-
winien to być wzbudnik typu elektromagnetycznego, składający
się z toroidalnej cewki z dwoma uzwojeniami oraz rdzenia
wykonanego z magnesu stałego /trwałego/, zamocowanego na jednej
pętli drgającej i poruszającego się wzdłuż osi cewki.
Cewka zamocowana jest na drugim ramieniu drgającej pętli.
Jedno uzwojenie stanowi część obwodu wzbudzającego drgania,
natomiast drugie uzwojenie cewki zbiera sygnał sprzężenia
zwrotnego do układu.

4.7 Wytyczne do czujników sygnałów pomiarowych.

Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu techniki przyjmuje się, że powinny to być czujniki typu indukcyjnego / cewka i stały magnes/.

5. ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA.

5.1 Wstęp.

Przedmiotem analizy w tym rozdziale są założenia ekonomiczne i problemy ogólne techniczno-finansowe dla przepływomierza wibracyjnego, masowego opartego o wykorzystanie zasady Coriolisa. Przewiduje się, że w ramach tej pracy /zlec.1180/ zostanie zbudowany model przepływomierza tego typu, przeznaczonego do zastosowania w pierwszej kolejności do pomiaru przecieków wody w budowlach hydrotechnicznych i pomiaru zawartości w tej wodzie wypłukiwanych cząstek struktur tych budowli tj. piasku, cementu, mułu itp.

Szczegółowe opisy nadających się do tego celu przyrządów zamieszczono w sprawozdaniu Nr 6347 - Studia i badania stanu techniki, oraz w rozdziałach 2 i 3 niniejszego sprawozdania, gdzie dokonano już wyboru metody i typu przyrządu do prac modelowych przy rozwiązywaniu /w problemu pomiarowego.

5.2 Analiza potrzeb rynkowych-krajowych.

Za otrzebowanie krajowe na przepływomierz wibracyjny w budowlach hydrotechnicznych nie będzie masowe i dlatego celowe będzie szersze wprowadzenie tego przyrządu do gospodarki krajowej, co uczyni całe przedsięwzięcie bardziej uzasadnionym ekonomicznie. Za otrzebowanie na przyrząd, dla zapór będzie wteń, zaspokojone na tle szerzej rozwiniętej produkcji.

Do nnych dzieuzin, w któryrc. przyrządy se mogą być potencjalnie

zastosowane można wymienić:

- przemysł i dystrybucja paliw i olejów
- przemysł spożywczy, mleko i jego produkty, soki, melasa, syropy, piwo itd.
- przemysł chemiczny - żywice, lakiery, ciecze silnie zanieczyszczone i zapowietrzane.

Istnieje cały szereg mediów, gdzie najlepszym pomiarem jest pomiar masowy, ponieważ procesy technologiczne i rozliczeniowe prowadzone są w jednostkach masy.

Podkreśla się, że szeroki import tego typu przepływomierzy jest mało realny ze względu na wysoki ich koszt na rynkach światowych /wg informacji z f-my Brooks cena średniego przepływomierza wynosi ok. 10.000 USD/.

Mimo wysokiej ceny przepływomierze masowe znajdują dużą ilość odbiorców i ich krąg stale się rozszerza tak jak i krąg producentów za granicą.

Stosowanie tych przyrządów mimo wysokiej ceny jest naogół opłacalne ponieważ nie wymagają one jak ogromna większość innych przyrządów dodatkowego kosztownego wyposażenia jak:

- prostownice strumienia /proste rurociągi/
- filtry do dokładnego oczyszczenia cieczy,
- odgaźniki.

Cena tych dodatkowych urządzeń sprawia, że koszt zastosowania przepływomierza masowego jest porównywalny z innymi przyrządami.

Dodatkowo, w/w urządzenia powodują wzrost strat ciśnienia w instalacji i związane z tym straty energetyczne na przepompowywanie cieczy.

W/w zalety oraz fakt wysokiej już dokładności pomiarów pozwalają prognozować dalszy ich rozwój i powiększające się zapotrzebowanie.

Wychodząc z w/w rozważań i przesłanek szacuje się krajowe zapotrzebowanie w początkowej fazie produkcji na 300 ÷ 400 szt/r a docelowo do 1000 szt/r.

5.3 Ocena możliwości eksportowych.

Przewiduje się, że możliwy będzie eksport tych przepływomierzy głównie do krajów RWPG oraz takich krajów trzecich jak Chiny, Indie, kraje arabskie.

Wielkości tego eksportu nie można aktualnie oszacować. W przypadku powstania dobrego przyrzędu i sprawnej akwizycji możliwości eksportowe mogą przekroczyć ^{potrzeby} krajowe.

5.4 Wykonawca modelu.

Wykonawcą modeli będzie MERA-PIAP przy współpracy wybranych placówek dysponujących niezbędnymi, niektórymi technologiami np. precyzyjne gięcie rur, specjalne technologie spawania itp. Badania laboratoryjne modeli przewiduje się w MERA-PIAP /głównie wadaq/.

5.5 Potrzeby materiałowe z importu.

Ocenia się, że na etapie budowy modelu nie wystąpią poważniejsze potrzeby materiałowe z importu z II strefy.

5.6 Nakłady na prace.

5.6.1 Nakłady na etapy badawczo-rozwojowe.

Nakłady na prace objęte Etapami I,II,III wyniosą ok.55 mln zł /wg cen 1989r/, nakłady na dalsze prace tj:

etap IV - badania modelu, dokumentacja prototypu budowę prototypu i jego badania,

etap V - budowę innych wielkości typoszeregu /unikalny typoszereg najpotrzebniejszych wielkości - 4 ÷ 6 typowielkości/, szacuje się wg cen 1989r.

etap IV ok. 120 mln

etap VI ok. 250 mln

Razem więc nakłady na prace B+R szacuje się na ponad 450 mln zł.

UWAGA: w przypadku pomyślnego wyniku uzyskanego w etapach I ÷ IV realizację pełnego typoszeregu można będzie oprzec o samofinansowanie ze środków uzyskanych w podjętej produkcji pierwszych typowielkości.

5.6.2 Nakłady na wdrożenie.

W zasadzie nie przewiduje się poważniejszych nakładów na wdrożenie.

Produkcja odbywać się będzie na uniwersalnych maszynach i urządzeniach przy kooperacji w zakresie gięcia rur i ewentualnie spawania.

Odrębnym problemem nakładów na wdrożenie jest sprawa Stacji Prób do wzorcowania przepływomierzy.

W pierwszej fazie produkcji możliwe będzie korzystanie z istniejącej krajowej bazy laboratoryjnej w zależności od rozwoju produkcji może zostać podjęta decyzja o budowie własnej Stacji Prób.

5.7 Wstępna analiza opłacalności produkcji - okres zwrotu nakładów.

Przedstawioną niżej analizę przeprowadzono przy następujących założeniach:

a/ wielkość produkcji w latach

1993 - partia informacyjna 50 szt.

1994 - 300 szt

1995 - 300 szt

1996 - 400 szt

b/ koszty wyrobu obliczono przyjmując koszt r/h = 14.000 zł

5.7.1 Koszt własny wyrobu.

Koszt ten obliczono z wzoru:

$$k = \frac{k_1 + k_2}{p} + r + m$$

gdzie: k_1 - koszt opracowania wyrobu
 k_2 - koszt uruchomienia produkcji
 r - koszt robocizny za 1 szt
 m - koszt materiałów za 1 szt
 p - średnia wielkość produkcji w okresie osiągnięcia docelowej wielkości produkcji

Przyjmując $p = 250$ szt/rok

nakłady $k_1 = 450$ mln. zł

koszt robocizny $r = n \cdot k_3$

n - liczba roboczogodzin na 1 szt

$k_3 = 14.000$ zł

pracochłonność wyrobu przyjmuje się

czujnik przepływu - wykonanie 80 r/h

miernik - " - 60 r/h

wzorcowanie + koszt sprzącaży 10 t/h

Razem: 150 r/h

stąd $r = 150 \cdot 14000 = 2,1$

Koszt materiałów szacuje się na 400 tys. zł.

Otrzymujemy więc koszt jednostkowy wyrobu

$$k = \frac{450000.00\%}{250} + 2,10 \text{ mln.} + 200 \text{ tys.}$$

$$z = 1,8 + 2,1 + 0,2 = 4,1 \text{ mln. zł}$$

5.7.2 Jednostkowa cena zbytu.

Przy założeniu 20% zysku cena zbytu wyniesie:

$$Q = 1.2 \cdot k = 1,2 \cdot 4,1 = 4,92 \text{ mln. zł}$$

zaś zysk jednostkowy

$$0,2 \cdot Q = 0,2 \cdot 4,92 = 0,984 \text{ mln. zł}$$

5.7.3 Okres zwrotu nakładów.

Okres ten wylicza się z wzoru:

$$T_0 = \frac{k + p_p}{E_w}$$

gdzie: $k + p_p$ - koszt technicznego przygotowania produkcji
 $= B + R + W$

E_w - średni jednoroczny efekt wdrożeniowy

$$E_w = 250 \cdot 0,984 \text{ mln. w} \approx 246 \text{ mln. zł}$$

$$\text{stad } T_0 = \frac{450 \text{ mln}}{246} = 1,81$$

Okres ten jest korzystnie niski.

Podkreśla się, że rozważanie powyższe przeprowadzono dla producenta o organizacji i kosztach produkcji jak w PIAP.

W innych warunkach produkcyjnych przy produkcji do zorga i owanej obraz tych *rozważań* może być znacznie korzystniejszy. Uwzględniając zmiany takie jak:

- rozłożenie kosztu opracowania na większą liczbę wyrobów np. ok. 500
- obniżenie kosztu roboczogodziny /np. w spółkach do 7,8 tyśzł.
- obniżenie pracochłonności
- obniżenie zysku do 15%

można uzyskać istotne obniżenie ceny zbytu a tym samym rozszerzenie ^{interes} zainstalowania klientów.

Należy zauważyć, że aktualna cena zbytu przepływomierza

turbinowego produkowanego w PIAP wynosi ok. 4 mln. zł
/bez filtra i odgaźnika/.

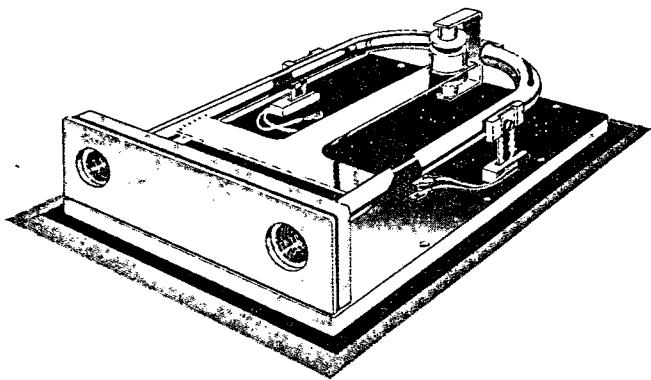
Oszacowana w rozważaniach cena przepływomierza wibracyjnego
jest więc konkurencyjna w stosunku do innych przepływomierzy.
Cena ta również jest wysoce konkurencyjna w stosunku do ceny
światowej /10000USD/.

LOW SENSOR

The Micro Motion Mass Flow Meter is a complete flow measuring system comprised of two units; (1) mass flow sensor unit and (2) electronic processing and readout unit.

The mass flow sensor consists of a "U" shaped pipe which vibrates at its natural frequency. The oscillation of the pipe and the velocity of the flowing fluid subjects each particle of fluid to a Coriolis-type acceleration that angularly deflects the pipe an amount proportional to mass flow rate. The angular deflection of the "U" shaped pipe is measured with extremely accurate optical detectors. This measurement is processed and displayed digitally.

Since the meter measures mass flow rate directly, there is no need to measure the critical parameters of velocity, temperature, viscosity or density. The accuracy and calibration of the meter is independent of the properties of the fluid being measured. There are no parts in the flowing fluid, no bearings to wear and no seals to replace or leak.



Features

- Measures mass flow rate
- Displays specific gravity of the measured medium
- Totalizes mass flow with a resettable display
- All information processed and displayed digitally
- Mass flow rate and totalizer are linear
- High accuracy and excellent repeatability
- Accuracy independent of liquid properties
- Accuracy unaffected by pulsating flow
- Accuracy unaffected by upstream or downstream disturbances

10. Accuracy and calibration not affected by changes in viscosity, density, temperature or pressure
11. Accurately measures two phase flow
12. Measures Newtonian and Non-Newtonian liquids with the same degree of accuracy
13. Accurately measures flow in either direction and indicates direction of flow
14. No restriction in the pipe
15. No mechanically coupled devices
16. All solid state components
17. Simple, trouble-free, stable and easy to read

Specifications

Range

The graph shows mass flow rate versus pressure drop through the flow meter. Flow is in pounds per minute of liquid with a specific gravity of 1.00 and viscosity of 1.00 centipoise.

Accuracy

- Mass flow rate and totalizer: $\pm 0.4\%$ full scale
- Density: to two significant digits

Linearity $\pm 0.4\%$ full scale

Repeatability $\pm 0.2\%$

Two phase flow

- Accuracy $\pm 0.4\%$ full scale
- Linearity $\pm 0.4\%$ full scale
- Repeatability $\pm 0.2\%$

Pulsating flow

- Accuracy $\pm 0.4\%$ full scale
- Linearity $\pm 0.4\%$ full scale
- Repeatability $\pm 0.2\%$

Constructed of 316 stainless steel

Hysteresis — none — no friction coupling

Output — digital format

Mass flow rate — lbs. per minute

Totalizer — lbs.

Specific Gravity—two digit display

Supply voltage — 115 volts AC 60 cycles ~ 6 watts

Temperature limitation of flowing fluids - 20 degrees

centigrade to + 100 degrees centigrade

Ambient temperature range

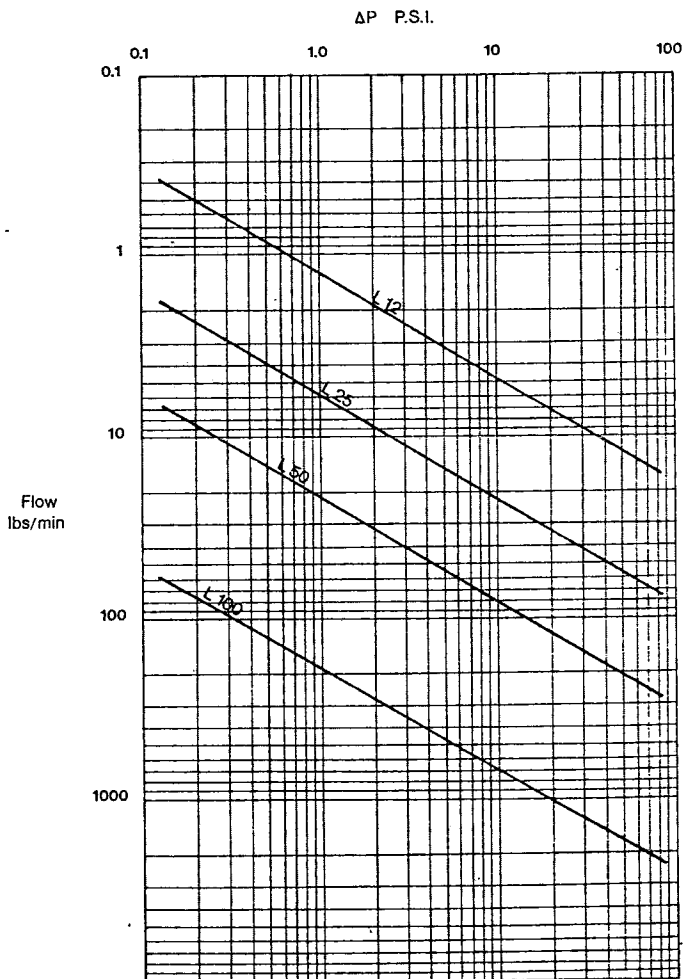
0 degrees centigrade

to + 60 degrees centigrade

U.S. AND FOREIGN PATENTS APPLIED FOR

represented by

FLOW VERSUS PRESSURE DROP



| Model | L12A | L25A | L50A | L100A |
|-------------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Nominal Flow Rate | 2.5 #/min | 25 #/min | 100 #/min | 500 #/min |
| Sensor Tube ID | 1/8" | 1/4" | 1/2" | 1.0" |
| Max. Pressure | 1200 psi | 600 psi | 600 psi | 600 psi |

RYS. 1

31

[54] METHOD AND APPARATUS FOR MASS FLOW MEASUREMENT

- [75] Inventor: James E. Smith, Boulder, Colo.
- [73] Assignee: Micro-Motion, Inc., Boulder, Colo.
- [21] Appl. No.: 286,297
- [22] Filed: Jul. 6, 1981

Related U.S. Application Data

- [63] Continuation-in-part of Ser. No. 235,268, Feb. 17, 1981, abandoned.
- [51] Int. Cl.³ G01F 1/84
- [52] U.S. Cl. 73/861.38
- [58] Field of Search 73/861.38

References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

| | | | |
|-----------|---------|-----------------|-----------|
| 2,865,201 | 12/1958 | Roth . | |
| 3,087,325 | 4/1963 | Roth . | |
| 3,108,475 | 10/1963 | Henderson . | |
| 3,132,512 | 5/1964 | Roth . | |
| 3,276,257 | 10/1966 | Roth . | |
| 3,329,019 | 7/1967 | Sipin . | |
| 3,355,944 | 12/1967 | Sipin . | |
| 3,485,098 | 12/1969 | Sipin . | |
| 4,187,721 | 2/1980 | Smith . | |
| 4,192,184 | 3/1980 | Cox et al. | 73/861.38 |
| 4,311,054 | 6/1982 | Cox et al. | 73/861.38 |

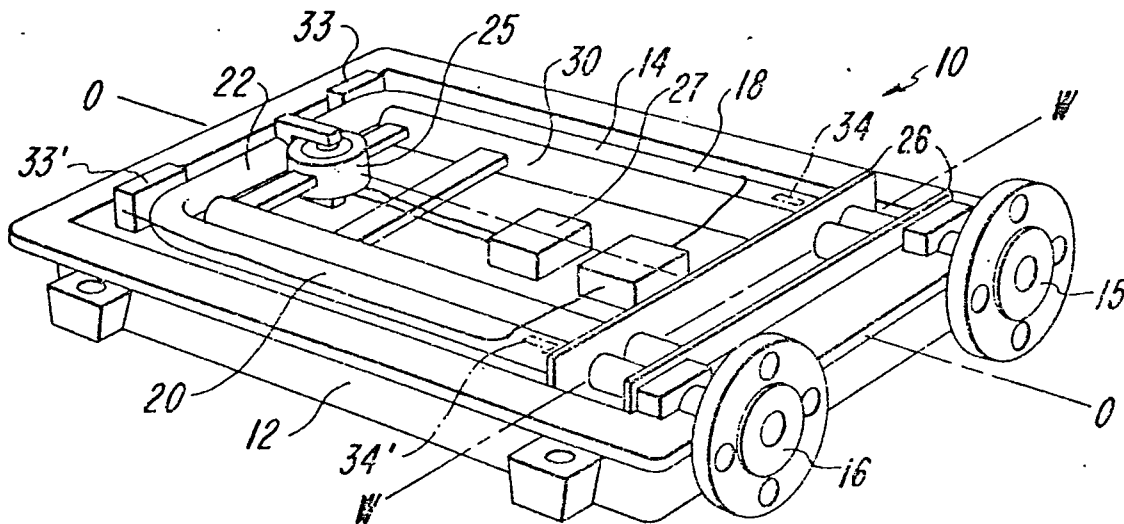
OTHER PUBLICATIONS

Micro Motion Inc., Instruction Manual—Model B Mass Flow Meter.
 Halliday et al., "Physics for Student of Science and Education", Published by Wiley and Sons Inc., 1962.
Primary Examiner—Herbert Goldstein
Attorney, Agent, or Firm—Irons & Sears

[57] ABSTRACT

Apparatus and method for making fluid mass flow rate measurements using a Coriolis flow meter equipped with sensors which measure acceleration, velocity, or position of each side leg of an oscillating U-shaped conduit through which the fluid is passed. The sensors are so constructed and located as to produce analog signal outputs which accurately correspond to the motion of the respective side legs of the U-shaped conduit. When fluid is flowing through the conduit, a change from coincidence in the time relationship of the sensor signals caused by the divergent oscillations of each side leg of the U-shaped conduit is measured in both directions of oscillation. The fluid mass flow rate is then determined as a function of such time separation of the signals. The separation of the two signals with respect to time is measured without reference to static structures affixed to a platform.

27 Claims, 9 Drawing Figures



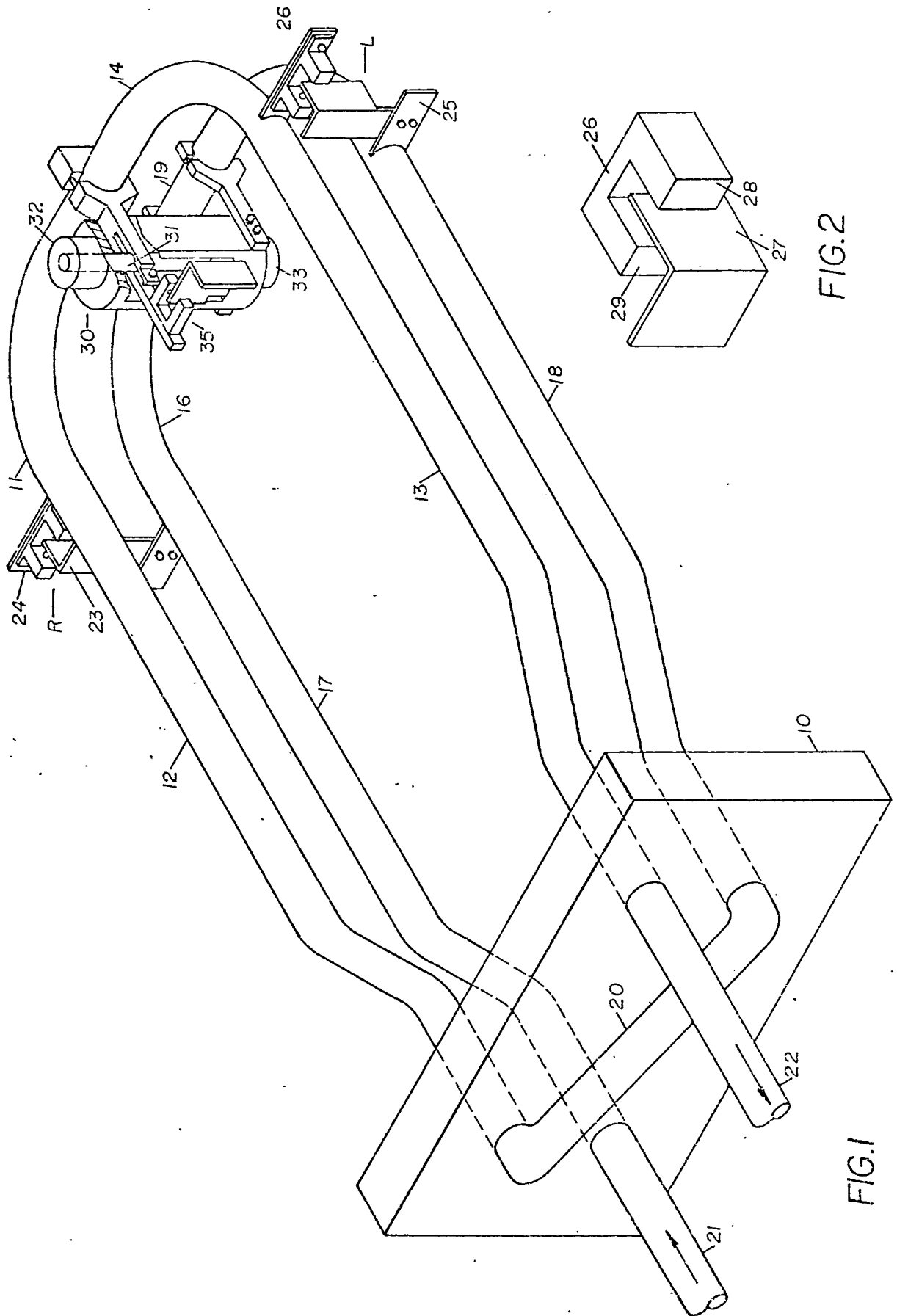
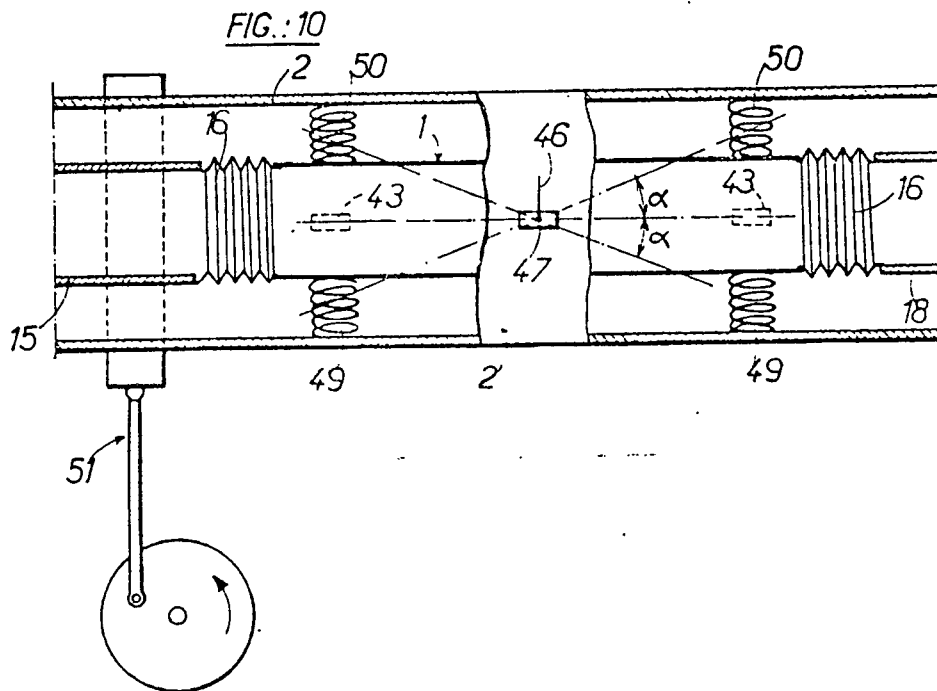
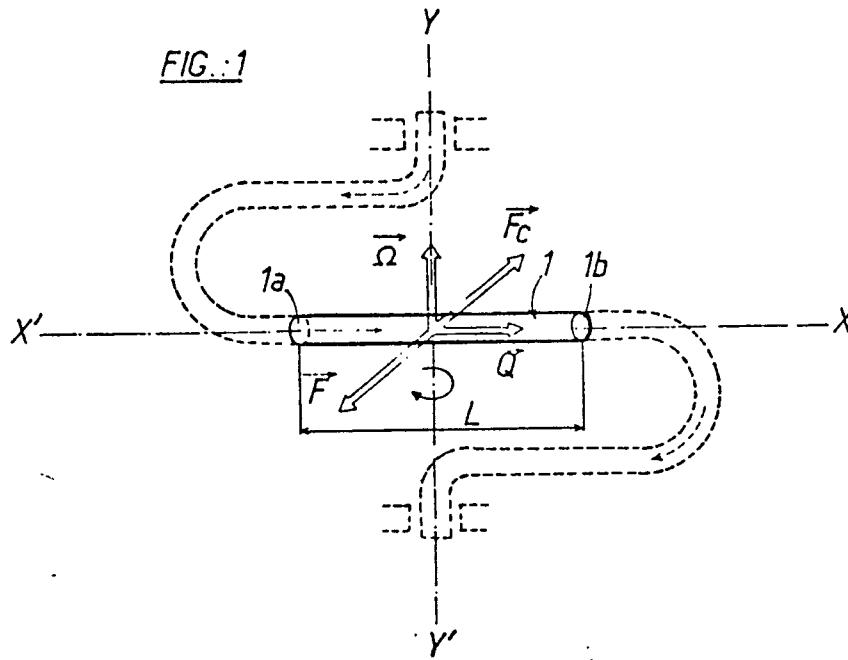


FIG. 2

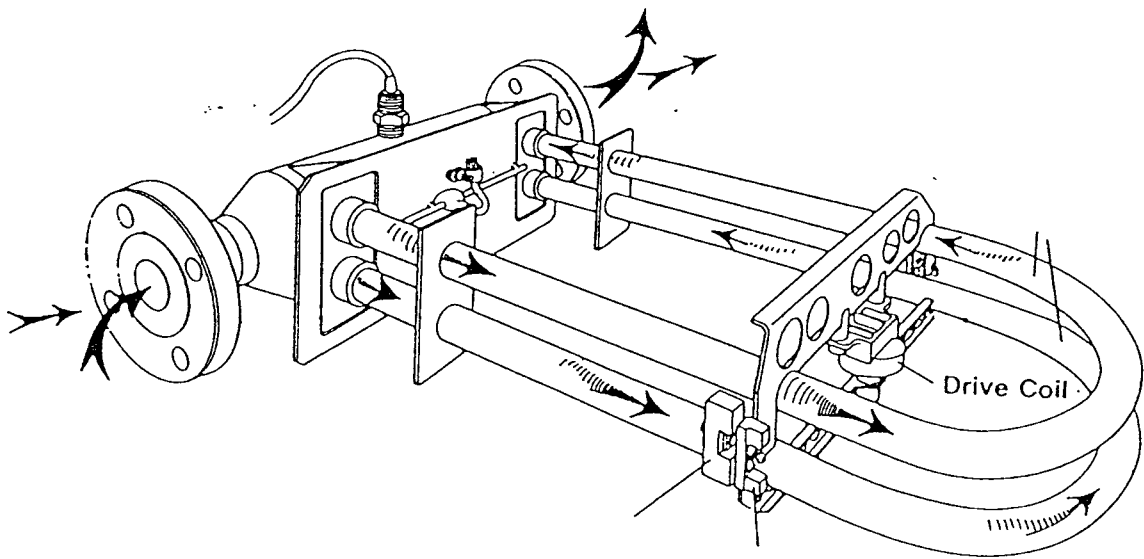
FIG. 1

RY5. 3.



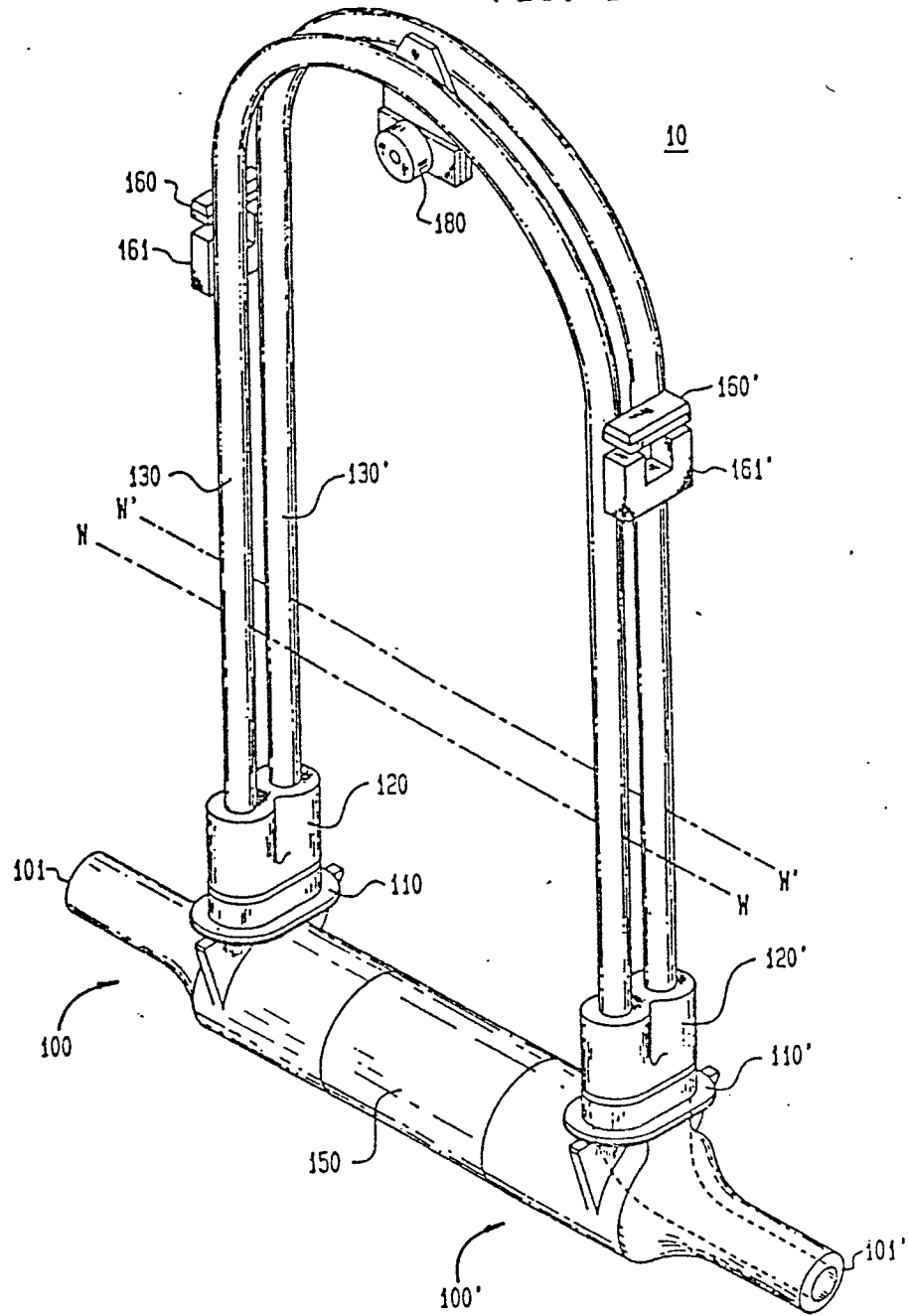
RY 5.4

34



RYB. 5.

FIG. 1



RYD.G.

36

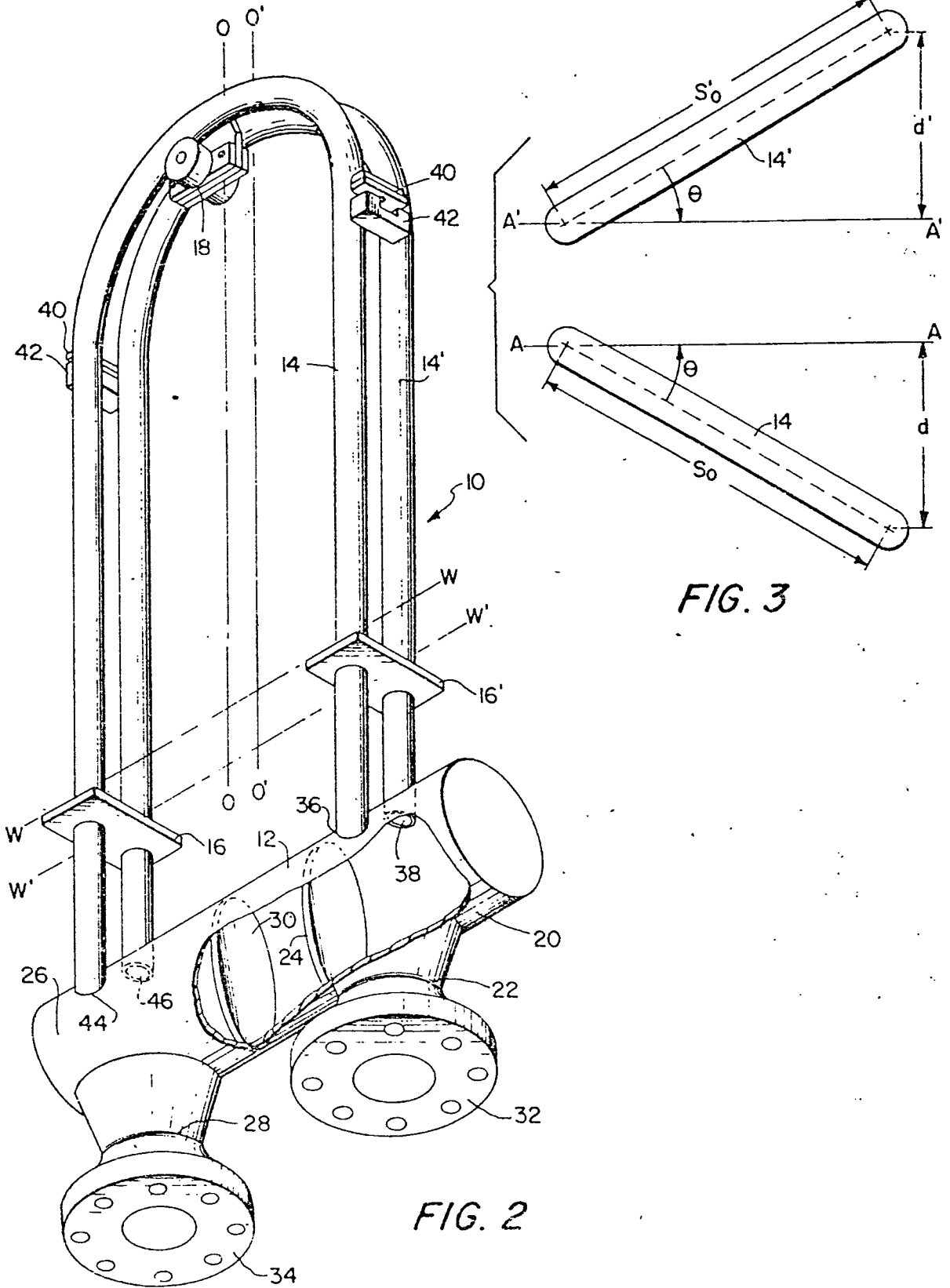


FIG. 3

FIG. 2

RYS.7

37

New Flow Sensors Use Novel Technology

ROBERT B. STOCKDALE, CONTROL ENGINEERING

Although some users embrace innovative concepts to measure flow, they consider reliability the most important criterion.

There are many ways to measure flow—23 distinct methods at last count—and more coming. Why all the fuss about ways to measure flow? For one, it's a market with about \$800 million of annual expenditures. Also it's one of the most critical measurements in fluid process control systems, right along side of pressure, temperature, and level.

In addition, measuring flow is difficult due to the complex dynamics of the processes and range of fluid characteristics, all of which makes development of contemporary flow measuring devices a real challenge.

CE asks for information

In a questionnaire, CE asked users and manufacturers of flow measurement and control instruments to relate current and future trends in flow in-

strumentation design and application developments. They were also asked to identify their industries, the types of fluids, and measurement methods.

Most importantly, respondents were asked to identify the significant criteria used in designing and selecting flow instruments. The choice included: reliability, accuracy, price, delivery time, computer friendliness, and technical support. CE avoided questions about selection of sensing methods because it is largely dependent on the specific application, process dynamics, and fluid characteristics.

Reliability is number one

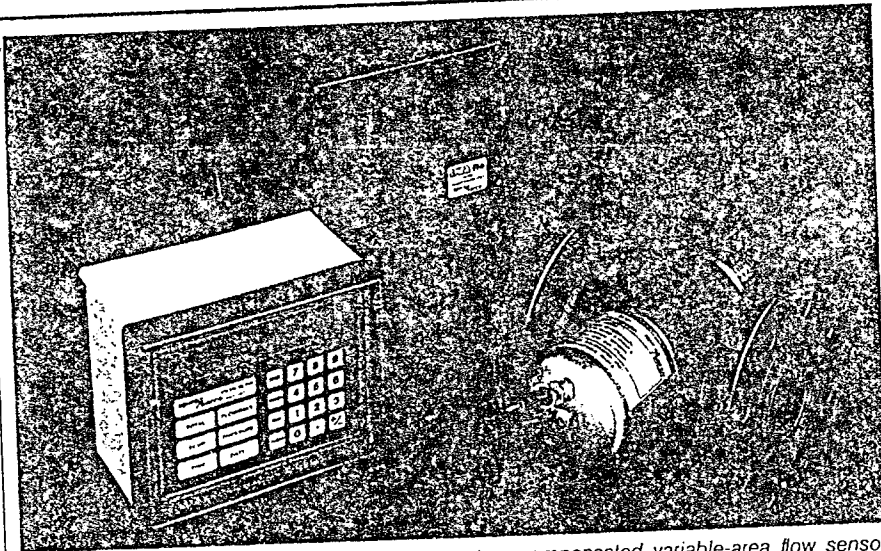
Given the demands placed on primary sensor performance by computerized systems and competition in the marketplace, it's no surprise that reliability was the most significant design and

buying decision criterion cited.

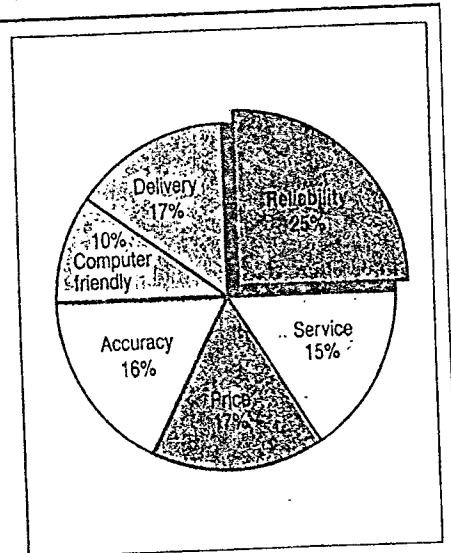
Some users indicated a preference for the simplicity, reliability, and operator confidence of the old tried and true methods, rather than risk "less reliable performance" of new sensor concepts, even if the sensor has superior operating characteristics.

In response to users' reluctance to adopt new flow measuring techniques, software architects are making new systems easier to operate while hardware design efforts are developing more reliable performance.

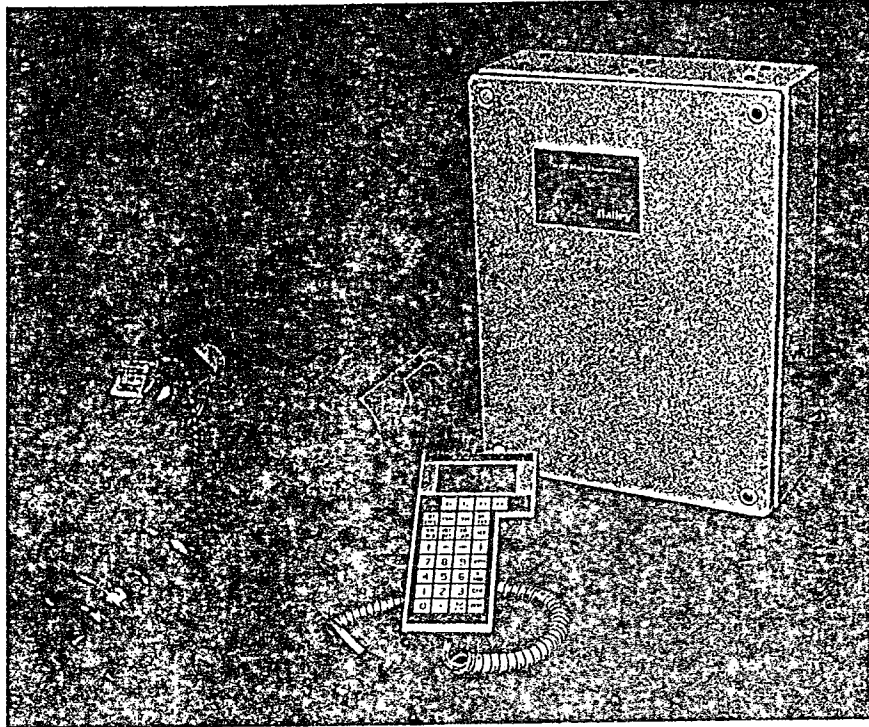
Auburn, Inc. (Devers, Mass.) developed a "one button" control wherein the operator makes adjustments by manipulating a cursor. Previously, several steps were required. Ronald L. Dechene, Auburn's president, predicts an increased use of process computer software to lessen the reliance on sensor-imbedded microprocessors and to simplify operating procedures. He also predicts a trend toward standardization rather than the current mix of types and brands of process controllers and computers.



The Spirax Sarco Flo Meter employs a temperature-compensated variable-area flow sensor designed to withstand water hammer and wet steam to measure the flow rate of live steam.



The survey respondents said reliability is the most important factor in picking a flowmeter.



The Bailey Controls Type DM Coriolis-based direct mass flowmeter's components and variables are continuously monitored and irregularities indicated for use by maintenance personnel.

Following is a summary of some of the available instruments, grouped by type of measurement technology.

Mass flow

Auburn International uses a turboelectric effect in its Model 2600 mass solids flow meter, to produce a 4-20 mA current output directly proportional to particle flow rate and concentration. While the concept is not new, its application to flow sensing is. The unit's output indicates flow rate and can trigger alarms, such as stop or start of flow, high or low alarms.

Bailey Controls (Wickliffe, O.), Type DM direct mass flowmeter measures flow rates from 0 to 5,000 lb/min. Its digital electronics package allows users to remotely troubleshoot and configure the device remotely from compatible terminals or PC's.

Exac Corp.'s (San Jose, Calif.) Model 8300 EX mass flowmeter and computer use the Coriolis effect to continuously monitor a flow range of 12 to 13,500 lb/min. It communicates with Honeywell's TDC 3000 DCS or other systems via an RS-485/422 port.

When Schlumberger's Neptune Measurement Div., (Greenwood, S.C.) couples its "m" Coriolis mass flowmeter with its Datamate 2000 collector, flow rate, totals, density, temperature, percent solids, and volume are displayed. Other features include four adjustable alarms, full batching, ana-

log outputs, RS-422 communications, and self-diagnostics.

Sierra Instruments (Carmel Valley, Calif.) offers an industrial insertion mass flow monitor for process air and gas flow applications ranging from 0-100 sfpm to 0-12,000 sfpm. The monitor is available with Steel Trak Model 640 single-point and Sting Model 650 multipoint probe arrays, which deliver analog V dc or 4-20 mA outputs and a serial RS-485 signal proportional to total mass flow rate. Depending on the system configuration, Probe Boxes and Collector Boxes are used to compute flow data and average mass velocity from up to 50 points. NEMA 4 and explosion-proof boxes are standard options.

The Tylan Corporation's (Torrance, Calif.) FC280S Series flow controller uses metal seals to make the unit suitable for both super clean or reactive gas delivery and semiconductor applications. The leak integrity is rated at 1×10^{-10} atm cc/sec. Flow ranges are 10 sccm to 30 slm, for a 3,000:1 rangeability. Output is 0-5 V dc directly proportional to flow.

Kurz (Monterey, Calif.) offers the 950 Series ultra fast 316SS mass flow switch which couples a thermal mass flow sensor with dual trip-point high or low alarms. The flow switch can measure super low flows—15 fpm—in one second. This is accomplished by measuring wattage input to the 70

deg. F overheat probe, thus avoiding the inertia delay of delta temperature types. Three configurations are available for use on pipe sizes down to 2 in. and ducts up to 50 ft in diameter. The switches cover a velocity range of 0-10,000 fpm (air).

Magnetic flow

The Fischer and Porter (Warminster, Pa.) Model IOD1477 magnetic flow measuring system utilizes an advanced sensing system linked to a ceramic spool, which eliminates the need for wetted electrodes. The ceramic liner is the only part exposed to the corrosive aspects of the process. The instrument can measure processes with conductivities as low as $0.05 \mu\text{S/cm}$.

Honeywell's (Fort Washington, Pa.) Magne W3000 smart magnetic flowmeter features a field-replaceable Teflon PFA liner and built-in grounding rings that protect the liner when the flanges are torqued during installation. Electrodes, coils, and liners can be replaced without removing the sensor from the process. Flow is unobstructed and maintenance for cleaning, if needed, has been reduced to a claim of less than an hour.

The Flumag⁸ magnetic flow meter, from the Neptune Measurement Div., of Schlumberger Industries, Inc., uses a magnetic inductive method to operate. Three selectable frequency modulations are available. The sensor tube is lined with fused aluminum oxide (ceramic) for corrosion resistance. Flow ranges are up to 2,370 gpm.

Sparling Instruments Co., Inc.'s (El Monte, Calif.) Model 625 Tiger Mag flangeless magnetic flowmeter uses a dc pulse to detect flows with conductivities of 1 micromho/cm and up. The sensor liner is constructed of aluminum oxide (ceramic), and sensing elements are available in standard 316 SS or exotic materials as required. The sensing elements are equipped with built-in grounding electrodes.

The Foxboro Co.'s (Foxboro, Mass.) latest Model 8000 Series magnetic flowmeter features a built-in algorithm that automatically dampens noise associated with measuring slurries, pulp stock and other high-solids flows. This design inhibits output variations between measurements to 1%. For less noisy applications, the damping mode can be turned off. Emergency changes of process flow caused by equipment failure, safety valve releases, and others are quickly detected, and the algorithm momentarily suspends rate limiting and damping to speed response.

Rosemount, Inc.'s (Eden Prairie,

Minn.) Model 8712 smart magnetic flow transmitter performs digital processing, features 0.5% accuracy, and a 30:1 rangeability. The transmitter can be interrogated and configured locally or from remote locations using a remote transmitter interface, without interrupting the 4-20 mA signal. The transmitter also can communicate to the System 3 DCS.

Ultrasonics

Texas Nuclear Corporation's (Austin, Tex.) TN/Manning Products Model 680 wetted-electrode transit-time flowmeter is suitable for use with conductive and nonconductive fluids—from super clean water to activated sludge. Pipes range from $\frac{3}{8}$ to 48 in. Features include 0.5% full scale accuracy, temperature ranges from -364 to +500 F, and 4-20 mA output.

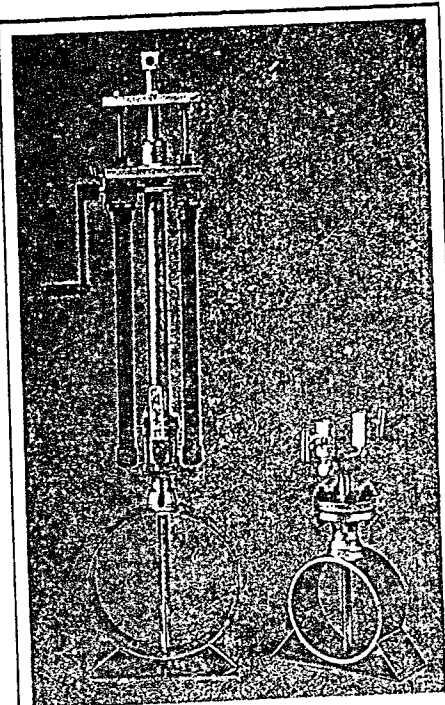
Controlotron's (Hauppauge, N.Y.) clamp-on meters are ideal for retrofit projects. The meters are non-intrusive to the measured flow pipeline and do not require the process to be shut down for installation. The Spectra, a touch-on/clamp-on Universal Fourier flowmeter is economical and can be programmed in the field for operation. It accommodates pipes from 0.5 to 255 in. in diameter and achieves up to 1% flow rate accuracy.

Differential pressure

Dieterich Standard/Dover Industries' (Boulder, Colo.) new flow control system, consisting of the Pro-Ducer family of transmitters and meters, uses a solid-state piezoresistance Wheatstone bridge to measure differential pressure generated by its Annubar Model DX sensor line. The flow rate and differential pressure meter/transmitter Model 200RM features a keypad entry system to ease entry and display rate meter data.

Preso Industries, Inc. (Plattsburgh, N.Y.) makes the Ellipse, an elliptical type flow sensor which uses the averaging pitot tube method to reduce the loss of accuracy caused by fluid separation at the sensor body. Five models are available to accommodate a wide range of fluids and installation configurations, including hot tap. Accuracy, when properly installed, is $\pm 0.4\%$ with a 17:1 turndown ratio.

Victaulic Company of America (Easton, Pa.), offers two styles of differential pressure sensor assemblies with grooved ends for easy installation. Models 733 and 734 are designed for use with venturi and orifice plate dp generators and come in sizes from 2.5 to 30 in. The orifice and venturi sections come completely fabricated, ready-to-install, and factory calibrated



Dieterich Standard's Pro-Ducers can be field-calibrated to meet unexpected conditions.

to assure proper tap size and location for $\pm 1\%$ of scale accuracy performance.

Positive displacement

Micro Computer Control Corporation's (St. James, N.Y.) new flow paddle wheel flow sensor features a 0-5 V square-wave signal output proportional to flow rate. It can be used with the company's Micro Computer microprocessor-based controllers or other compatible pulse rate controllers. Also featured are the isolation of sensor magnets from the process streams and mounting options for pipes from 2 to 18 in.

Velocity/oscillatory

Yogakawa Corporation of America's (Newman, Ga.) YF100 vortex shedding flowmeter line's transducer—a piezoelectric sensor—is mounted outside the flow line. An integral or remote converter is available to provide a 4-20 mA output proportional to flow. Sizes range from $\frac{1}{2}$ to 8 in., accuracy is $\pm 0.8\%$ of rate for liquids, and repeatability is 0.2% of flow rate.

Endress + Hauser Instruments (Greenwood, Ind.) produces vortex shedding flowmeters using a differential-switched capacitor sensor. This sensor is fabricated in one piece and does not require on-site calibration. It has a 40:1 turndown for liquids and is available in sizes from $\frac{1}{2}$ to 12 in.

Dwyer Instruments, Inc. (Michigan City, Ind.) offers the new Series 640

air velocity transmitter, covering a range of 0-12,000 fpm, for measuring dry air streams, in duct applications, clean rooms, and others. Its sensing tube is mounted with a split flange and uses a 2-wire, 4-20 mA analog output.

Computer/controller/transmitter

Sarasota Automation, Inc.'s (Sarasota, Fla.) new solar-powered FC 965 gas flow computer accepts single orifice dp or turbine meter inputs. NO-MAD software is used for calculating gas measurement based on AGA classifications. Self-prompting displays relating to field procedures make the computer easy to use and enable data to be logged at user-defined rates of one per minute up to one per 99 hours and 59 minutes—for a maximum of 1,440 calculations per day. These calculations are used to produce chart quality audits. The device has the unique calibration capability of offering a ten-point linearization, and temperature and static pressure corrections. The computer accepts input from most standard dp transducers, including Rosemount, Foxboro, Tobar and Bourns Duo.

Promac's (Scarborough, Ontario, Canada) new micro Comet MCU Series flow computer calculates corrected flow rates and total flow for most process liquids, steam (mass and enthalpy), general process, and natural gases. It accepts 1 to 3 transmitter inputs for auto ranging and flow summary. Continuous calculations correct for specific process parameters.

Research, Inc. (Minneapolis, Minn.) offers the Microstar F Series of air fuel ratio controllers for use in process combustion applications. A master controller regulates fuel oil flow and resets atomizing and combustion air controllers as well. Purchasers gain added return on investment through the controllers' energy efficiency.

Fenwal's (Ashland, Mass.) Auto-Tune Model 5701, single-loop controller reduces deviation from setpoint by continually calculating and updating PID control parameters without interrupting the process. Its automatic initialization reduces operator involvement at startup. These features make the instrument particularly suitable for process flow control applications.

Yogakawa Corporation of America offers a full line of Uni-Delta Mark II based on "differential capacitance resistance." The Model YA-11 differential pressure transmitter is used in flow control loops. Its range of 4 to 850 in. of water is achieved by using three plug in capsules, each with a 7:1 turndown. The transmitter outputs a 4-20 mA analog signal.

Variable Area

Spirax Sarco, Inc. (Allentown, Pa.) addresses the problem of accurate and centralized computer-based readouts for steam usage and custody transfer with a flowmeter designed for steam. The instrument makes measurements using a temperature-compensated variable-area sensor feeding a dedicated flow computer.

W.A. Kates Company (Ferndale, Mich.) produces self-actuated flow regulators for use with relatively clear fluids. This design uses the pressure drop across the regulator to continuously maintain the targeted flow rate and requires no external power.

Paths for improved reliability

The questionnaire respondents said the quest for more reliability is taking two paths as follows:

- Computers and related software programs are being developed to reduce operator stress through the use of automatic initialization trend displays, and to improve the quality and usability of data supplied to operations managers.
- Hardware designs are being enhanced to reduce maintenance and downtime and sensors are being developed for more repeatable and accurate flow measurements.

Manufacturers' responses to the questionnaire described plans for new product development. Competing companies are attempting to cover all the bases to satisfy customers' needs.

Manufacturers recognize the need to develop and manufacture flow instruments that will become a reliable and communicative part of a total facility automation and management system. The philosophy of this approach is that "the whole is no better than the weakest part of the system."

Mr. Dechene sums up Auburn's R&D efforts: "Traditionally (recently), there has been enormous development going into computers, but not much effort with the information going into the computers. There's a real need to be concerned about the quality of data supplied to the computer."

Echoing Dechene's comments, Yokogawa calls for more reliable sensor output and development of sensors that require less maintenance. "It's essential that instrument operation be repeatable. More than accuracy, repeatability is the key to quality process control. Accuracy is a function of measurement principle, or science; repeatability is a function of manufacturing tolerances, or hardware design. To help our customers remain competitive, we must learn and serve their needs. Until on-line availability be-

comes the primary consideration, it is doubtful that the current trend [development focus on the computer or communications side—*ed.*] can be reversed."

Conversely, quality hardware can be complemented with good computer software and related signal conditioning. According to Tom May and Rex Clark of Exxon Co. USA (Billings, Mt.): "In terms of reliability, dependability, cost and 'known' technology, the delta pressure (orifice plate) is by far the most universally accepted . . . even with its limited turndown. However, the new smart transmitters and computer applications, especially digital signals, are all helping overcome these handicaps."

C.B. "Bud" Adler, vp, Fenwal Inc. (Ashland, Mass.) on process controller design, says combining self-initialization and auto-tuning avoids erratic loop behavior, reduces operator involvement at startup and in operation, and permits closer control—to improve productivity.

Air Monitor Corp. (Santa Rosa, Calif.) supports hardware development: "There's too much emphasis on the control aspect [computers] as opposed to the inlets [sensors and flow meters]. Hopefully, the improvements will [now] come equally to both

disciplines."

On the other hand, Foxboro believes that, after reliability and cost, predictable performance with digital communication should be a prime design target. "Why digital?" A Foxboro spokesman writes. "Because the less noise, the better the stability. Digital sensing techniques can be combined with low power CMOS digital electronics to provide high performance measurement devices."

Kates Co. (Ferndale, Mich.) used its flow regulator know-how to develop a line of ratio controls that maintain a preset flow ratio between any combination of gas and liquids. Being self-actuated by the pressure drop across the unit, it doesn't require external power to operate.

Input for new designs' focus

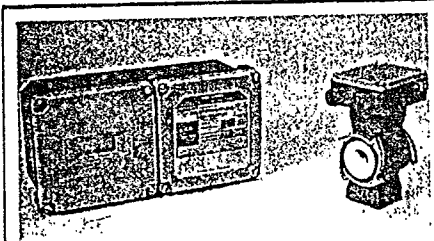
Following is a listing of new flow metering and control products and related strategies respondents report are being, or should be addressed by manufacturers and the industry:

- Ultra low flow sensor
- Wide band temperature tolerance sensor
- Total system product packaging
- Catalytic gas detector
- Ultrasonic Doppler method
- Vortex flow sensor
- High viscosity flow sensor
- Enhanced capability transmitter
- Cost-effective mass flow sensor
- Ratio controller for combustion and blending
- Mass flow computer
- Low flow, high viscosity sensing capability
- Continuous blending system
- Volumetric vessel capacity vessel prover
- DP cell with ceramic pickup
- Automated calibration
- Metal seal low leak thermal mass flowmeter and controller

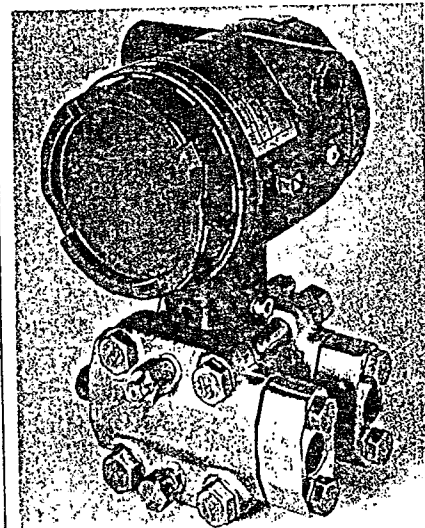
Where to from here?

Research and design efforts seem to be equally balanced between controller and computer system improvement, hardware (sensor) upgrading, and measuring method development.

This bodes well for an exciting future for flow instrument producers and users. New sciences are leveraging the quest for better ways to measure process flows reliably and transmit these measurements via computerized communication networks. The ability to link process variable measuring instruments reliably with control devices and computers will enable real gains to be achieved in productivity for continuous and batch processes and discrete part manufacturing. □

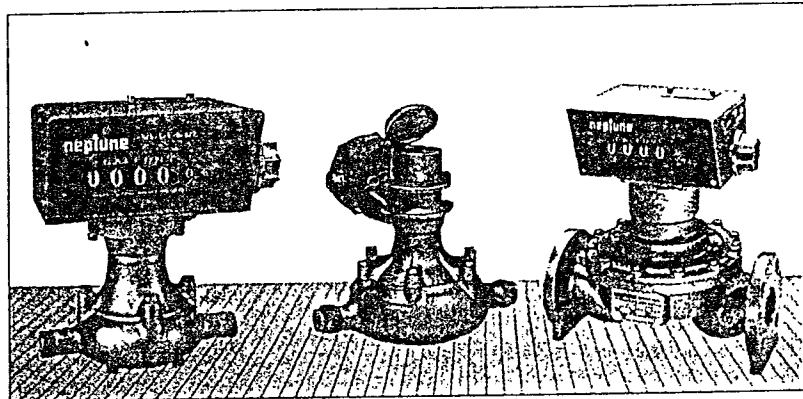
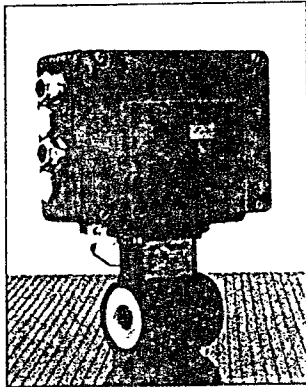
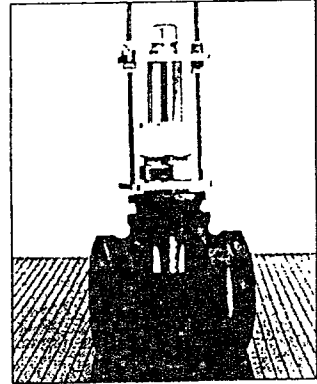
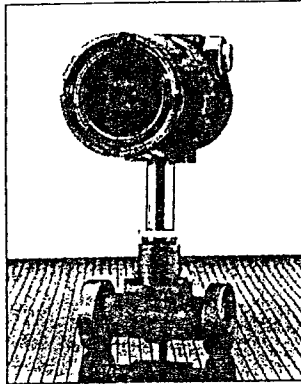
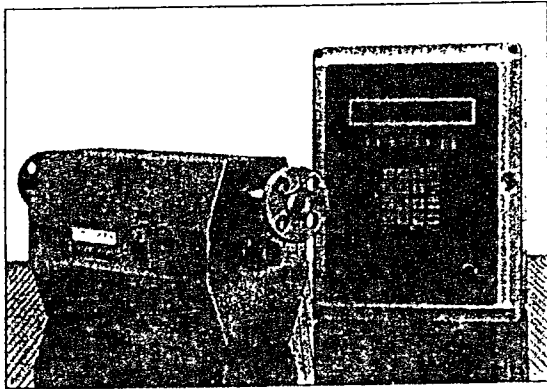


Foxboro's 8000 magnetic flowmeter continuously self-adjusts with each measurement.



Yokogawa's YA-11 measures flow by the rate at which vortices are shed in the process.

Resources for measurement and control of flow. Any flow.



For almost any flow measuring requirement, Schlumberger is the company to turn to for complete capability. A lot has been happening at Schlumberger in flow measurement to build the manageability of your business. We're introducing new systems and new equipment for improving accuracy, repeatability, efficiency and reliability. Take a look at what Schlumberger has ready for you.

m^m Direct Mass Flowmeter

Direct mass flow measurement technology is raised to a new level by the **m^m** mass flowmeter. Improved design and new construction, including the omega shaped flow tubes, offer repeatable accuracy over a wide flow range. It even offers programmable controls for more precise process management.

New Piezoelectric Vortex Flow Sensor

A Schlumberger advancement in measurement of liquid, gas or steam. With exclusive v-shape bluff body and piezoelectric signal generating crystals, the vortex flow sensor is a highly refined velocity and volumetric measuring system.

Insertion Electromagnetic Flow Sensor

Insertable probe, precision flow measurement for automatic, continuous, production-line processes. Total system design offers uninterrupted flow during installation or while

maintaining your most important operating parameters.

Flumag[®] New Magnetic-Inductive Flowmeter

A Schlumberger breakthrough in measuring the flow of electrically conductive liquids with suspended solids that cannot be measured by other methods. Flumag is compatible with many liquids from abrasive or corrosive to slurries and those having extreme temperatures. Setting new industry standards for performance and flexible operating characteristics.

Positive Displacement Technology

Traditionally versatile, accurate measuring for many different fluids and operating conditions. Complete system design offers process features, including manual or automatic and totalizing or batch functions, configurable to meet your production guidelines.

Schlumberger is your resourceful partner in flow measurement. New systems are coupled with traditional quality, reliability, and full service back-up. Your flow process can benefit from a thorough application analysis of new Schlumberger equipment. Contact us for a complete update on Schlumberger.

Schlumberger

Industries

Neptune Measurement Division
P.O. Box 792
Greenwood, SC 29648
(803) 223-1212; In Canada call (800) 263-0669

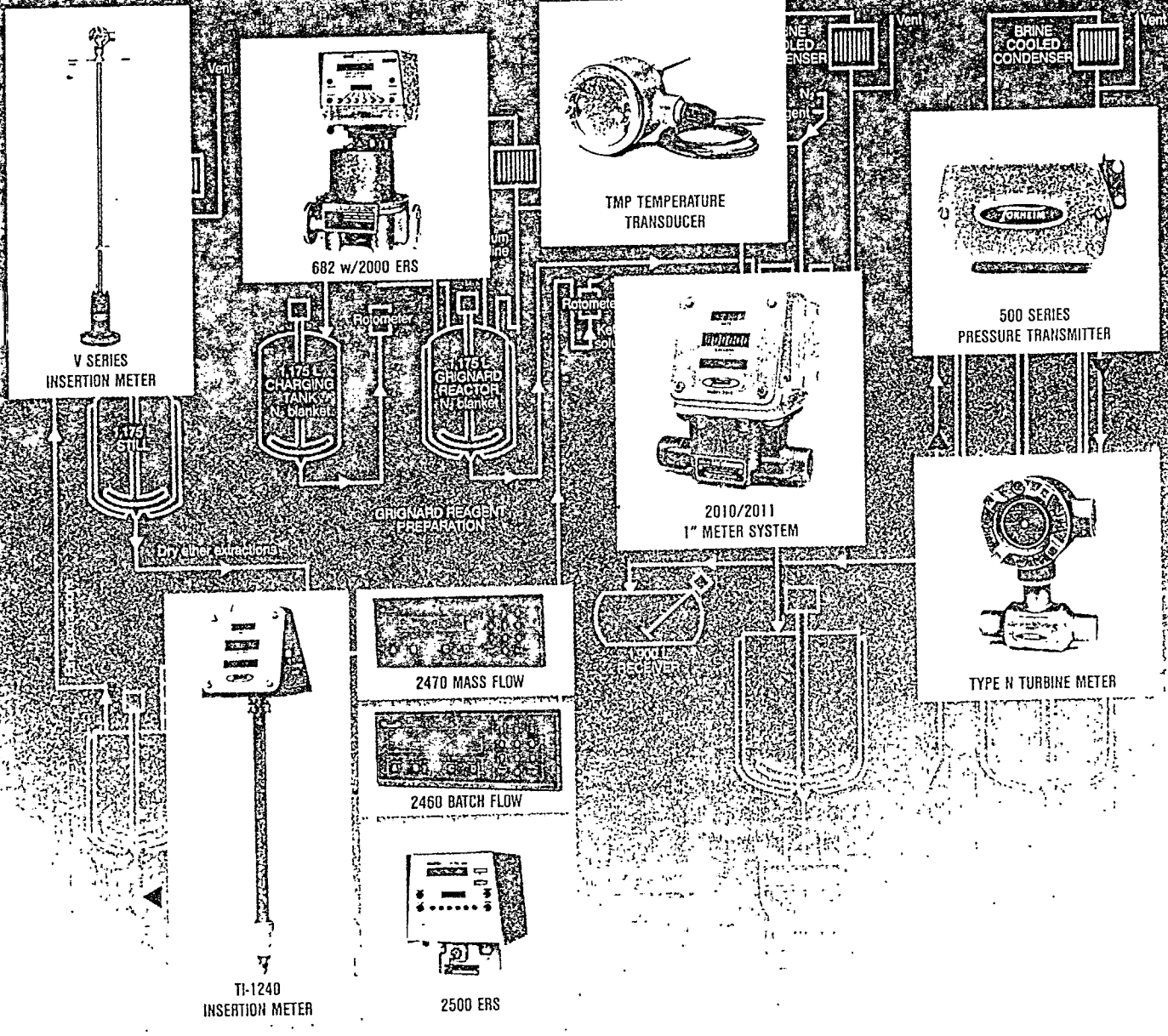
For information circle 59

©1989 Schlumberger Industries, Inc.

CONTROL ENGINEERING/MAY 1989

57.5 42

Tokheim makes even complex flow control a simple process.



Whether your process requires flow computers, insertion meters, turbine meters, electronic registers, temperature transducers or pressure transmitters, count on Tokheim. We offer a complete line of controls specifically engineered to make your process simpler. For detailed information, call us today.

For information circle 29



PROCESS CONTROLS DIVISION

Tokheim Corporation
PO Box 360 Fort Wayne, IN 46801

Phone: (219) 484-6930
(219) 423-2552 ext. 2308

FAX: (219) 484-1110

st. 6

43

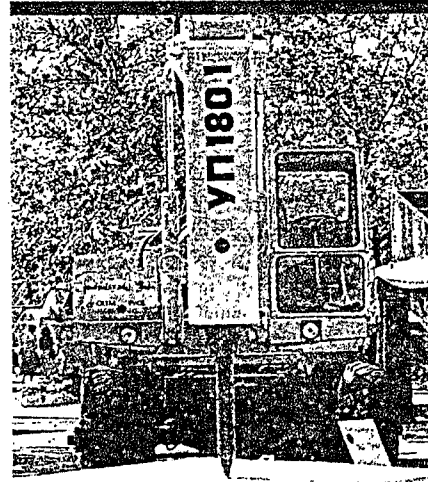
WIR



WORLD INDUSTRIAL REPORTER



Ground-breaking hydraulic impactors



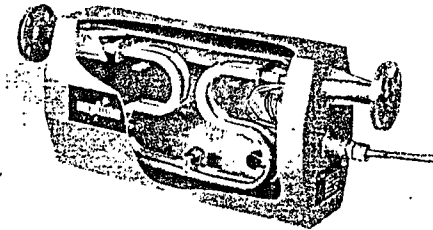
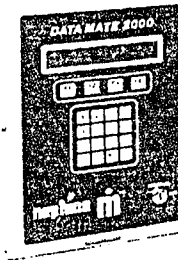
The hydraulic impactors manufactured by the Heavy Machine Building Combine of Rousse, Bulgaria, are used to break, crush and crack rocks, large rock lumps, concrete foundations and other hard surfaces. Installed on excavators and heavy-duty chain type machines, the tools are able to break even frozen soil, delivering an impact energy of 580 to 2000 J at respective frequencies of 1500 and 600 rpm with a corresponding impact power of 14.5 and 20 kW. While these versatile devices can also be mounted on basic machines and robot manipulators, they are used in mining, construction, road and railway building, and tunnel digging. They are exported by Techno-Import-Export, 20, F.I. Curie St., Sofia, Bulgaria.

circle

145

on card

Meter measures mass flows directly



The "Datamate 2000" is a microprocessor-based electronics control package for Neptune's hybrid direct mass flowmeter. Using the Coriolis principle, the flowmeter employs electromagnetic sensors that provide enough data for flow analyses. The control panel displays measurement of rate, density, temperature, percent solids and volume. It has 4 adjustable limit alarms, full batching capability and an RS422 interface. Plug-in modules are used to configure the basic unit for processes requiring remote outputs such as scaled pulse, 4-20 mA, 0-5 V dc. Neptune Int'l, 4360 Chamblers-Dunwoody Rd., Atlanta, GA 30341, U.S.A.

circle

146

on card

World
Industrial
Reporter
April 1989

RY 5.9

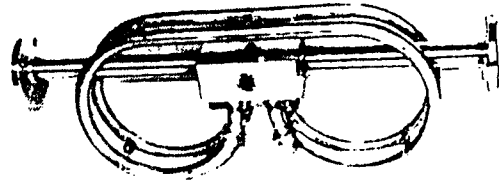
44



CORI FORCE®

MASSENSTRÖMUNGSMESSER MIT DIREKTER FUNKTION

In der industriellen Messtechnik setzt sich die Bestrebung, den Materialumsatz nicht durch die Messung des temperatur- bzw. druckabhängigen Volumens, sondern durch die Messung der Masse, die wie bekannt konstant ist, zu kontrollieren, auf immer mehr Gebieten durch. Dies wurde bis jetzt so gemacht, dass man das Volumen oder den Volumenstrom und die Dichte separat mass und die Masse bzw. den Massenstrom als Produkt aus den beiden besagten Werte erhielt. Diese Aufgabe wird von dem "direkten" Massenstrommessger in einem Schritt gelöst. Die Funktion des Gerätes beruht auf dem Coriolis-Kräfteeffekt, d.h. der Ausgang ist der Massenstromung unmittelbar und gerade proportional.



5

Das eine Glied des Messkreises ist der Fühler, in dem je nach dem Messbereich Schwingrohre unterschiedlicher Grösse enthalten sind. Der Fühler kann mittels eines Flansch- oder eines Gewindeverbinders in die Rohrleitung eingebaut werden. An die netzgespeiste elektronische Signalverarbeitungseinheit, die mit einem Mikroprozessor aufgebaut ist, wird er über ein neunadriges Spezialkabel angeschlossen. Auf der digitalen Anzeigeeinheit lassen sich mit Hilfe der Bedienknöpfe die Messergebnisse sichtbar machen. Dem Anwender werden zahlreiche Dienstleistungen geboten.

Technische Daten

Typennummer 3 6 4 7 - 0 - A B C - D

| Messbereich kg/h | Fühler-Typ | Typ der Signal- verarbeitungseinheit |
|---------------------|------------|---|
| 27 - 540 | K 20 | PMFC 1002 |
| 135 - 2700 | K 100 | PMFC 1010 |
| 337 - 6750 | K 250 | PMFC 1025 |
| 675 - 13500 | K 500 | PMFC 1050 |
| 2025 - 40500 | K 1500 | PMFC 1150 |

RVB. 10.

45



| | |
|---|--|
| Messfehler | |
| Messbereich 20-100% | +0,2% |
| Messbereich 5-20% | +0,4% |
| Reproduzierbarkeit | besser als +0,15% |
| | |
| Fühler: Mediumsdichte | 100-1500 kg/m ³ |
| Druck | max. 20 MPa |
| Temperaturbereich | -50 ... +150 °C |
| Druckabfall | 0,3 MPa (bei 100%-iger Belastung) |
| | |
| Schutzart | IP 54 |
| Umgebungstemperaturbereich | -50 ... +100 °C |
| Angaben der Signalverarbeitungseinheit | |
| Anzeigen: | Massestrom summierter Massestrom Portion Mediumstemperatur Mediumsdichte |
| | |
| Umgebungstemperaturbereich | +5 ... +50 °C |
| Netz-Speisespannung | 110 - 220 V, 50 - 60 Hz |
| Schutzart | IP 54 |
| | |
| Gerätausgänge: | |
| 2 programmierbare Stromausgänge | |
| (0-5, 4-20 mA) | |
| 2 spannungsfreie Wendkontakte | |
| 2 optoverbundene Steuerungs-Ein- bzw. -Ausgänge | |
| 1 serielle Schnittstelle (RS2320/RS422) | |

RYS 77
44

FIG. 1

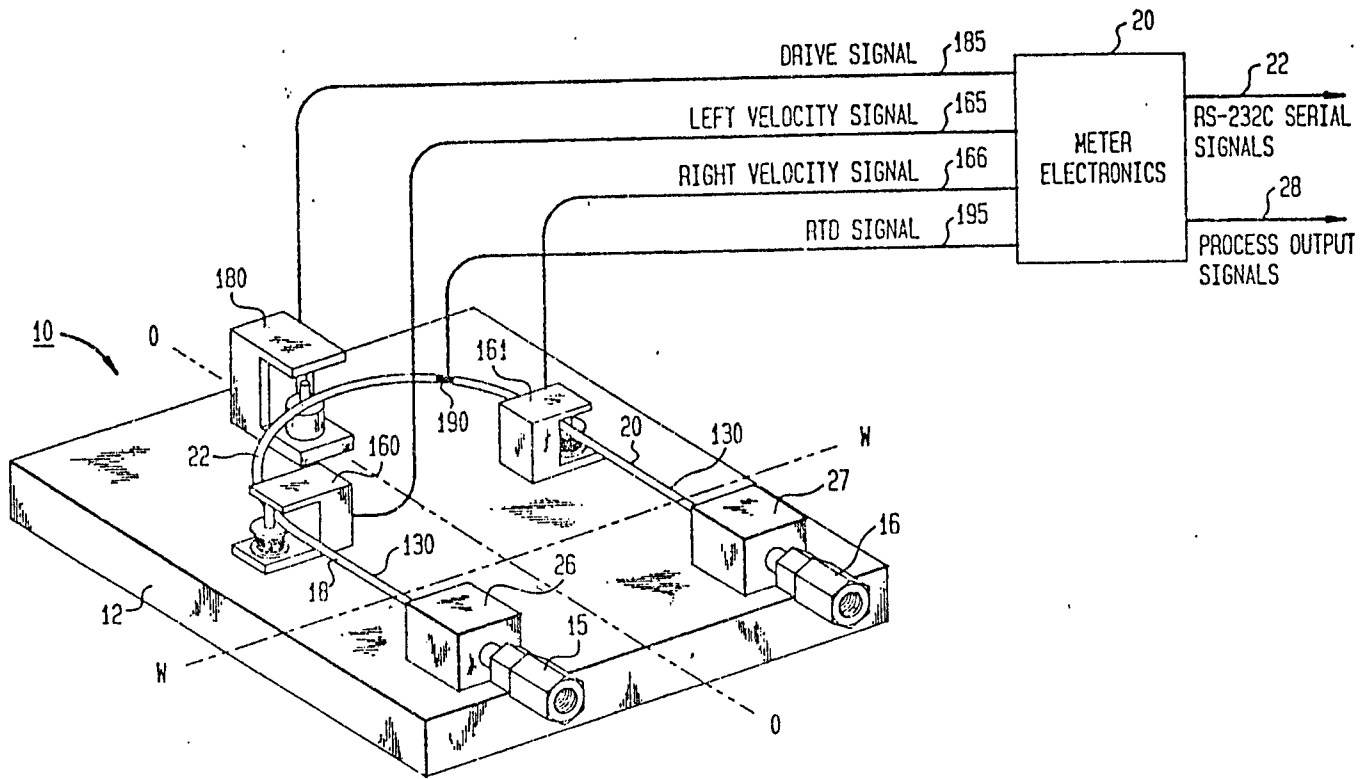


FIG. 2

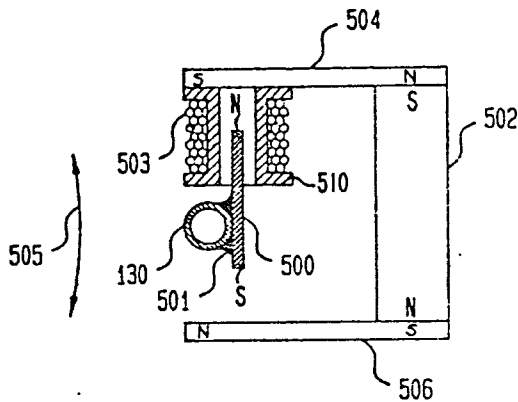


FIG. 3

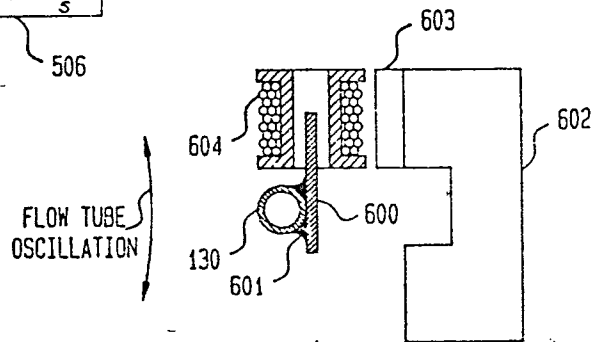


FIG. 4

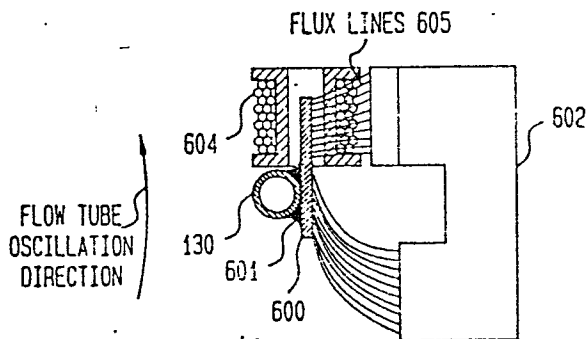
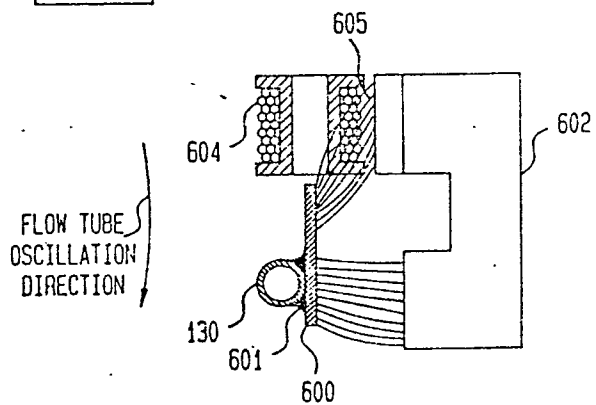


FIG. 5



Länge/Durchmesser, eine endliche Elastizität und damit sehr kleine Auslenkungen hat. Außerdem ist der Wert der *Coriolis*-Kraft längs des Rohres nicht konstant. Schwerkraft und Zentrifugalkraft sind nicht berücksichtigt.

Wenden wir uns wieder dem Denkmodell zu. Es hat wie andere in renomierten Physikbüchern zu findende Denkmodelle auch seine Schwachstellen: Was tut sich in der Rohrmitte? (Analog: Ein Fluß fließt in Nord-Südrichtung von 5° nördlicher zu 5° südlicher Breite. Was tut sich exakt am Äquator? Gehört dieser zur nördlichen oder südlichen Halbkugel?)

Da wir über einen Ausflug in die Physik zur meßtechnischen Ausnutzung des als *Coriolis*-Kraft oder Relativbewegung bekannten Effektes gelangen (und keine physikalische Abhandlung schreiben) wollen, halten wir fest:

- Ein harmonisch schwingendes Rohr kann als rotierendes System betrachtet werden.
- Ein harmonisch schwingendes Rohr, welches von einer Masse durchströmt wird, schwingt aufgrund der *Coriolis*-Kraft in den eingangsseitigen Rohrabschnitten phasenverschoben gegen die ausgangsseitigen Rohrabschnitte.
- Die Phasenverschiebung ist der *Coriolis*-Kraft proportional.
- Wenn, wie bereits erwähnt, die *Coriolis*-Kraft längs des Rohres nicht konstant ist, aber Masse und Geschwindigkeit unabhängig vom Ort längs des Rohres sind, ist somit die durch die *Coriolis*-Kraft bedingte Phasenverschiebung proportional dem Produkt $m \cdot v$, also dem Massedurchfluß.

5. Technische Realisation

Prinzipiell muß also zur Massedurchflußmessung ein beidseitig eingespanntes Meßrohr in harmonische Schwingung versetzt werden, an zwei definierten Stellen mit geeigneten Mitteln seine Schwingung gemessen und zur Bestimmung der Phasenverschiebung miteinander verglichen werden. Vor oder nach dem Vergleich muß ein elektronisches Signal entstehen, das letztlich zum Meßwert in Einheiten des Massedurchflusses führt. So einfach ist das in der Theorie!

In Praxis ist alles etwas schwieriger: Die Schwingungen des Rohres haben entgegen den zeichnerischen Darstellungen sehr kleine Amplituden in der Größenordnung von 60 µm, ein Meßrohr befindet sich nicht im stoß- und vibrationsfreien Raum, die auszuwertenden Phasenverschiebungen sind ebenfalls sehr klein (Nanosekunden-Bereich bzw. Winkelminuten). Dementsprechend wird hier zuerst eine technische Lösung eines Meßrohres mit Aufnehmern ausführlich geschildert.

a) Das Meßrohr

Zwei gerade parallele Meßrohre sind an beiden Enden mit je einem Verteilerstück verbunden. Sie werden in der Mitte der Rohrlänge elektromagnetisch in Schwingung ver-

setzt. Sie schwingen mit ihrer Resonanzfrequenz in Gegenphase.

Die Resonanzfrequenz wurde zur Energieeinsparung gewählt. Sie liegt außerdem mit 700 bis 1100 Hz in hinreichendem Abstand zu üblichen Störfrequenzen durch Vibration in Anlagen. Der Bereich für die Resonanzfrequenz ist bedingt durch den variierenden Massedurchfluß, z. B. liegt die Resonanzfrequenz mit steigender Dichte niedriger. Wegen der relativ hohen Frequenz kommt man mit relativ kurzen Rohren aus. Durch die gegenphasig schwingenden Rohre können überlagerte Fremdschwingungen kompensiert werden.

Meßrohre und Verteilerstücke sind aus Titan. Dieses Material wurde wegen seiner guten Eigenschaften hinsichtlich Elastizität, Druckfestigkeit, Ausdehnungskoeffizient und Korrosionsbeständigkeit gegen viele aggressive Medien gewählt. Die Verarbeitung stellte vor manche Probleme, die letztlich gelöst werden konnten – auch durch Anleihen aus im militärischen Sektor üblichen Techniken. Die Schwingungserregung wird übertragen durch zwei Erregerjoche, das zweite Joch dient jedoch der Stabilisierung der Schwingung. Die Schwingung der Meßrohre wird an zwei definierten Stellen in gleichem Abstand von den Verteilerstücken mit optischen Aufnehmern gemessen (Bild 6).

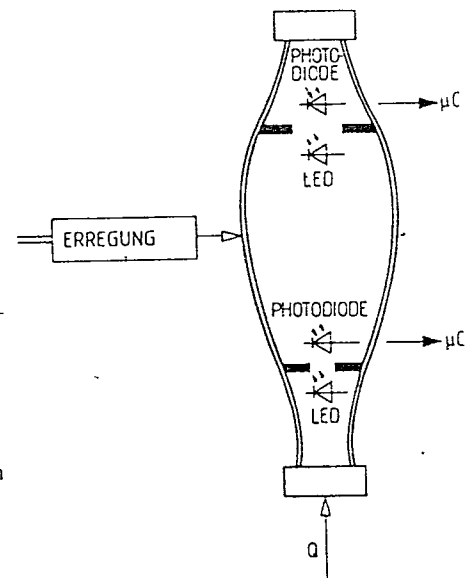
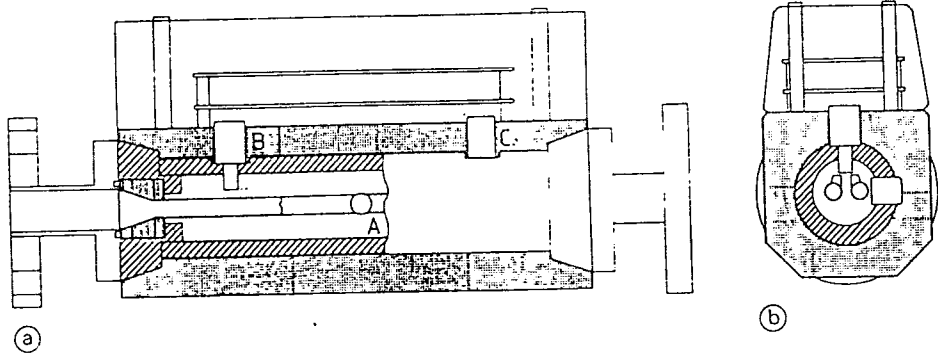
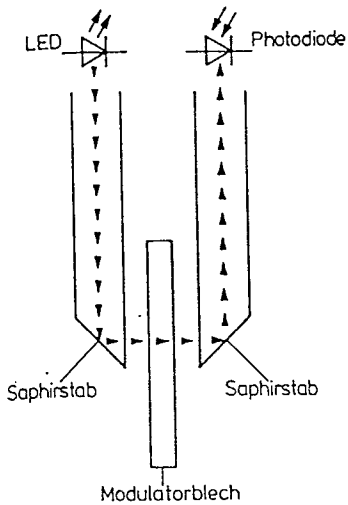


Bild 6. Schematische Darstellung des Meßaufnehmers, bestehend aus zwei parallelen Meßrohren, Erregersystem und zwei optischen Sensoren.

b) Die optischen Aufnehmer

Auf den beiden Meßrohren werden an den Meßstellen Verbindungsbleche aufgebracht, die durch einen Spalt definierter Breite wieder getrennt werden. Die Spaltbreite („Blende“) ändert sich mit den in Gegenphase schwingenden Rohren. In Bild 7 ist schematisch dargestellt, wie Infrarotlicht über eine Leuchtdiode in einen Saphirstab mit 45° Anschliff gestrahlt wird. Das Licht gelangt über Totalreflexion in Richtung Spalt. Je nach Spaltbreite gelangt mehr oder weniger Licht auf einen Saphirstab hinter der Blende. Dieser reflektiert ebenfalls über einen 45° Anschliff die ankommende Lichtmenge und leitet sie auf eine schnelle Photodiode (PIN-Diode). Auf diese Weise wird die Lichtmenge im Takte der Schwingung des Meßrohres



▲ Bild 8. Aufbau des Meßaufnehmers im Längsschnitt (a) und im Querschnitt (b).
A elektromagnetische Anregung mit Spule;
B, C optische Abtastung der Phasendifferenz.

◀ Bild 7. Schematische Darstellung des optischen Sensors.

an dieser Stelle moduliert und von der Photodiode in Wechselstrom umgewandelt. Die Verwendung von Saphirstäben anstelle von Glasfaserstäben reduziert die Verluste.

c) Der Meßaufnehmer m-point

Die beiden Meßrohre, die beiden optischen Sensoren und das Erregersystem sind in und an einem Trägerrohr angebracht (Bilder 8 bis 10). Das stabile Trägerrohr fängt die aus dem Leitungssystem kommenden beträchtlichen Kräfte auf. Das Trägerrohr hat außerdem eine Trennfunktion beim Einsatz im explosionsgefährdeten Bereich. Innerhalb des Trägerrohres ist Vakuum. Der Zwischenraum zwischen dem Trägerrohr und dem Stahlgehäuse ist ausgeschäumt.

Die Signalverarbeitungsstufe ist im Deckel des Gehäuses montiert. Der Anschluß zum Auswertegerät PROCOM (Bild 11) erfolgt über eine Zweileiterverbindung.

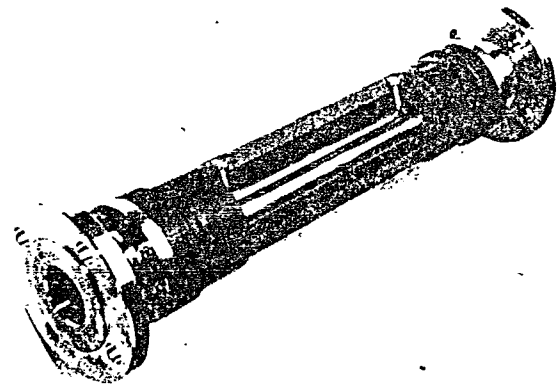


Bild 9. Meßaufnehmer im (angeschnittenen) Trägerrohr (Werkfoto FLOWTEC).

d) Die Signalverarbeitung

Im Blockschaltbild (Bild 12) ist im Block „Meßaufnehmer“ (willkürlich) der ausgangsseitige optische Sensor mit Sensor 1 der eingangsseitige mit Sensor 2 bezeichnet. Die Leuchtdioden dienen als Sender, die Photodioden als Empfänger. Der Sender im Sensor 1 wird von einem Konstantstrom gespeist und erzeugt Infrarotlicht im Bereich von 880 nm. Die Modulatorbleche modulieren im Takt der Rohrschwingung die Lichtstärke. Der Empfänger liefert als Ausgangssignal einen lichtstärkeproportional modulierten Gleichstrom. Das Ausgangssignal wird in dreifacher Weise genutzt (auf drei vermaschte Stromkreise gegeben):

- im Regelkreis, der die Erregerfrequenz auf Resonanzfrequenz regelt,
- im Regelkreis, der den Wechselstromanteil des Senders im Sensor 2 auf gleiche Amplitude wie den des Sensors 1 regelt, und
- als Meßsignal, welches dem Mikroprozessor zugeführt wird.

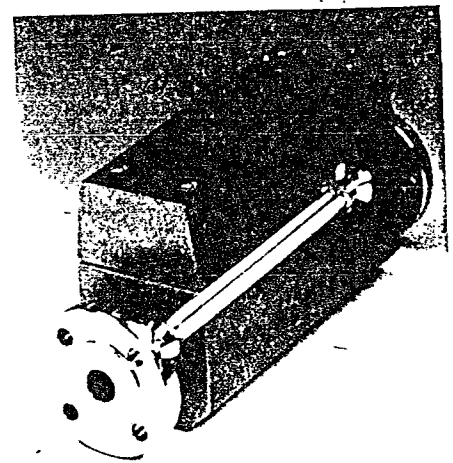


Bild 10. Meßaufnehmer m-point: Meßrohre im Trägerrohr und Elektronik im Gehäuse (Werkfoto FLOWTEC).

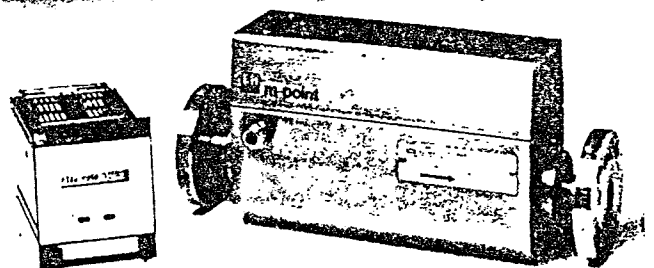
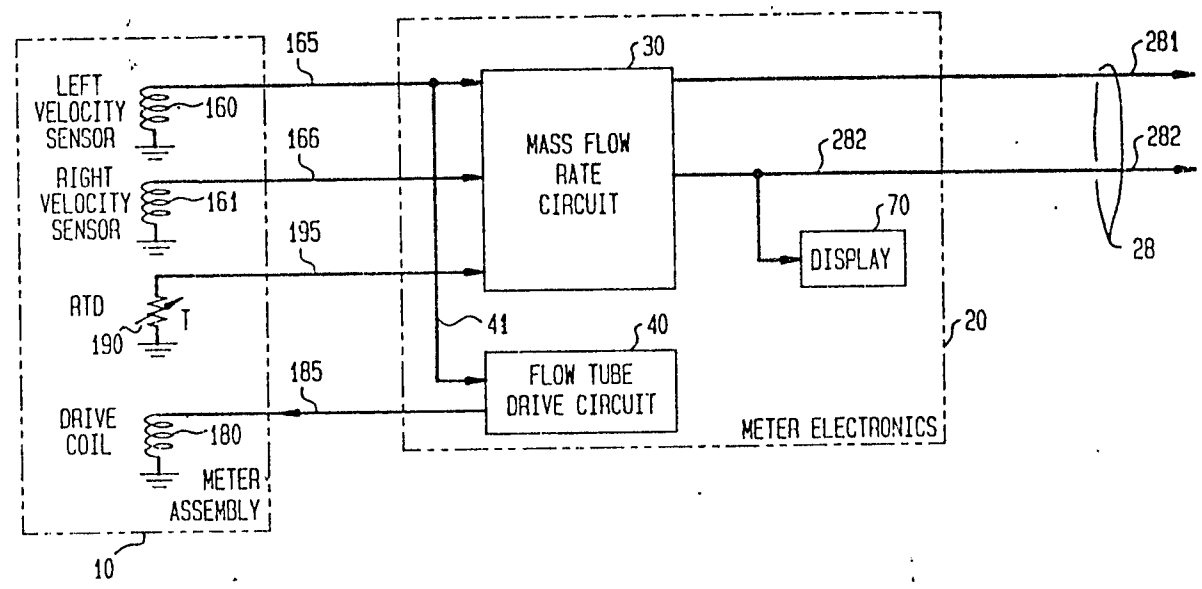


Bild 11. Die gesamte Meßlinie: Meßaufnehmer m-point und Auswertegerät PROCOM (Werkfoto FLOWTEC).

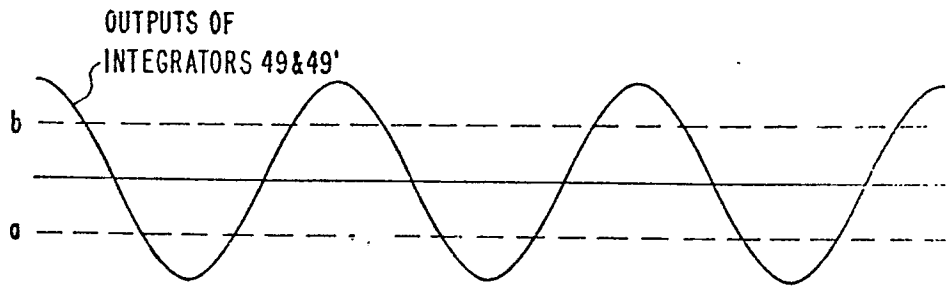
RYS 14.

FIG. 6

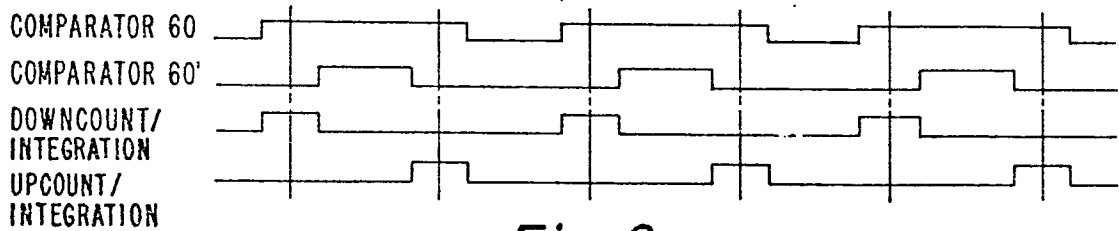


RYS. 15

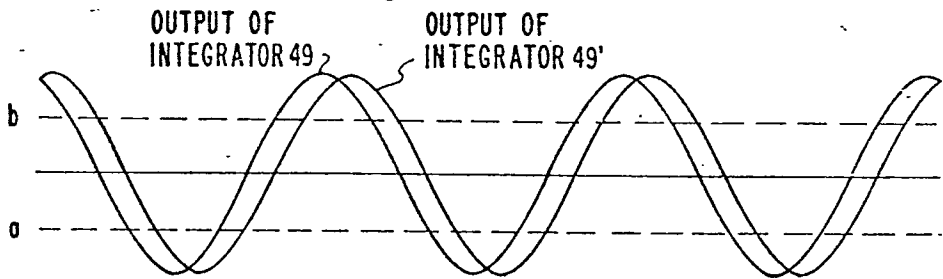
51



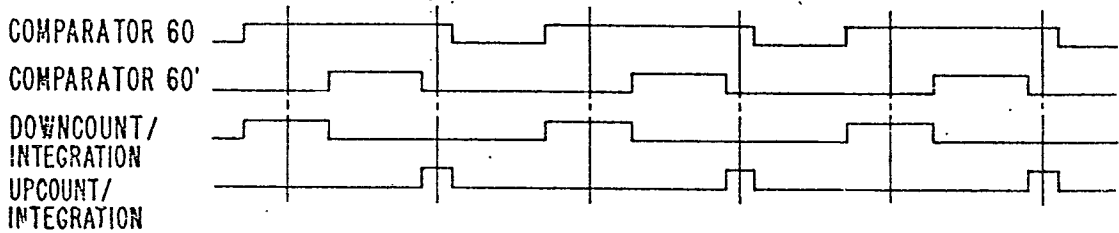
Fig_5



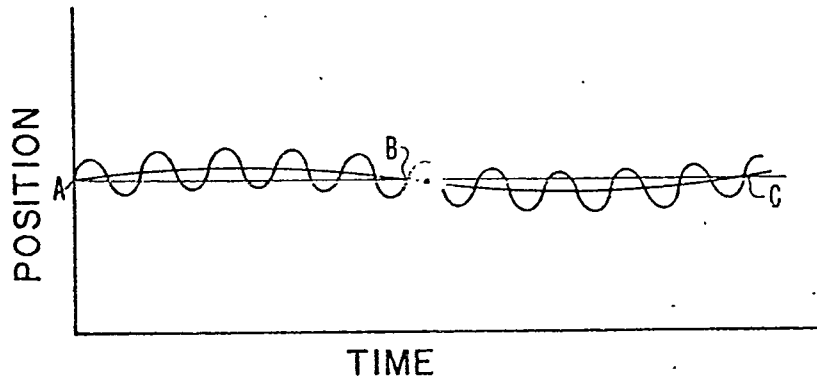
Fig_6



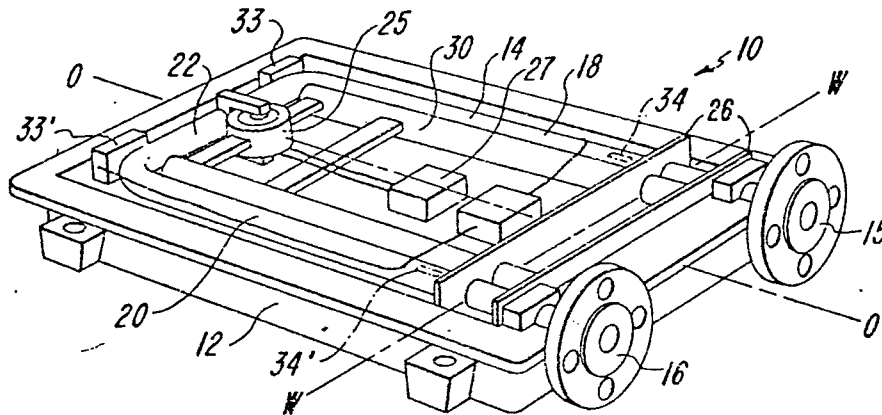
Fig_7



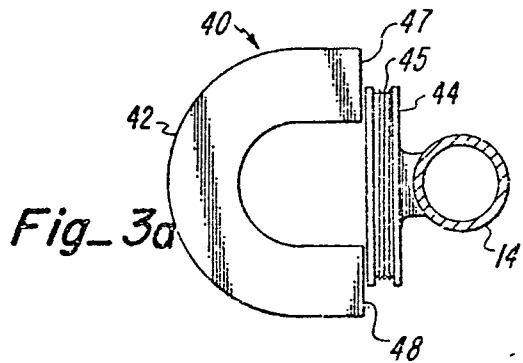
Fig_8



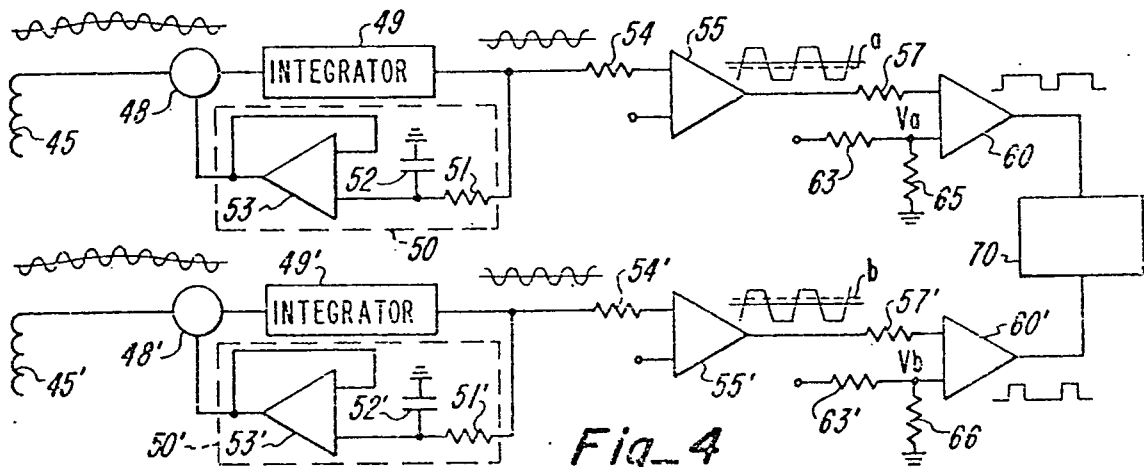
Fig_2



Fig_1



Fig_3a

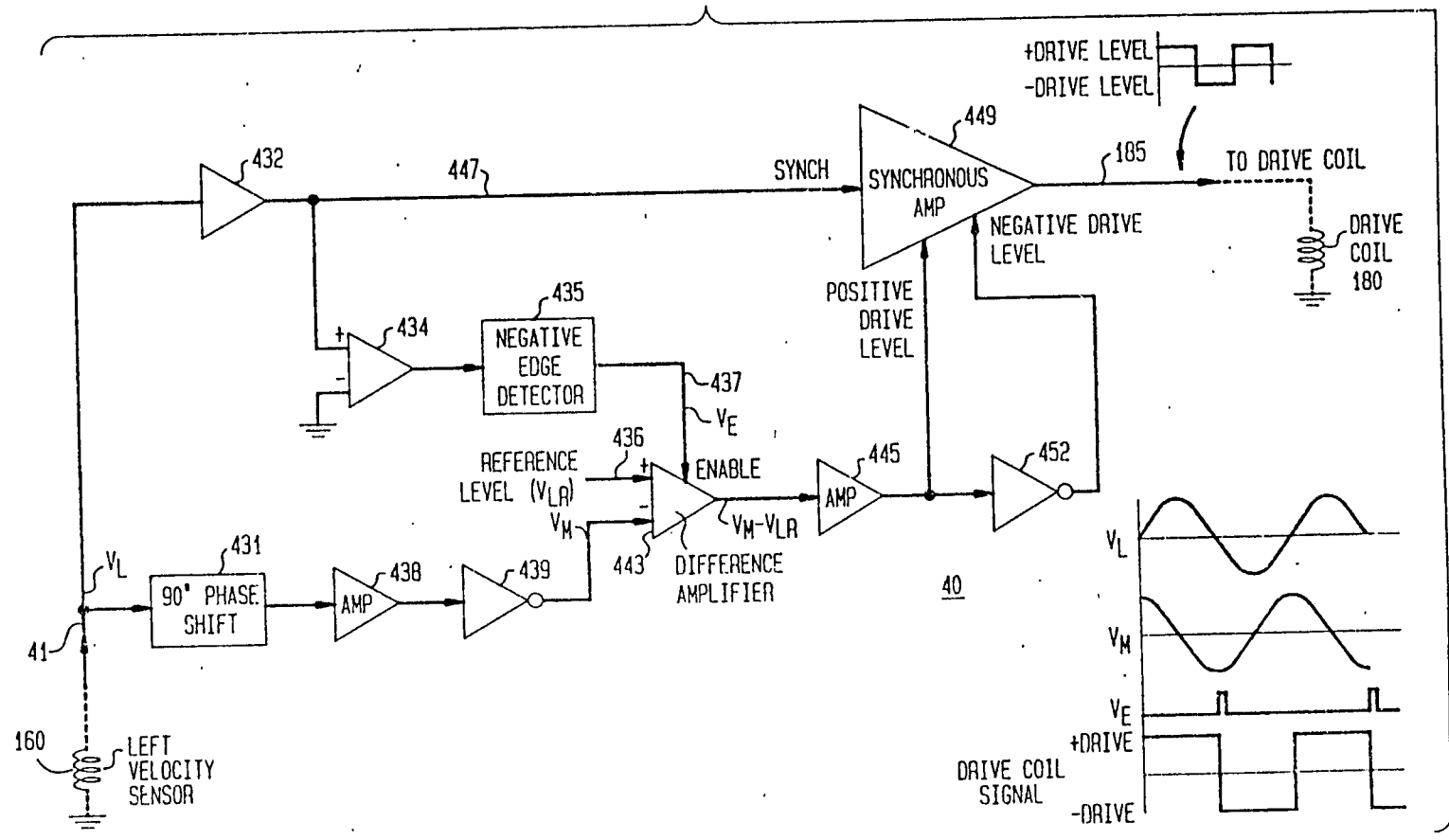


Fig_4

RYS 17

53

FIG. 8
FLOW TUBE DRIVE CIRCUIT



P45.78

54

VOLTAGE

V_{RP} & V_{LP}

RIGHT AND RIGHT SIGNALS

RIGHT SIGNALS

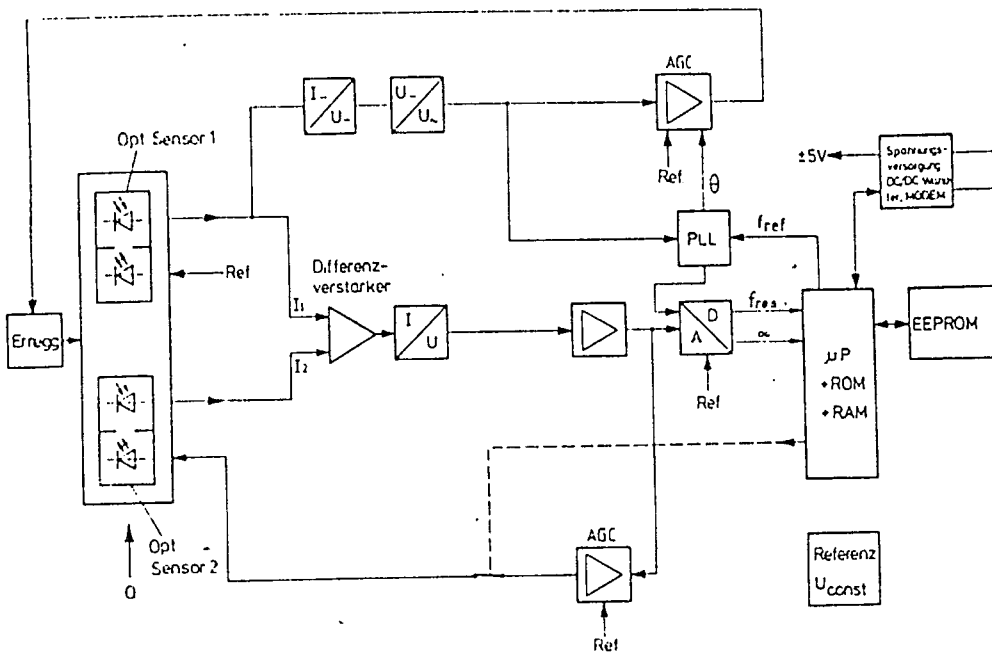


Bild 12. Blockschaltbild der in den Meßaufnehmer m-point integrierten Signalverarbeitungseinheit.

Die Wechselspannung wird zum einen auf die Funktionseinheit zur automatischen Verstärkungsregelung und zum anderen auf einen Phasenregelkreis (PLL) geführt. Im Phasenregelkreis werden die durch die Rohrschwingung verursachte Frequenz und die Frequenz des Erregerstromes miteinander verglichen – bei 90° Phasenverschiebung schwingt das Rohr mit seiner Resonanzfrequenz. Nimmt die Dichte des Mediums zu, so wird die Phasenverschiebung größer ($\pi/2 + \theta$), das bedeutet, die Erregerfrequenz muß gesenkt werden.

Aus dem Vergleich der Schwingungsfrequenz und der Erregerfrequenz erzeugt der PLL eine phasenabhängige Regelspannung, die auf die Verstärkungsregelstufe geführt wird. Sie wird außerdem über den A/D-Umsetzer in den Mikroprozessor gegeben und dient zur Ermittlung der Dichte, die vom Auswertegerät PROCOM neben den Meßwerten des Massedurchflusses und der Temperatur ausgegeben werden.

Sensorregelkreis

Der vom Sensor 1 kommende modulierte Gleichstrom und der von Sensor 2 kommende werden auf einen Differenzverstärker gegeben. Ein verbleibender Gleichstromanteil wird über den Strom-Spannungs-Wandler und einen Verstärker auf den Eingang der Verstärkungsregelstufe geführt, die den Strom für die Leuchtdiode des Sensors 2 so nachregelt, daß die Amplituden des Wechselstromanteils bei beiden Photodioden gleich groß sind.

Das „eigentliche“ Meßsignal

Die Gleichspannung aus dem Sensorregelkreis wird weiterhin auf einen Analog-Digital-Umsetzer geführt, der nach dem Dual-Slope-Verfahren arbeitet und dem Mikroprozessor das mit z bezeichnete Meßsignal, die Massedurchfluß-proportionale Phasenverschiebung, liefert.

Die Drift von Sender, Empfänger und Verstärker werden periodisch automatisch überprüft. Dazu wird Sensor 2

ausgeschaltet (gestrichelte Linie). Das vom Sensor 1 kommende Signal durchläuft den Meßzweig, das Ergebnis wird im Mikroprozessor gespeichert. Das im Mikroprozessor integrierte RAM und das EEPROM arbeiten zusammen. Im EEPROM können durch entsprechende Beschaltung eingegebene Parameter überschrieben werden. Diese etwas aufwendige Lösung bietet den Vorteil, daß bei Netzausfall die Daten im EEPROM erhalten bleiben.

Die einzelnen Signalverarbeitungsschritte erfolgen in Zyklen mit bestimmten Taktzeiten, einzelne Funktionseinheiten arbeiten im Multiplex-Verfahren. Die Mittelung erfolgt digital. Auf den Temperaturmeßkreis wird nicht näher eingegangen, da er im Zusammenhang mit dem Thema nicht interessant ist.

Auswertegerät PROCOM

Die Speisung des Meßaufnehmers erfolgt vom Auswertegerät PROCOM. Der Aufnehmer liefert Informationen über Massedurchfluß, Dichte und Temperatur. Vom Auswertegerät kommen Befehle zum Austasten von Störsignalen, zur Schleimengenunterdrückung und zur Meßbereichsumschaltung. Die Signalübertragung erfolgt im ASCII-Code.

Das Auswertegerät besitzt ein Minimum an Frontplatenelementen: Ein LC-Display mit Anzeige in Form von Text, in Ziffern, oder auch als Kombination von beiden, z. B. dem Meßwert als Produkt aus Zahl und Einheit. Parametrierung und Dialog erfolgen im 2-Knopf-Betrieb.

Diese technische Realisierung einer Massedurchflußmeßeinrichtung existiert für mehrere Rohrnennweiten.

Dipl.-Ing. (FH) E. Amberger, Endress + Hauser GmbH + Co. Mes- und Regeltechnik, D-7864 Maulburg.

B. Vögelin, Dipl.-Ing. HTL, Flowtec AG, Durchfluß-Meßtechnik, Postfach, CH-4153 Reinach BL 1.

URZADZENIE WIBRACYJNE DO POMIARU ILOŚCIOWEJ
ZAWARTOŚCI ZANIECZYSZCZEŃ MECHANICZNYCH
I PIASKU W WARUNKACH PRZEPLYWU WODY DRENAŻOWEJ
W ZAPORZE

p r o j e k t w s t ę p n y

Warszawa 11.1989r.

SPIS TREŚCI

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | WSTEP | 3 |
| 1.1 | Przedmiot projektu wstępnego | 3 |
| 1.2 | Symbole przepływomierza | 3 |
| 2. | WYMAGANIA TECHNICZNO-METROLOGICZNE DO MODELU PRZE- PLYWOMIERZA WIBRACYJNEGO MASOWEGO--/PWM/..... | 3 |
| 3. | OMÓWIENIE PODSTAWOWYCH WEZŁÓW WŁASNEGO ROZWIĄZANIA MODELU PRZEPLYWOMIERZA | 5 |
| 3.1 | Projekt wstępny modelu czujnika przepływu | 5 |
| 3.2 | Projekt wstępny programowego układu czujnikowo- | 9 |
| 3.3 | Koncepcja układu pomiarowego | 13 |
| | przetwarzającego | |
| 3.4 | Wstępna propozycja rozwiązania układów sterowania i pomiarów opartych na mikroprocesorze | 17 |
| 4. | ZALĄCZNIKI | 18 |

1. WSTEP.

1.1 Przedmiot projektu wstepnego

Przedmiotem projektu wstepnego jest analiza przyjetaj koncepcji rozwiązania konstrukcyjnego w Założeniach i Wymaganiach do przepływomierza wibracyjnego, masowego.

Podstawą projektu wstepnego są wymagania i wytyczne przedstawione w Założeniach Techniczno-Ekonomicznych.

1.2 Symbole przepływomierza.

Przyjmuje się następujące symbole opracowanych urządzeń

- /PWM/ przepływomierz /P/, wibracyjny /W/, masowy /M/ /00/ nr typu .

/CPWM/-00 czujnik /C/, przepływomierza /P/, wibracyjnego /W/ masowego /M/ :

2. WYMAGANIA TECHNICZNO-METROLOGICZNE DO MODELU PRZEPŁYWOMIERZA WIBRACYJNEGO, MASOWEGO - /PWM/.

Na podstawie przeprowadzonych studiów i rozpoznania problemu pomiarowego przyjmuje się dla budowanego, krajowego modelu przepływomierza wibracyjnego następujące, podstawowe wymagania:

- średnica pojedynczej rury pętli pomiarowej $\varnothing 32$

- zakres pomiarowy przepływu

$$q \text{ min.} = 20 \text{ dcm}^3/\text{min.}$$

$$q \text{ max.} = 600 \text{ dcm}^3/\text{min.}$$

- maks. ciśnienie robocze - 0,6 MPA

- zakres temperatur cieczy mierzonej /wody/

$$+ 4 \text{ do } + 30^{\circ}\text{C}$$

- błąd pomiaru masy cieczy $\pm 2\%$ /od wartości mierzonej/

- błąd pomiaru zawartości cząstek stałych w cieczy $\pm 10\%$,

- przyłącze czujnika przepływu - kołnierzowe o średnicy nominalnej 40 /lub 50 mm/.
- zakres częstotliwości drgań pętli do 100 Hz,
- materiał części czujnika /pętla i łączniki/ powinien być odporny na działanie korozyjne wody /zanieczyszczonej chemicznie/
- zasilanie miernika elektronicznego - 220V, 50Hz,
- spełniane funkcje - przepływomierz powinien mierzyć strumień masy przepływającej wody /przecieków/ oraz sygnalizować graniczne przepływy / q_{min} i q_{max} / - przy czym q_{max} - należy traktować jako maksymalne, dopuszczalne przecieki z punktu widzenia bezpieczeństwa zapory,
- stopień ochrony obudowy miernika elektronicznego co najmniej IP 54 /pyło i bryzgoszczelna/
- sygnał wyjściowy prądowy 0 ÷ 20 mA,
- budowa czujnika - połączenia czujnika /pętli/ powinny być wykonane tak, aby nie powodować zmiany struktury materiału pętli rurowej w jej obszarze poddanym drganiom,
- w czujniku należy, dążyć do uniknięcia ostrych zagięć progów krawędzi itp. powodujących zwiększenie strat ciśnienia.

3. OMÓWIENIE PODSTAWOWYCH WEZŁÓW WŁASNEGO ROZWIĄZANIA MODELU PRZEPLYWOMIERZA.

3.1 Projekt wstępny modelu czujnika przepływu.

Czujnik przepływu CPTM przepływomierza PWM pokazany na rys. 19 i 20 składać się będzie z następujących, głównych zespołów i elementów:

- a/ pętla rurowa pomiarowa
- b/ podstawa główna /korpus główny/ zawierający układ połączenia pętli, zbiorcza komora odpływowa i dopływowa, króćce przyłączeniowe do rurociągu, elementy usztywniające,
- c/ płyta podstaw, - ograniczająca strefę drgań pętli
- d/ konstrukcja wsporcza wzbudnika drgań,
- e/ konstrukcja wsporcza czujników pomiarowych sygnałów wyjściowych,

a) a/ Pętla rurowa pomiarowa.

Kształt podstawowy podwójnej pętli przyjmuje się w postaci zbliżonej do litery "U" /z dwoma promieniami gięcia w dolnej części litery U/.

Na podstawie wstępnej analizy zebranych dotychczas patentów i prospektów istnieje duże prawdopodobieństwo, że zastrzeżenia dotyczące tego kształtu już wygasły lub tracą ważność w niedalekiej przyszłości.

W kraju dotychczas nie istnieją żadne patenty dotyczące przepływomierza masowego, wibracyjnego typu Coriolisa.

Istnieją potencjalne możliwości ^{inne} odmiany konstrukcyjnej tego kształtu, jednak na razie nie wykorzystuje się tej możliwości ponieważ kształt "U" jest najprostrzy konstrukcyjnie i technologicznie. W zasadzie każda zmiana tego kształtu pociąga za sobą pewne dodatkowe utrudnienia konstrukcyjne i technologiczne.

Przymuje się pętlę pomiarową podwójną, z rezonansowymi drganiami, jednakowymi dla obydwóch rur.

Przyjmuje się, że model zbudowany będzie z rur cienkościennych $\varnothing 30 \sqrt{1,1/4}$.

Przewiduje się budowę próbných układów pętli o mniejszych średnicach, celem sprawdzenia różnych układów wzbudzenia.

Zgodnie, z wstępnymi wytycznymi opartymi na analizie patentów i konstrukcji zagranicznych, w obszarze drgań pętli nie będzie żadnych połączeń zmieniających strukturę materiału rury.

ad. b/ Podstawa główna /korpus główny/.

Podstawa główna służy do mocowania pętli pomiarowych, do wprowadzenia do niej cieczy i do podłączenia rurociągu.

Podstawa główna zbudowana jest na sztywnej ramie /łącznik korpusu/ do obu końców, której przyspawane są komory zbiorcze z króćcami kołnierzowymi i kolankami łącznikowymi, prowadzącymi do pętli pomiarowej.

Komora zbiorcza ma kształt rozszerzający się od wlotu /kołnierza/

do wlotów do petli tak, aby objąć wloty obydwu kolan. Kolana wlotowe do petli osadzone są w płycie tylnej komory zbiorczej. Na wlocie obu petli, w ścianie tylnej komory zbiorczej znajdują się stożkowe gniazda wlotowe zmniejszające opory przepływu.

Przewiduje się wykonanie komór zbiorczych technologią składania z płyt i spawania. Docelowo całość podstawy będzie mogła być odlewana.

ad c/ Płyta podstawy o ramie a i c. strefy rur petli

Płyta ta, stanowiąca jeden z ważnych elementów warunkujących utrzymanie parametrów czujnika przepływu zbudowana jest w postaci grubej, sztywnej *plyty* z czterema otworami przez, które przechodzą odcinki rur petli.

Rury petli w ramie unieruchomione będą, albo przez nisko topliwe lutowanie /na srebro/ lub mechanicznie przez odpowiednie pierścienie zaciskowe.

Płyta podstawy połączona jest poprzez spawanie z komorami zbiorczymi i łącznikiem korpusu.

ad. d/ Konstrukcja wsporzą wzbudnika.

Konstrukcję wsporzą wzbudników stanowią cztery płaskie, sztywne ramiona tworzące sztywny układ wysięgnikowy o końcach zamocowanych w narożach petli.

Na zbiegających się końcach wysięgników osadzone są elementy wzbudnika drgań.

Sztywność ramion wysięgnika zapewnia odpowiednia ich grubość i uprofilowanie usztywniające.

Przewiduje się maksymalne zmniejszenie masy wysięgników przez otworowanie. Połączenie wysięgników z petlą nastąpi poprzez

lutowanie lub zebisk mechaniczny.

ad. e/ ~~Konstrukcja wsporcza czujników pomiarowych s, rałów wyjściowy~~

Zasady budowy i montażu konstrukcji wsporczej czujników pomiarowych sygnału są podobne jak w przypadku poprzednim, przy znacznie mniejszych wymiarach.

Kształt tych wsporników zostanie dobrany przy budowie modelu w zależności od posiadanych magnesów i ich kształtu.

Problemy materiałowe.

Przewiduje się zastosowanie następujących materiałów:

- pętle pomiarowe - rura, w gat. 1H18N9T / \varnothing 30/
- komory zbiorcze - płyty $\neq 6 \div 8$ mm, w gat. 1H18N9T
- króćce przyłączeniowe, stal St 3S /cynkowana/
- łącznik korpusu, płyta $\neq 8 \div 10$ mm St 3S /cynkowana/
- konstrukcja wsporcza wzbudników i czujników pomiarowych sygnału, blacha $\neq 1,5 \div 2$ mm, w gatunku 1H18N9T /niemagnetyczna/.

Uwagi ogólne.

Zaproponowana w projekcie koncepcja rozwiązania całości czujnika i poszczególnych węzłów jest optymalna, w aktualnych warunkach /na poziomie aktualnego rozpoznania stanu techniki i problemów konstrukcyjnych i wykonawczych/.

Konstrukcja charakteryzuje się takimi zaletami jak:

- zminimalizowaniem oporów przepływu,
- sztywnością konstrukcji,
- dobrą technologicznością,
- możliwością wprowadzenia w przyszłości wydajnych technologii jak np. odlewanie.

23

Ponadto zaproponowane rozwiązania pozwalają już uwzględnić wielu zagrożeń patentowych jak:

- w konstrukcji podstawy głównej, która w postaci jednolitej jest obłożona różnymi zastrzeżeniami,
- w sposobie osadzenia końcówek pętli w podstawie głównej,
- w kształcie i miejscu mocowania konstrukcji wsporzej, wzbudnika. Nie napotkano dotychczas podobnego ich kształtu i takiego miejsca mocowania do pętli,
- w kształcie komór zbiorczych i w zasadzie rozdzielenia ich na dwa zespoły.

Wszystkie dotychczas znane konstrukcje posiadają te komory zblokowane w jednym korpusie.

3.2 Projekt wstępny programowanego układu czujnikowo-przetwarzającego.

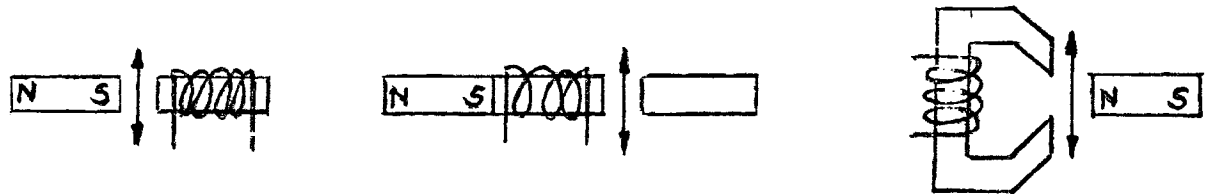
Czujniki.

Jako najbardziej niezawodne i proste w konstrukcji proponuje się czujniki magnetyczno-indukcyjne reagujące na prędkość ruchu. Jak wynika z literatury, czujniki tego typu stosowane są w produkowanych wyrobach z całkowicie dobrym skutkiem.

Czujnik taki składa się z magnesu stałego po jednej stronie oraz cewki z rdzeniem po drugiej stronie, albo też cewka z rdzeniem i magnesem znajduje się po jednej stronie, względnie

między sobą ruchomych elementów drgających, a po drugiej stronie znajduje się tylko bierna masa magnetyczna. Układ musi być taki, aby maksimum sygnału powstawało przy maksimum prędkości ruchu, a wartości zerowe, aby powstawały w krańcowych położeniach części drgających.

Szczegóły konstrukcji czujników można pozostawić indywidualnej inwencji konstruktora, gdyż może tu istnieć duża dowolność, podstawowym jedynie warunkiem jest spełnienie podanych powyżej zasad działania zespołu czujnikowego. Zasady te najlepiej obrazuje rysunek, pokazujący trzy główne rodzaje czujników.



Dość istotną sprawą jest zamocowanie obu wzajemnie ruchomych części czujnika na obu symetrycznych pętłach rurowych, czy obu rurach w układzie równoległym. Szczególną uwagę należy zwrócić na sztywne i zwarte wykonanie uzwojeń cewek oraz zamocowanie rdzeni, aby w wyniku drgań nie powstały luzy prowadzące po pewnym czasie do uszkodzeń. Należy przewidzieć w konstrukcji takie rozłożenie mas, aby nie naruszyć równości częstotliwości własnych obu układów rurowych. Możliwość dopasowania tych dwu częstotliwości powinna być przewidziana z góry w układzie drgającym.

Ważną sprawą jest miejsce zamocowania obu czujników /umownie można je nazwać lewym i prawym/. w przypadku pętli, czujniki powinny być zamocowane w pobliżu miejsc o największej amplitudzie ruchu, lecz jeszcze na części prostoliniowej, tuż przed łukiem rur. „ w przypadku zaś układu rur równoległych czujniki

powinny być zamocowane w takim miejscu, gdzie powstają największe różnice w położeniu rur przy ruchu w kierunku na zewnątrz i do wewnątrz. Miejscem takim jest odległość $1/4$ długości rur od jednego i drugiego punktu zamocowania rur.

Urządzenie wzbudzające w postaci elektromagnesu i masy przez niego przyciąganej mieści się w dużym zakresie swobody konstrukcyjnej. Może ono być skonstruowane jako wzbudnik o sile jednokierunkowej, jak również i dwukierunkowej. Zamocowanie wzbudnika jest dość dowolne, nie musi być on umieszczony w obszarze największych amplitud; może być również i w strefie mniejszych amplitud, ale pod warunkiem wytwarzania dostatecznej wielkości siły.

Problem rozłożenia mas na obu częściach wzbudnika i uzyskania zgodności rezonansu obu symetrycznych części drgających jest identyczny jak i w przypadku czujników.

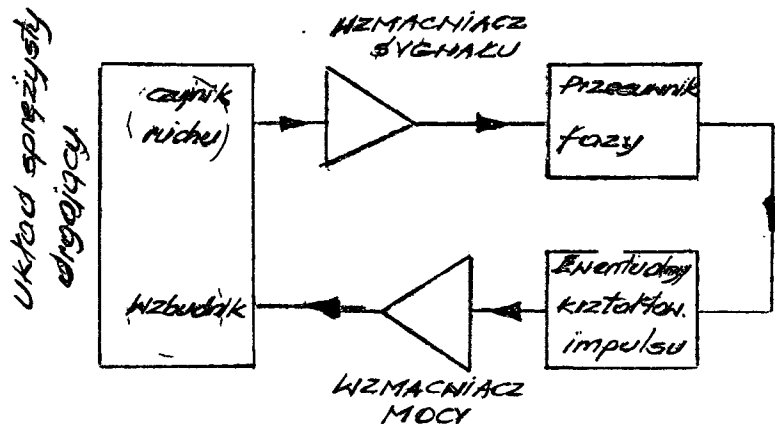
Układ wzbudzający.

Układ wzbudzający służy do podtrzymania drgan rur czujnika przepływu. Składa się on z conajmniej jednego czujnika i wzbudnika elektromagnetycznego, wywierającego impulsy siłowe na części ruchome układu drgającego w odpowiedniej fazie ruchu. Układ ten jest typowy dla wszelkich urządzeń wibracyjnych o pobudzeniu elektrycznym, w których podtrzymanie drgań uzyskuje się drogą elektromechanicznego dodatniego sprzężenia zwrotnego.

Podstawowymi składnikami układu wzbudzającego są następujące elementy:

- czujnik
- wzbudnik
- wzmacniacz
- przesuwnik fazowy

Elementy te tworzą układ zamknięty sprzężeniem zwrotnym, który podtrzymuje drgania odbywające się z częstotliwością rezonansowa. Układ złożony z zasadniczych elementów pokazany jest na poniższym schemacie blokowym. W niektórych przypadkach



korzystne jest dodanie w układzie bloku kształtowania szerokości impulsu. Jest to zależne od indywidualnego podejścia konstruktora. Impuls proporcjonalny do prędkości, po przesunięciu fazowym może stanowić już podstawę do ukształtowania impulsu wzmacnionego, zasilającego wzбудnik. Przesunięcie fazowe, w tym przypadku korzystnie jest dokładnie wyoptymalizować, tak żeby impuls siłowy wpadał we właściwą fazę ruchu układu drgającego. Zazwyczaj przesunięcie fazowe wynosi wtedy nie 90° , lecz nieco więcej. Jednak jest to sprawa pewnego rodzaju "ekonomii energetycznej", która w tym przypadku, bardzo małych energii ma nieistotne znaczenie, tak że jeśli przesuwnik fazowy będzie realizował przesunięcie o 90° , to układ również będzie pracował. Należy podkreślić, że rozważanie powyższe ma charakter ideowy, w praktycznym rozwiązaniu konieczne jest rozpatrzenie wszystkich przesunięć fazy i opóźnień wprowadzonych przez elementy układu, tak aby impuls siły wpadał we właściwą fazę. Jest to jednak zadanie dla konstruktora na czas projektowania konkretnego układu.

67

Ważną sprawą jest również określenie wielkości siły jaką wywierać musi wzbudnik, dla podtrzymania drgań własnych układu masowo sprężystego. Przy projektowaniu konkretnego układu drgającego konieczne jest uwzględnienie dobroci układu drgającego i wyliczenie wielkości masy impulsu. Projektując zaś wzbudnik i wzmacniacz w modelu konieczne jest przyjęcie na wszelki wypadek zwiększonej mocy. Można podejść do tego problemu również w następujący sposób. Założyć z dużym zapasem siłę wzbudnika, a we wzmacniaczu mocy pozostawić możliwość dopasowania mocy impulsu poprzez wielkość prądu we wzbudniku i poprzez szerokość impulsu. Przy pewnym doświadczeniu konstruktorskim można przy tej metodzie uzyskać pozytywne rezultaty.

3.3 Koncepcja układu pomiarowego.

Zadaniem układu pomiarowego jest przetworzenie sygnałów z czujników, tak aby uzyskać sygnał użyteczny, proporcjonalny do strumienia masy płynu, płynącego przez czujnik przepływomierza. Zależność podstawową przetwarzania reprezentuje równanie wyrażające przepływ masy:

$$Q_m = \frac{K_s C}{f_0} \operatorname{tg} (\Delta \theta - \Delta \theta_0) ;$$

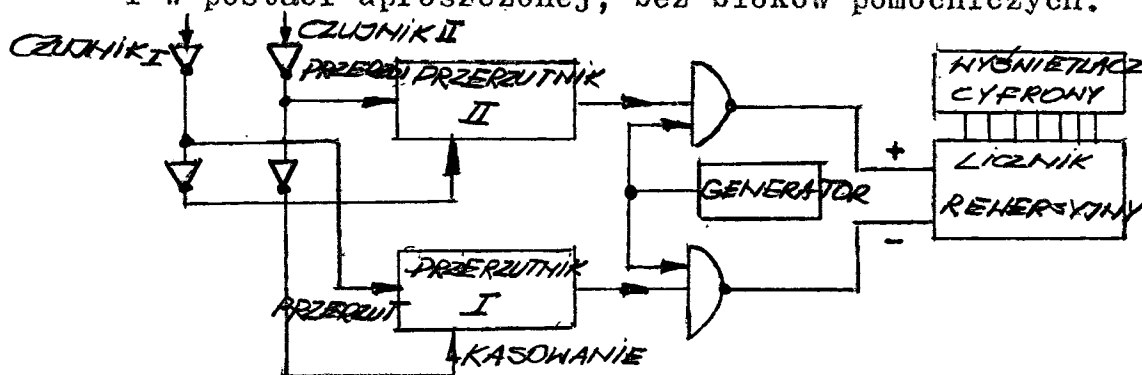
gdzie K_s - stała układu sprężystego, C - stała wzorcowania, f_0 - częstotliwość drgań własnych układu bez przepływu

kąty $\Delta \theta$ i $\Delta \theta_0$ są przesunięciami fazowymi impulsów z czujników ruchu przy przepływie i bez przepływu. W przypadku bardzo małych kątów z jakimi mamy do czynienia można z dostatecznie precyzyjnym przybliżeniem założyć, że $\operatorname{tg} \Delta \theta = \Delta \theta$.

Postać impulsów z sygnałów z czujników ruchu i ich wzajemne położenie wraz z sygnałami różnicy przedstawia poniżej rysunek gdzie z lewej pokazano sytuację bez przepływu, a z prawej

sytuację podczas przepływu płynu przez rury przepływomierza. Przetworzenia sygnałów, tak aby otrzymać różnicę szerokości impulsów, można dokonać na drodze całkowania i różnicowania ^{zk} sygnałów analogowych, albo na drodze operacji dyskretnej. Ponieważ z operacji dyskretnej otrzymać można sygnał cyfrowy, ten sposób uważa się za korzystniejszy. Późniejsze zaś uzyskanie analogowego sygnału wyjściowego umożliwia zastosowanie przetwornika a/c, posługując się którymś ze znanych układów scalonych.

Podstawowy układ blokowy przedstawiony jest na rysunku poniżej i w postaci uproszczonej, bez bloków pomocniczych.



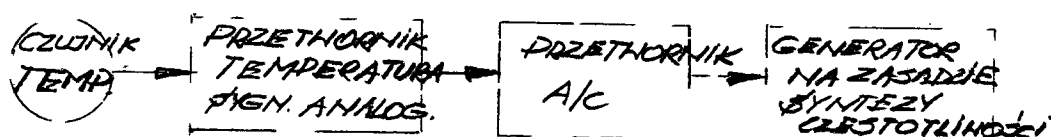
Idea tego układu sprowadza się do pomiaru różnicy szerokości impulsów w sposób cyfrowy poprzez zliczanie impulsów z generatora w okresach określonych przesunięciem impulsów czujnika ruchu I i czujnika ruchu II.

Przetworzenie sygnału cyfrowego na analogowy sygnał wyjściowy oraz przystosowanie do współpracy z komputerem /przyłączenie do magistrali/ nie wymaga omawiania w ramach opisu ^{tej} koncepcji. Przepływomierz typu Coriolisa, jak wynika z podstawowej zależności, podlega wpływom temperatury poprzez zmiany właściwości sprężystych układu drgającego /zmiany współczynnika K_s /. Dlatego też wskazana jest kompensacja temperatury. Czujnik temperatury jaki trzeba umieścić w przepływomierzu jest typu konwencjonalnego i nie trzeba go ^{tu} szczegółowo rozważać.

Najprostszym sposobem wpływania na sygnał jest zmiana częstotliwości generatora.

Zrealizować to można w ten sposób, że generator pracuje na zasadzie syntezy częstotliwości, która sterowana jest słowem conajmniej 7-bitowym wytwarzanym z sygnału temperatury.

Blokowo przedstawia to poniższy schemat.



Układ tego rodzaju wydaje się, po rozważeniu szczegółów, niezbyt skomplikowany. Ma jednak zaletę, że zapewnia dobrą stabilność i dokładność, gdyż synteza częstotliwości może być oparta na kwarcu. W przypadku, gdyby konieczne było realizowanie nieliniowej funkcji korekcyjnej, pomiędzy przetwornik a/c a syntezę należało by wstawić pamięć EPROM, której sygnał wejściowy był by adresem, a zawartość sygnałem sterującym syntezę.

W przypadku, gdyby układ oparty był na technice mikroprocesorowej, problem korekcji temperaturowej znacznie się upraszcza, bo ogranicza się tylko do czujnika i przetwornika temperatury. Układ pomiaru gęstości, jaki konieczny jest w przypadku przepływomierza typu "Coriolisa" sprowadza się do miernika częstotliwości z odpowiednią skalą przetwarzania.

W przypadku pomiaru gęstości, który tutaj odbywa się poprzez pomiar częstotliwości drgań własnych układu rur, również konieczna jest korekcja od temperatury. Jeśli przyjmiemy za podstawę pomiaru okres drgań T , to zastosować możemy następującą zależność określającą gęstość płynu .

$$\rho = AT^2 - BT - C,$$

gdzie A, B, C są wielkościami stałymi, charakterystycznymi dla danego przyrządu. Zależność powyższa stanowi krzywą drugiego stopnia, lecz w praktyce, w stosowanych zakresach pomiarowych można z dobrym przybliżeniem założyć, że jest to zależność liniowa. Takie podzakresy to np: zakres dla cieczy od 500 do 2000 kg/m³, dla gazów od 40 do 150 kg/m³, albo 15 do 50 kg/m³, lub 6 do 18 kg/m³ i 2,5 do 7 kg/m³, oraz najmniejszy 1 do 3 kg/m³. Doświadczalnie uzyskane charakterystyki gęstościomierzy wibracyjnych potwierdzają możliwość przyjęcia liniowości w takich wąskich podzakresach.

Ponieważ pomiar okresu /który jest zadaniem konwencjonalnym/ wymaga zastosowania dokładnego generatora, to również i w tym przypadku możemy wprowadzić korekcję temperatury wpływając sygnałem temperatury na częstotliwość generatora. Sposób realizacji tego przedstawiono przy omawianiu układu pomiaru przepływu.

W przypadku realizacji układu pomiarowego w technice mikroprocesorowej problem pomiaru gęstości znacznie się zmniejsza, gdyż sprawdza się tylko do zapewnienia odpowiednich wejść i wyjść sygnałowych oraz odpowiedniego oprogramowania.

Przy projektowaniu układu modelowego proponuje się ograniczyć tylko do części obejmującej pomiar przepływu. Dopiero przy prototypach konieczne będzie opracowanie pełnego układu pomiarowego wg podanych powyżej założeń. Układ zaś mikroprocesorowy może być opracowany w dalszej kolejności jako doskonalsza i dokładniejsza wersja dla prototypów. Decyzję o ewentualnym podjęciu opracowania pomiarowego układu mikroprocesorowego podejmie się w etapie prototypowym opracowania przepływomierza.

3,4 wstępna propozycja rozwiązania układów sterowania i pomiarów opartych na mikroprocesorze.

W części elektronicznej przepływomierza, przeznaczonej do przetwarzania sygnałów zbieranych z czujników, umieszczonych zgodnie z wcześniejszymi opisami na obydwu ramionach wygiętych rur, przewiduje się zastosowanie układu mikroprocesorowego. Mikroprocesor spełniać będzie rolę układu sterującego cyklem pomiarowym, zliczającym różnicę lub sumę interwałów czasowych z obydwu impulsów prędkości oraz przetwarzającym wyniki zliczania na wielkość przepływającej masy. Umożliwił by on również obliczanie gęstości przepływającego płynu jako funkcji drgań rezonansowych rur. Sterowanie pomiarem oraz przetwarzanie odbywałoby się zgodnie z programem zapisanym w pamięci stałej.

Zastosowanie mikroprocesora umożliwił będzie również współpracę z komputerem lub kalkulatorem programowanym, co zapewni możliwość szerszej interpretacji parametrów przepływu.

Mikroprocesor może również zapewnić automatyczną kalibrację przyrządu oraz korekcję temperaturową. Przewiduje się zastosowanie osmio bitowego mikroprocesora typu 8051, co umożliwi programową obsługę transmisji danych do komputera.

Wykorzystanie mikroprocesora zapewni znaczne uproszczenie /zmniejszenie ilości elementów/ oraz zwiększenie ilości funkcji realizowanych przez przyrząd.

Przewiduje się możliwość wykorzystania modułu mikroprocesorowego SMP-08 opracowanego i przeznaczonego do pomiaru czujników strunowych, po wprowadzeniu niezbędnych zmian układowych i po opracowaniu całkowicie nowego programu. Prace te będą prowadzone na etapie prototypów.

Where V_p is the velocity of pipe at position of optical pickoffs and Δt is the time interval that photo pick-off P_1 leads or lags P_2 .

V_p , the vertical velocity of the end of the C-pipe, depends on the angular velocity (ω):

$$V_p = L\omega \quad (9)$$

Where L is the length of the C-shaped pipe. Combining equations (8 and 9):

$$\theta = \frac{L\omega\Delta t}{2r} \quad (10)$$

Combining equations (7 and 10):

$$Q = \frac{KsL\omega\Delta t}{8r^2} = \frac{KsL}{8r^2} \Delta t \quad (11)$$

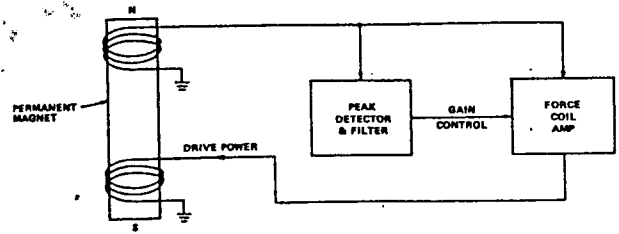
The mass flow rate is seen to be a function of pipe geometry constants and Δt , the time interval between photo-pulses. It can also be shown that, if the pipe has a zero-flow deflection angle- θ_0 , this error is easily removed by comparing the time interval Δt_1 of the downward pipe movement with time interval Δt_2 of the upward pipe movement. If a "no-flow" condition exists, these time intervals subtract out, whereas a fluid flowing in the pipe causes different time intervals (depending on the direction of angular travel) that are detected as flow-induced pipe moments.

An important feature of the optical detection system is that deflection-angle measurements are made near the center position of the C-pipe travel. This is important because this is the time when the velocity and the deflection angle are the greatest. Also, this center position of the C-pipe is the position where the angular acceleration of the pipe is near zero, and any unbalance between pipes is least likely to cause an angular deflection that could be interpreted as a flow signal.

Mechanical configuration

The mechanical configuration of the gyroscopic mass flow meter is shown in Figure 1.

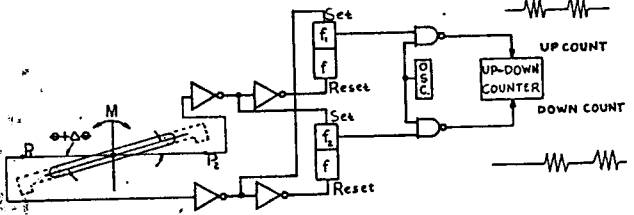
The T-shaped leaf spring is clamped or welded to the stationary inlet/outlet end of the C-shaped flow pipe. A magnetic sensor/forcer coil is mounted on the leg of the leaf spring. A permanent magnet, suspended from the center of the C-shaped pipe, passes through the middle of the sensor/force coil. In operation, the velocity of the leaf spring relative to the C-pipe generates a voltage in the sense coil that is amplified and used to drive the concentric force coil. The force-coil amplifier is gain-controlled using a peak-detector circuit that compares the peak-velocity signal from the sense coil with a reference voltage (Figure 7).



(Figure 7)

Mass flow rate logic

Figure 8 illustrates a slightly warped "C" pipe with two photo pick-offs and some circuitry:

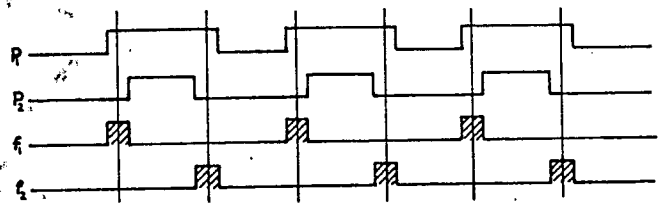


(Figure 8)

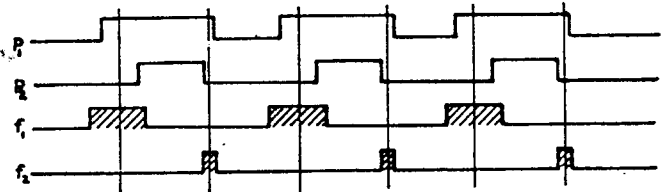
Photo pick-off logic circuit

Figure 9 is a timing diagram illustrating the photo pick-off wave forms P_1 and P_2 and also the flip-flop wave forms f_1 and f_2 for both a flow and a no-flow condition of the unit:

No flow condition.

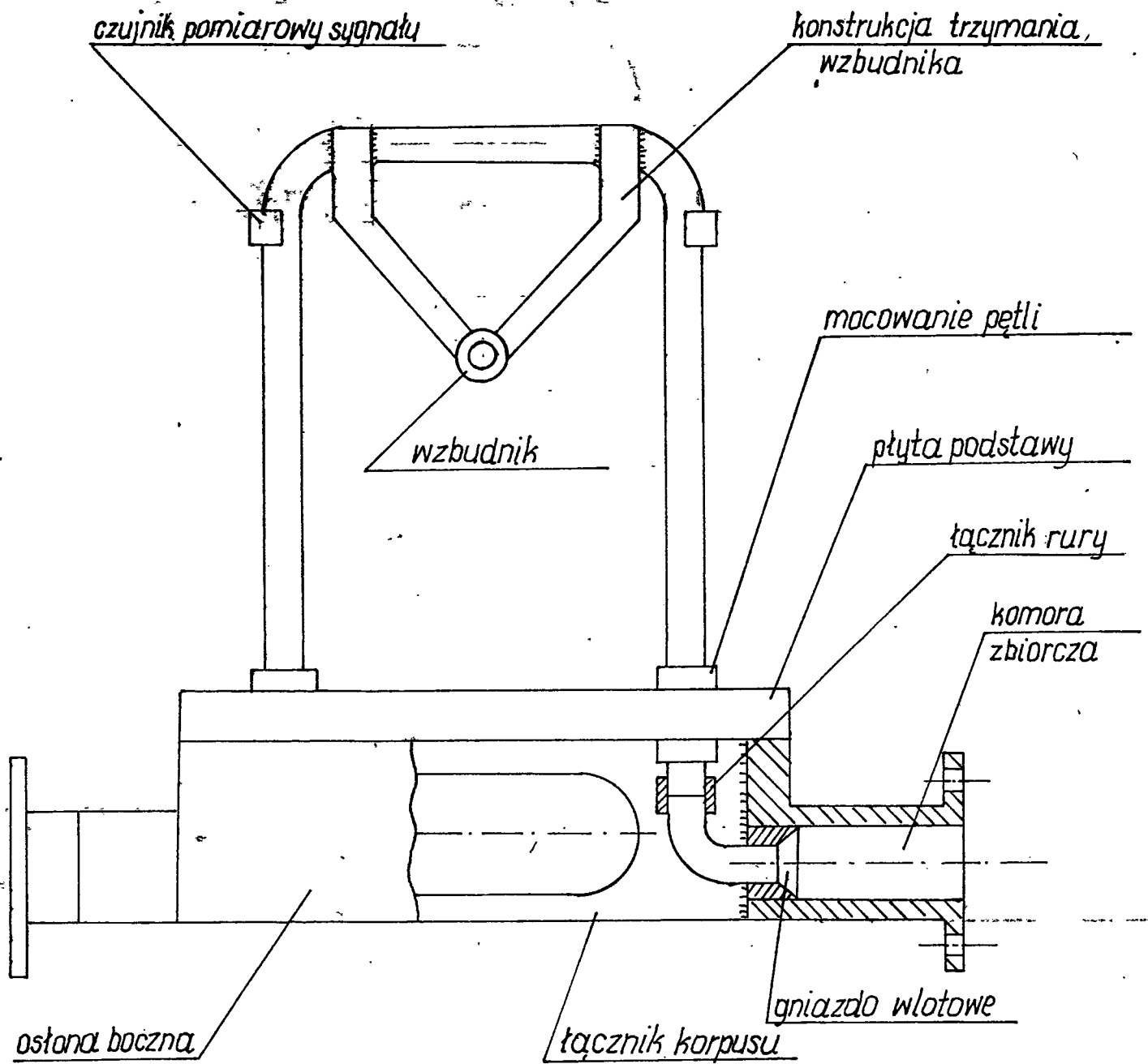


Flow condition

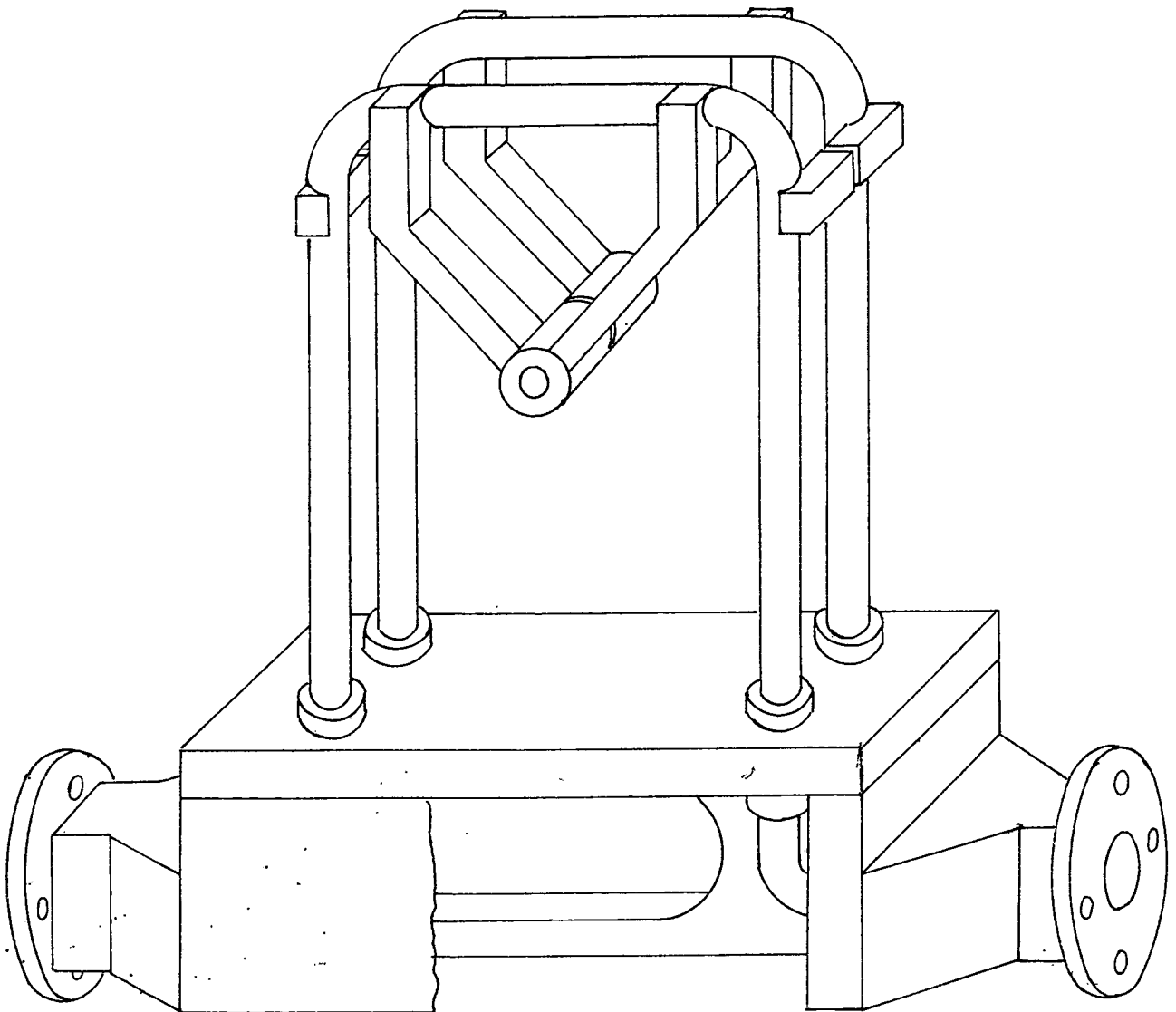


Rys.1 (Figure 9)

Projekt wstępny



Rys.2 Model czujnika przepływomierza masowego-wibracyjnego.



Rys.3 Model czujnika przepływomierza masowego-wibracyjnego.