RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **179157**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **312048**

(22) Data zgłoszenia: **22.12.1995**

(51) IntCl[7]:
G01F 1/68
G01P 5/10

(54) **Sposób termicznego pomiaru natężenia przepływu płynu oraz miernik termorezystancyjny do pomiaru natężenia przepływu płynu**

(43) **Zgłoszenie ogłoszono:**
23.06.1997 BUP 13/97

(45) **O udzieleniu patentu ogłoszono:**
31.07.2000 WUP 07/00

(73) **Uprawniony z patentu:**
Magońska Alina, Kraków, PL
Magoński Zbigniew, Kraków, PL
Nowak Stanisław, Kraków, PL

(72) **Twórcy wynalazku:**
Alina Magońska, Kraków, PL
Zbigniew Magoński, Kraków, PL
Stanisław Nowak, Kraków, PL

(57) 2. Miernik termorezystancyjny do pomiaru natężenia przepływu płynu, zawierający korpus wykonany z materiału o dobrej przewodności cieplnej stanowiący element przejściowy pomiędzy przewodami prowadzącymi płyn a płaskim ceramicznym podłożem, który stanowi jednocześnie główny element mocujący i schładzający ceramiczne podłoże na powierzchni którego nałożone są warstwowe rezystory grzewcze i pomiarowe, **znamienny tym**, że ma uformowany na podłożu ceramicznym **(P)** kanał **(1)**, prowadzący płyn, korzystnie umiejscowiony wzdłuż trzech boków ceramicznego podłoża **(P)**, na powierzchni wewnętrznej kanału **(1)** stanowiącej fragment ceramicznego podłoża **(P)** ma trzy warstwowe rezystory grzewczo-sensorowe **(2)**, **(4)**, **(5)**, z których dwa stanowią pomiarowe rezystory grzewczo sensorowe **(4)**, **(5)** oraz rezystor pomiarowy **(3)** umiejscowiony na powierzchni ceramicznego podłoza **(P)** w pobliżu czwartego boku połączonego z korpusem **(K)**, rezystory **(2)**, **(3)**, **(4)**, **(5)** wchodzą w skład dwóch pomiarowych elektrycznych mostków Wheatstone'a, wyjścia mostka pierwszego połączone są z komparatorem **(8)**, którego wyjście połączone jest z wejściem przerzutnika **(11)**, który poprzez bramki **(9)**, **(10)** połączony jest z łącznikami **(12)**, **(13)** dołączonymi do pomiarowych rezystorów grzewczo sensorowych **(4)**, **(5)**, natomiast węzły pomiarowe drugiego mostka Wheatstone'a połączone są z komparatorem **(15)**, którego wyjście połączone jest z wejściem przerzutnika **(16)**, którego wyjście dołączone jest do łącznika **(17)**, który z kolei połączony jest poprzez element indukcyjny **(18)** z węzłem zasilającym pomiarowe elektryczne mostki Wheatstone'a, przy czym do węzła pomiarowego drugiego mostka do którego dołączony jest rezystor grzewczo sensorowy **(2)** dołączony jest także łącznik **(14)**.

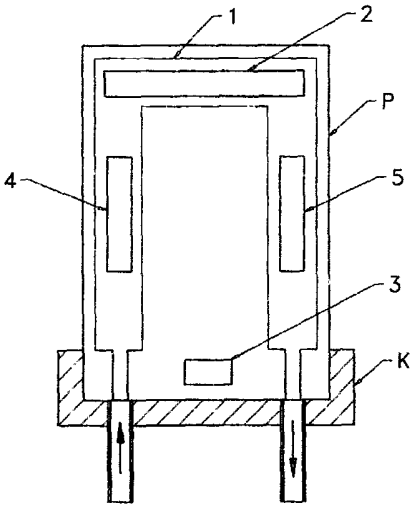

Fig. 1

PL 179157 B1

Sposób termicznego pomiaru natężenia przepływu płynu oraz miernik termorezystancyjny do pomiaru natężenia przepływu płynu

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób termicznego pomiaru natężenia przepływu płynu, polegający na pomiarze ilości ciepła przenoszonego przez płyn pomiędzy podgrzanymi obszarami struktury ceramicznej, którego ilość jest proporcjonalna do natężenia przepływu płynu, **znamienny tym,** że podgrzewa się ceramiczne podłoże **(P)** za pomocą co najmniej trzech rezystorów grzewczo-sensorowych **(2)**, **(4)**, **(5)**, z których dwa są pomiarowymi rezystorami grzewczo-sensorowymi **(4)**, **(5)**, umieszczonych na części powierzchni ceramicznego podłoża **(P)**, która stanowi także powierzchnię wewnętrzną kanału **(1)** i jednocześnie schładza się ceramiczne podłoże **(P)** co najmniej od strony jednego boku poprzez połączenie go z elementem rozpraszającym ciepło, następnie przepuszcza się płyn kanałem **(1)** umiejscowionym na ceramicznym podłożu **(P)**, przy czym płyn wprowadza się do kanału **(1)** od tej strony ceramicznego podłoża **(P)**, z której jest ono schładzane, następnie kompensuje się, za pomocą pierwszego pomiarowego rezystora grzewczo-sensorowego **(4)** ubytek ciepła spowodowany ruchem płynu w pierwszym odcinku kanału **(1)** znajdującym się pomiędzy bokiem schładzania a strefą nagrzewania drugiego rezystora grzewczo-sensorowego **(2)** oraz za pomocą trzeciego pomiarowego rezystora grzewczo-sensorowego **(5)** kompensuje się spowodowaną ruchem płynu nadwyżkę ciepła w trzecim odcinku kanału, znajdującym się pomiędzy strefą nagrzewania drugiego rezystora grzewczo sensorowego **(2)** a bokiem schładzania ceramicznego podłoża **(P)**, przy czym proces kompensacji realizuje się krokowo za pomocą pojedynczych prostokątnych impulsów cieplnych, a po każdym dostarczonym impulsie cieplnym, w czasie gdy oba pomiarowe rezystory grzewczo-sensorowe **(4)**, **(5)** są odłączone od źródła napięcia stałego, za pomocą komparatora **(8)** dokonuje się porównania rezystancji pomiarowych rezystorów grzewczo-sensorowych **(4)**, **(5)**, które na czas komparacji załącza się do pomiarowego mostka Wheatstone'a i w zależności od wyniku porównania w kolejnym cyklu podgrzewa się pomiarowy rezystor grzewczo-sensorowy o niższej temperaturze przez dostarczenie pojedynczego impulsu napięciowego o ustalonym czasie trwania, przy czym procesy porównania i podgrzewania realizuje się cyklicznie z częstotliwością powtarzania większą niż 5 kHz, jednocześnie w ustalonym przedziale czasowym wielokrotnie większym od okresu powtarzania, zlicza się liczby impulsów dostarczonych do każdego z pomiarowych rezystorów grzewczo sensorowych **(4)**, **(5)** i oblicza się różnicę dostarczonych impulsów dla ustalonego przedziału czasowego, która jest wprost proporcjonalna do ilości ciepła przeniesionego przez płyn i jest miarą natężenia przepływu płynu.

2. Miernik termorezystancyjny do pomiaru natężenia przepływu płynu, zawierający korpus wykonany z materiału o dobrej przewodności cieplnej stanowiący element przejściowy pomiędzy przewodami prowadzącymi płyn a płaskim ceramicznym podłożem, który stanowi jednocześnie główny element mocujący i schładzający ceramiczne podłoże na powierzchni którego nałożone są warstwowe rezystory grzewcze i pomiarowe, **znamienny tym,** że ma uformowany na podłożu ceramicznym **(P)** kanał **(1)**, prowadzący płyn, korzystnie umiejscowiony wzdłuż trzech boków ceramicznego podłoża **(P)**, na powierzchni wewnętrznej kanału **(1)** stanowiącej fragment ceramicznego podłoża **(P)** ma trzy warstwowe rezystory grzewczo-sensorowe **(2)**, **(4)**, **(5)**, z których dwa stanowią pomiarowe rezystory grzewczo sensorowe **(4)**, **(5)** oraz rezystor pomiarowy **(3)** umiejscowiony na powierzchni ceramicznego podłoża **(P)** w pobliżu czwartego boku połączonego z korpusem **(K)**, rezystory **(2)**, **(3)**, **(4)**, **(5)** wchodzą w skład dwóch pomiarowych elektrycznych mostków Wheatstone'a, wyjścia mostka pierwszego połączone są z komparatorem **(8)**, którego wyjście połączone jest z wejściem przerzutnika **(11)**, który poprzez bramki **(9)**, **(10)** połączony jest z łącznikami **(12)**, **(13)** dołączonymi do pomiarowych rezystorów

grzewczo sensorowych **(4)**, **(5)**, natomiast węzły pomiarowe drugiego mostka Wheatstone'a połączone są z komparatorem **(15)**, którego wyjście połączone jest z wejściem przerzutnika **(16)**, którego wyjście dołączone jest do łącznika **(17)**, który z kolei połączony jest poprzez element indukcyjny **(18)** z węzłem zasilającym pomiarowe elektryczne mostki Wheatstone'a, przy czym do węzła pomiarowego drugiego mostka do którego dołączony jest rezystor grzewczo sensorowy **(2)** dołączony jest także łącznik **(14)**.

* * *

Przedmiotem wynalazku jest sposób termicznego pomiaru natężenia przepływu płynu oraz miernik termorezystancyjny do pomiaru natężenia przepływu płynu o dużej szybkości pomiaru i zwiększonej dokładności, znajdujący zastosowanie przy dozowaniu cieczy i gazów w procesach technologicznych.

Dokładność pomiaru i szybkość reakcji urządzeń termicznych do pomiaru natężenia przepływu jest silnie ograniczona wieloma czynnikami takimi jak lepkość płynu, wielkość powierzchni wymiany ciepła, prędkość płynu i poprzeczny rozkład prędkości. Czynniki te bezpośrednio wpływają na zależność pomiędzy natężeniem przepływu a ilością ciepła wymienionego. Przy pomiarze przepływu jest niezmiernie istotne aby przepływ płynu przez kanał pomiarowy był laminarny w całym zakresie pomiarowym. Ze względu na proces wymiany ciepła jest korzystne aby powierzchnia wymiany ciepła była jak największa przy jednocześnie dużym stosunku długości kanału do długości obwodu przekroju poprzecznego. Korzystne jest aby przed procesem wymiany ciepła nastąpiła stabilizacja poprzecznego rozkładu prędkości płynu, co wymusza dalsze wydłużenie kanału pomiarowego. Z tego też względu w najlepszych profesjonalnych urządzeniach pomiarowych stosuje się kapilarę jako kanał pomiarowy, która przy dużym stosunku długości kanału do obwodu przekroju poprzecznego zapewnia dostateczną powierzchnię wymiany ciepła a dodatkowy wstępny tejże kapilary umożliwia stabilizację poprzecznego rozkładu prędkości płynu. Przy braku przepływu płynu profil temperatury wzdłuż kanału w czujniku z kapilarą ma kształt odwróconej paraboli. W tym stanie średnie temperatury grzejników są jednakowe. Przepływ płynu spowoduje zmianę rozkładu temperatury, czyli przesunięcie wierzchołka paraboli w kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu płynu. Wystąpi więc różnica temperatury w obu grzejnikach, która będzie się zmieniać wraz z szybkością przepływu.

Znany jest z amerykańskiego opisu patentowego nr US 4 517 838, czujnik przepływu działający według opisanego wyżej sposobu, który posiada kapilarę pomiarową umiejscowioną w kanale wyżłobionym w korpusie wykonanym z materiału o dobrej przewodności cieplnej. Na kapilarze nawinięto dwie grzałki z drutu żelazowo niklowego o średnicy 0,015 mm i rezystancji 360 Ω. Wymienione rezystory pomiarowe w połączeniu z dodatkowymi dwoma rezystorami polaryzującymi stanowią mostek Wheaststone'a. Na skutek przepływu płynu nastąpi przeniesienie ciepła z obszaru jednego grzejnika do obszaru drugiego grzejnika. Ciepło przeniesione przez płyn spowoduje wzrost temperatury w otoczeniu drugiego rezystora. Ponieważ grzejniki wykonane są z drutu o dużym temperaturowym współczynniku rezystancji 0,4%/K na zaciskach pomiarowych mostka powstanie różnica napięcia proporcjonalna do szybkości przepływu płynu. Stosunkowo niewielki napięciowy sygnał wyjściowy (20 ÷ 100 mV) poddaje się procesowi filtracji, wzmacniania i konwersji analogowo cyfrowej. Czujnik przepływu z kapilarą pomiarową, chociaż z punktu widzenia mechaniki płynów zapewnia korzystne warunki pomiaru, nie zapewnia automatycznie, bez dodatkowej kompensacji, dobrej liniowości. Wadą tego typu czujnika jest stosunkowo duża bezwładność. W celu zwiększenia szybkości reakcji czujnika stosuje się cienkie kapilary pomiarowe, których średnice wewnętrzne wynoszą około 0,25 mm i grubości ścianek kapilary około 0,05 mm. Pomimo tak małych wymiarów stała czasowa czujnika jest nadal stosunkowo duża i wynosi w najlepszym przypadku około 2 sekund przy względnym błędzie 37,2%.

Znany jest z amerykańskiego opisu patentowego US 4 566 320 czujnik ciśnienia lub przepływu wykonany w technologii monolitycznej, gdzie na płytce krzemowej umieszczono

grzejnik i dwa rezystory pomiarowe mierzące różnicę temperatury po obu stronach grzejnika. Czujnik posiada także układ kompensacji wpływu temperatury otoczenia na parametry wyjściowe. Temperaturę otoczenia mierzy się za pomocą rezystora wrażliwego na zmiany temperatury, oddzielonego od pomiarowej struktury monolitycznej. Czujnik tego typu najczęściej umieszcza się w kanale pomiarowym. Pomimo małych wymiarów czujniki tego typu nie nadają się do pomiaru małych natężeń przepływów. Z uwagi na bardzo krótkie odcinki wymiany ciepła z mierzonym płynem z reguły nieliniowości tego typu czujników są bardzo duże.

Znany jest z polskiego opisu patentowego nr PL 166471 sposób cieplnego pomiaru małych przepływów dokonywany przez pomiar różnicy temperatur przed i za grzejnikiem umieszczonym na rurce pomiarowej, polegający na tym, że dokonuje się jednoczesnego pomiaru szeregu wielkości pomiarowych. Pierwszą wielkość stanowi różnica temperatury pomiędzy temperaturą wlotową płynu w obszarze wlotowym rurki pomiarowej, a temperaturą ścianki na rurce pomiarowej tuż za grzejnikiem. Druga wielkość, będącą parametrem opisującym wpływ otoczenia rurki, stanowi różnica temperatury pomiędzy temperaturą wlotową płynu, a temperaturą otoczenia rurki wokół grzejnika. Trzecią wielkość stanowi temperatura wlotowa płynu w obszarze przed rurką pomiarową. Czwartą wielkość stanowi wartość zmierzonej mocy pobieranej przez grzałkę w danej chwili pomiaru. Następnie wielkość pierwszego pomiaru porównuje się z odpowiednim wynikiem wyznaczonym na drodze rozwiązania numerycznego równań bilansu masy, pędu i energii, dopasowując tak badane natężenie przepływu w procesie obliczeń by spełniony był warunek równości obliczonej i zmierzonej wielkości.

We wszystkich opisanych w opisach patentowych: PL 166471, US 4 517 838, US 4 566 320 urządzeniach oraz sposobie według patentu PL 166471 przepływ płynu powoduje powstanie zmiany rozkładu temperatury w wydzielonych obszarach czujnika. W oparciu o zmiany temperatury w wybranych miejscach czujników, a następnie ich pomiar dokonuje się oszacowania natężenia przepływu. Tego typu urządzenia zawsze będą posiadały dużą inercję, ponieważ przy nagłej zmianie przepływu, zwłaszcza po nagłym zaniku ruchu płynu, temperatury w tych wybranych miejscach nie ulegną natychmiastowej zmianie, lecz proces ustalania się poprawnego wyniku będzie zachodzić powoli, a czas ustalania się równowagi jest uzależniony od dyfuzyjności ciepła w materiale z którego czujnik jest zbudowany.

W celu zwiększenia szybkości reakcji urządzeń termicznych zmniejsza się wymiary czujników oraz wymusza przepływ odpowiednio dużej masy płynu w stosunku do masy czujnika. Pomimo, że kapilara pomiarowa jak w patencie US 4 517 838 ma średnicę zewnętrzną 0,35 mm i grubości ścianek 0,05 mm, a grubość drutu oporowego wynosi 15 μm, stała czasowa czujnika wynosi 2 sekundy.

Istota sposobu termicznego pomiaru natężenia przepływu płynu według wynalazku polega na tym, że podgrzewa się ceramiczne podłoże za pomocą co najmniej trzech rezystorów grzewczo sensorowych, z których dwa są pomiarowymi rezystorami grzewczo-sensorowymi, umieszczonych na części powierzchni ceramicznego podłoża, która stanowi także powierzchnię wewnętrzną kanału i jednocześnie schładza się ceramiczne podłoże co najmniej od strony jednego boku poprzez połączenie go z elementem rozpraszającym ciepło, następnie przepuszcza się płyn kanałem umiejscowionym na ceramicznym podłożu, przy czym płyn wprowadza się do kanału od tej strony ceramicznego podłoża z której jest ono schładzane, następnie kompensuje się za pomocą pierwszego pomiarowego rezystora grzewczo-sensorowego ubytek ciepła spowodowany ruchem płynu w pierwszym odcinku kanału znajdującym się pomiędzy bokiem schładzania a strefą nagrzewania drugiego rezystora grzewczo-sensorowego oraz za pomocą trzeciego pomiarowego rezystora grzewczo-sensorowego kompensuje się spowodowaną ruchem płynu nadwyżkę ciepła w trzecim odcinku kanału, znajdującym się pomiędzy strefą nagrzewania drugiego rezystora grzewczo sensorowego a bokiem schładzania ceramicznego podłoża, przy czym proces kompensacji realizuje się krokowo za pomocą pojedynczych prostokątnych impulsów cieplnych, a po każdym dostarczonym impulsie cieplnym, w czasie gdy oba pomiarowe rezystory grzewczo-sensorowe są odłączone od źródła napięcia stałego, za pomocą komparatora dokonuje się porównania rezystancji pomiarowych rezystorów grzewczo-sensorowych, które na czas komparacji załącza się

do pomiarowego mostka Wheatstone'a i w zależności od wyniku porównania w kolejnym cyklu podgrzewa się pomiarowy rezystor grzewczo-sensorowy o niższej temperaturze przez dostarczenie pojedynczego impulsu napięciowego o ustalonym czasie trwania, przy czym procesy porównania i podgrzewania realizuje się cyklicznie z częstotliwością powtarzania większą niż 5 kHz, jednocześnie w ustalonym przedziale czasowym wielokrotnie większym od okresu powtarzania, zlicza się liczby impulsów dostarczonych do każdego z pomiarowych rezystorów grzewczo sensorowych i oblicza się różnicę dostarczonych impulsów dla ustalonego przedziału czasowego, która jest wprost proporcjonalna do ilości ciepła przeniesionego przez płyn i jest miarą natężania przepływu płynu.

Miernik termorezystancyjny do pomiaru natężenia przepływu płynu według wynalazku charakteryzuje się tym, że ma uformowany na podłożu ceramicznym kanał prowadzący płyn, korzystnie umiejscowiony wzdłuż trzech boków ceramicznego podłoża, na powierzchni wewnętrznej kanału stanowiącej fragment ceramicznego podłoża ma trzy warstwowe rezystory grzewczo-sensorowe, z których dwa stanowią pomiarowe rezystory grzewczo sensorowe oraz rezystor pomiarowy umiejscowiony na powierzchni ceramicznego podłoża w pobliżu czwartego boku połączonego z korpusem, rezystory grzewczo-sensorowe oraz rezystor pomiarowy wchodzą w skład dwóch pomiarowych elektrycznych mostków Wheatstone'a, wyjścia mostka pierwszego połączone są z komparatorem którego wyjście połączone jest z wejściem przerzutnika, który poprzez bramki połączony jest z łącznikami dołączonymi do pomiarowych rezystorów grzewczo sensorowych, natomiast węzły pomiarowe drugiego mostka Wheatstone'a połączone są z komparatorem, którego wyjście połączone jest z wejściem przerzutnika, którego wyjście dołączone jest do łącznika, który z kolei połączony jest poprzez element indukcyjny z węzłem zasilającym pomiarowe elektryczne mostki Wheatstone'a, przy czym do węzła pomiarowego drugiego mostka do którego dołączony jest rezystor grzewczo sensorowy dołączony jest także łącznik.

Sposób według wynalazku, w którym zastosowano zasadę utrzymania niezmiennej temperatury w całej strukturze czujnika pozwala na zmniejszenie inercji czujnika, a także poprawę naturalnej liniowości pomiędzy natężeniem przepływu a sygnałem wyjściowym bez konieczności stosowania dodatkowych układów linearyzacji. W płaskim czujniku poprzez dobór umiejscowienia, dobór kształtów, a także poprzez dobór gęstości mocy cieplnych termorezystorów wytworzone zostały takie warunki wymiany ciepła i kompensacji ubytku lub nadmiaru ciepła, że możliwe jest utrzymanie stałego niezmiennego rozkładu temperatury w całej strukturze czujnika przepływu. Ponieważ utrzymuje się niezmienną temperaturę cienkowarstwowych termorezystorów, które jednocześnie oddzielają mierzony płyn od materiału konstrukcyjnego którym jest płytka ceramiczna, przy precyzyjnym ukształtowaniu profilu temperatury wzdłuż kanału pomiarowego możliwe jest utrzymanie takich warunków, że przy kompensacji przepływ płynu powoduje jedynie wytworzenie niewielkiego gradientu temperatury w kierunku normalnym w cienkiej warstwie termorezystywnej, której grubość nie przekracza 0,3 μm. Oznacza to, że dla każdego natężenia przepływu, zawierającej się w zakresie pomiarowym czujnika, rozkład temperatury w strukturze ceramicznej jest taki sam. Po nagłej zmianie szybkości przepływu płynu nie zachodzi proces dochodzenia do równowagi, ponieważ nowy stan równowagi ma ten sam rozkład temperatury na powierzchni struktury ceramicznej.

Dzięki zastosowanej metodzie kompensacji ubytku i nadmiaru ciepła, powstałego wskutek przepływu płynu, wszystkie struktury mostkowe to znaczy mostek termiczny oraz pomiarowe mostki elektryczne zawsze znajdują się w stanie zrównoważenia. Natomiast wynikiem pomiaru jest miara ilości ciepła kompensującego odjętego z całej strefy schładzania i dodanego do strefy nagrzewania wyrażonego w postaci liczby impulsów cieplnych o stałej energii. Stwarza to najlepsze z możliwych warunki do realizacji precyzyjnego pomiaru.

Stabilny rozkład temperatury utrzymywany jest za pomocą co najmniej dwóch układów kontroli temperatury z których każdy ma wzmocnienie większe do 10^6. Ponieważ w obwodach o tak dużym wzmocnieniu występują znaczne przesunięcia fazy, co może powodować powstawanie oscylacji przy nagłych zmianach szybkości przepływu, zastosowano krokową procedurę kompensacji mostka, która polega na tym, że po każdym dostrojeniu mostka termicznego o wartość

odpowiadającą najmniejszej jednostce rozdzielczej następuje proces weryfikacji. Dzięki takiej metodzie kompensacji jeżeli występują przesterowania, to ich amplituda jest nie większa od wartości odpowiadającej najmniejszej jednostce rozdzielczej przyrządu. Istotną zaletą metody jest fakt, że sygnałem wyjściowym z obwodu kontrolera temperatury jest sygnał cyfrowy. Kontroler równowagi temperatury wraz z hybrydowym mostkiem termicznym stanowi więc bezpośredni konwerter przepływ-częstotliwość, a struktura hybrydowego mostka termicznego jest jego nierozłączną częścią.

Sposób według wynalazku ma wszystkie zalety czujnika z kapilarą pomiarową oraz zalety wynikające z zastosowania rezystorów warstwowych. Duża pojemność cieplna ceramiki, która w przypadku zastosowania konwencjonalnych sposobów pomiaru natężenia przepływu jak w patentach: PL 166471, US 4 517 838, US 4 566 320, uniemożliwia realizację czujników o małej inercji, w przypadku zastosowanego sposobu według wynalazku jest cechą korzystną, ponieważ pojemność cieplna ceramiki stanowi główną pojemność modulatora termicznego, analogiczną do pojemności wytworzonej przez obwód integratora w elektronicznym modulatorze sigma delta. Im większa jest wartość tej pojemności tym mniejsze są oscylacje temperatury na powierzchni ceramiki i tym samym na wewnętrznej powierzchni kanału pomiarowego. Duża pojemność cieplna ceramiki wygładza więc pulsacje temperatury na powierzchni wewnętrznej kanału spowodowane przez impulsowe dostarczanie ciepła za pośrednictwem rezystorów grzewczo sensorowych. Ponieważ w czasie grzania jak i podczas pomiaru do całej powierzchni strefy wymiany ciepła dostarcza się ciepło i z całej powierzchni zbierana jest średnia wartość temperatury, która jest porównywana z temperaturą średnią analogicznego rezystora w strefie schładzania poprzez utrzymanie niezmiennego rozkładu temperatury w warstwie termorezystywnej utrzymuje się równowagę mostka termicznego.

Wykonany według wynalazku czujnik przepływu posiada rozdzielczość lepszą od 0,1% naturalną nieliniowość (bez kompensacji) mniejszą od 7% czas stabilizacji z dokładnością 0,1% pełnej skali wynosi 1s. i jest mniejszy od 100 ms dla tolerancji 1% pełnej skali.

Realizacja czujnika w technologii hybrydowej stwarza korzystne warunki dla procesu pomiaru. Czujnik wykonany jest w postaci mostka termicznego podobnego do mostka Wheatstone'a, którego wszystkie konduktancje termiczne zawarte są w jednej kształtce ceramicznej wykonanej z jednorodnego materiału, natomiast źródła ciepła będące także czujnikami temperatury nałożone na ceramiczną kształtkę posiadają bardzo małe własne pojemności cieplne. Dzięki umieszczeniu całego kanału pomiarowego na podłożu ceramicznym możliwe jest ukształtowanie trapezowego profilu temperatury wzdłuż kanału pomiarowego z liniowymi rozkładami temperatury w pomiarowych strefach wymiany ciepła, który wytworzony niemal automatycznie dzięki zastosowaniu płaskiej struktury ceramicznej zamocowanej od strony jednego boku do elementu schładzającego. Mostkowa struktura obwodu termicznego w połączeniu z zastosowaniem różnicowego modulatora termicznego umożliwia realizację urządzenia o bardzo dużej szybkości reakcji. Termiczny modulator sigma delta pełni jednocześnie dwie funkcje: kontrolera równowagi mostka termicznego i przetwornika analogowo cyfrowego, który dostarcza sygnał cyfrowy proporcjonalny do natężenia przepływu płynu. Ponieważ w obwodzie kontrolera równowagi mostka nie ma integratora oraz pojemności elektrycznych obwód ten z opóźnieniem jednego cyklu (< 50 μs) reaguje na zmiany przepływu. W pomiarowym obwodzie równoważenia temperatury te same rezystory służą jako czujniki temperatury i grzejniki, nie występuje więc zwłoka czasowa na dyfuzję ciepła pomiędzy grzejnikiem i czujnikiem temperatury.

Czujnik według wynalazku jest samo-balansującym się mostkiem termicznym podobnym do mostka Wheatstone'a z automatyczną kompensacją, ponieważ sygnałem wyjściowym z procesu kompensacji jest różnica impulsów cieplnych dostarczonych do pomiarowych obszarów balansowania zaproponowany czujnik jest bezpośrednim przetwornikiem przepływ-częstotliwość.

Sposób termicznego pomiaru natężenia przepływu płynu, według wynalazku został bliżej objaśniony w oparciu o przykład wykonania miernika termorezystancyjnego do pomiaru natężenia przepływu płynu uwidocznionego na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia widok elementu

czujnikowego miernika termorezystancyjnego, fig. 2 schemat układu kontrolującego temperatury rezystorów grzewczo sensorowych 4 i 5, fig. 3 układ kontroli temperatury rezystora 2.

Na podłożu ceramicznym **P** oznaczono kontur kanału 1 prowadzącego płyn oraz umieszczone w nim rezystory grzewczo sensorowe 2, 4, 5, rezystor 3 umieszczony w pobliżu czwartego boku ceramicznego podłoża. Czwarty bok ceramicznego podłoża **P** połączony z korpusem **K**.

Rezystory grzewczo sensorowe 2, 4, 5 ogrzewają ceramiczne podłoże **P**. Przepływający płyn przemieszczając się wzdłuż pierwszego boku ceramicznego podłoża **P** schładza je od strony boku pierwszego, przemieszczając się wzdłuż drugiego boku ceramicznego podłoża **P** temperatura płynu ulega stabilizacji, natomiast przemieszczając się wzdłuż trzeciego boku płyn ogrzewa ceramiczne podłoże **P**. Przepływający płyn zakłóca więc równowagę termiczną pomiędzy pierwszym i trzecim bokiem ceramicznego podłoża **P**. Zadaniem obwodu złożonego z komparatora 8, przerzutnika 11 i łączników 12, 13 jest utrzymanie równowagi średnich temperatur pomiarowych rezystorów grzewczo sensorowych 4 i 5 i tym samym średnich temperatur w obszarach w których te rezystory są umiejscowione. Za pomocą komparatora 8 i układu mostkowego do którego dołączone są pomiarowe rezystory grzewczo sensorowe 4 i 5, w stanie niskim impulsu zegarowego, porównuje się ich rezystancje. Wynik komparacji zostaje wpisany do przerzutnika 11 przy narastającym zboczu impulsu zegarowego. Przerzutnik 11 załącza odpowiedni pomiarowy rezystor grzewczo sensorowy 4 lub 5 poprzez odpowiedni łącznik 13 lub 12 do źródła napięcia stałego co powoduje wydzielenie w nim zwiększonej ilości ciepła przez okres odpowiadający czasowi trwania dodatniego impulsu zegarowego. Przy kolejnym stanie niskim impulsu zegarowego rozłączone są oba łączniki 12 i 13 i oba pomiarowe rezystory grzewczo-sensorowe 4, 5 włączone są do mostka pomiarowego. Proces ten powtarza się cyklicznie. Obwód elektroniczny kompensuje więc zaburzenia równowagi średnich temperatur pomiarowych rezystorów grzewczo-sensorowych 4 i 5 poprzez dobór proporcji impulsów dostarczanych do każdego z tych rezystorów. Różnica dostarczonych impulsów cieplnych jest bezpośrednią miarą ciepła przeniesionego przez płyn. Ponieważ dla danego płynu ilość ciepła przeniesionego przez płyn jest wprost proporcjonalna do natężenia przepływu płynu, różnica dostarczonych impulsów cieplnych jest miarą natężenia przepływu płynu. Zadaniem obwodu przedstawionego na fig. 3 jest utrzymanie stabilnej różnicy temperatur pomiędzy nagrzewanym drugim bokiem ceramicznego podłoża **P**, a schładzanym czwartym bokiem ceramicznego podłoża **P**. W czasie stanu niskiego impulsu zegarowego kiedy rozwarty jest łącznik 14 porównywane są rezystancje rezystora grzewczo sensorowego 2 i pomiarowego 3 za pomocą komparatora 15. Jeżeli w wyniku komparacji rezystancja rezystora grzewczo sensorowego 2 jest niższa od rezystancji rezystora pomiarowego 3 to przy narastającym zboczu impulsu zegarowego przerzutnik 16 załącza łącznik 17, co powoduje wzrost napięcia na kondensatorze **C** i w czasie dodatniego impulsu zegarowego kiedy załączony jest łącznik 14 w rezystorze grzewczo sensorowym 2 wydzieli się większa ilość ciepła powodując wzrost temperatury ceramicznego podłoża.

Dzięki zastosowaniu technologii warstwowej możliwa jest realizacja struktury miernika o dużej stabilności i powtarzalności. Aplikacja warstwowych rezystorów jako rezystorów grzewczo sensorowych posiadających bezpośredni kontakt z płynem oraz stabilną strukturą ceramiczną pozwala na zastosowanie grzania impulsowego co zwiększa zakres dynamiki dostarczanej mocy, a także umożliwia realizację przetwornika przepływu na sygnał cyfrowy bez stosowania układów dopasowujących. Umożliwia także wykorzystanie istniejących w strukturze warstwowej przewodności cieplnych oraz pojemności cieplnych jako aktywnych elementów w układzie różnicowego termicznego modulatora sigma delta. Zmniejsza to czas reakcji urządzenia, mniejsza jest także ilość elementów elektronicznych.

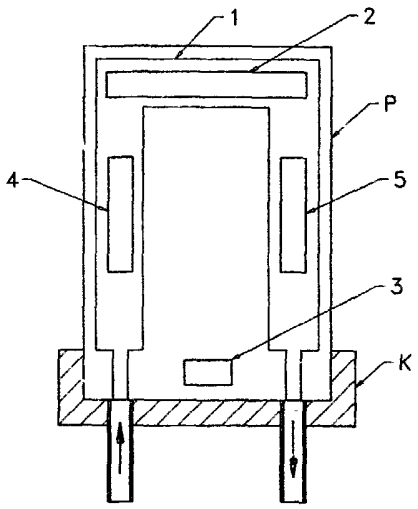

Fig. 1

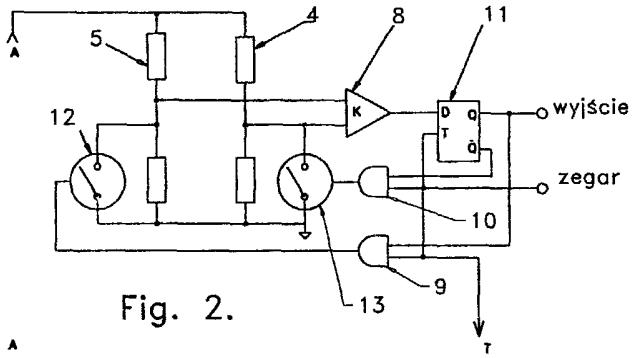

Fig. 2.

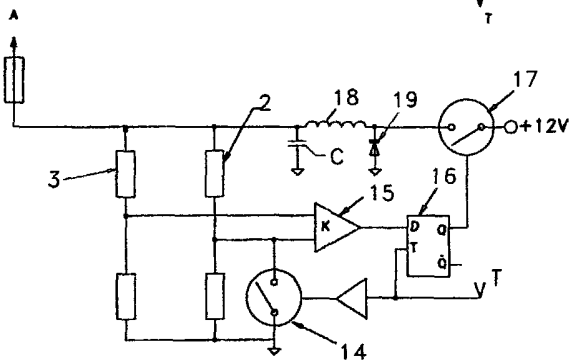

Fig. 3.

Departament Wydawnictw UP RP. Nakład 60 egz.
Cena 2,00 zł.