

mgr inż. LESZEK GUZY
mgr inż. ANDRZEJ KARBOWNICZEK
mgr inż. IRENEUSZ ŁUCZAK

Przemysłowy Instytut
Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP

Warszawa

CIŚNIENIOMIERZE CYFROWE

W artykule omówiono stan cyfrowej techniki pomiarów ciśnienia w kraju i za granicą oraz rodzaje ciśnieniomierzy cyfrowych. Podano podstawowe właściwości metrologiczne i użytkowe oraz opisano budowę i zasadę działania wybranych ciśnieniomierzy cyfrowych.

1. Wstęp

W ostatnich latach nastąpił dynamiczny rozwój cyfrowych przyrządów pomiarowych służących do pomiaru wielkości zarówno elektrycznych jak i nieelektrycznych. Do tej drugiej grupy przyrządów należą ciśnieniomierze cyfrowe.

Jak wiadomo przyrządy cyfrowe w porównaniu z ciśnieniomierzami analogowymi wykazują szereg zalet.

Klasa dokładności ciśnieniomierzy cyfrowych może być bardzo wysoka, nieosiągalna, niejednokrotnie dla ciśnieniomierzy analogowych.

Obok podstawowej funkcji wskazywania wartości ciśnienia, ciśnieniomierze cyfrowe mogą posiadać dodatkowe wyjścia sygnału elektrycznego, do współpracy z maszyną matematyczną i urządzeniami centralnej rejestracji i przetwarzania danych.

Ciśnieniomierze cyfrowe mają budowę bardziej złożoną niż analogowe, co znacznie podwyższa ich koszt. Mimo to, ze względu na szereg zalet użytkowych są one coraz szerzej stosowane w nauce i technice.

Cyfrowe przyrządy pomiarowe ciśnienia są stosowane do pomiaru ciśnienia absolutnego, nadciśnienia podciśnienia i różnicy ciśnień o następujących zakresach pomiarowych: 0...2,5 kPa (0...254 mm H₂O); 0...0,34 MPa (0...2540 mm Hg); 0...0,133 MPa (0...1000 mm Hg); $1,33 \cdot 10^{-9}$...0,67 MPa (10^{-5} ...5000 Tr) i 0...690 MPa (0...około 6900 kG/cm²) oraz klasach dokładności od lepszych niż 0,01 do 1. W zależności od zakresu pomiarowego, klasy dokładności oraz wykonania, przyrządy te mają od 3 do 7 cyfr. Ciśnieniomierze cyfrowe składają się z dwóch zasadniczych członów funkcjonalnych: przetwornika ciśnienia, przetwarzającego ciśnienie na sygnał elektryczny oraz układu elektronicznego lub elektromechanicznego przedstawiającego wyjściowy sygnał z przetwornika w postaci cyfrowej.

Ze względu na wykorzystane zjawiska fizyczne i zasadę działania przetworników ciśnienia, można wyodrębnić dwie grupy ciśnieniomierzy cyfrowych:

- Grupa obejmująca przyrządy, w których wyjściowy sygnał ciśnieniowy jest bezpośrednio przetwarzany na wyjściowy sygnał elektryczny.
- Grupa obejmująca przyrządy, w których wyjściowy sygnał ciśnieniowy jest przetwarzany na sygnał w postaci odkształcenia lub siły, a następnie, przez odpowiedni przetwornik, na sygnał elektryczny.

Przyrządy należące do grupy pierwszej są zbudowane najczęściej w oparciu o przetwornik zamieniający wejściowy sygnał ciśnieniowy na analogowy sygnał elektryczny oraz układ elektroniczny typu wołto-mierza cyfrowego, w którym sygnał analogowy jest przetwarzany na sygnał dyskretny. Do tego celu są wykorzystywane przetworniki, na przykład elektrokinetyczne, piezoelektryczne, ultradźwiękowe, częstotliwościowe, przy czym te ostatnie współpracują z częstotliciomierzami cyfrowymi.

W przetwornikach elektrokinetycznych wykorzystano zjawisko elektrochemiczne, tak zwany potencjał przepływu, który występuje podczas wymuszonego przepływu roztworu elektrolitu przez porowatą przegrodę ceramiczną. Pod wpływem mierzonego ciśnienia wytwarza się różnica ciśnień przed i za przegrodą, co powoduje powstanie potencjału przepływu, proporcjonalnego do różnicy ciśnień.

W przetwornikach piezoelektrycznych wykorzystano efekt piezoelektryczny, który polega na tym, że pod wpływem ciśnienia działającego na powierzchniach niektórych kryształów (np. kwarcu, turmalinu, tytanianu baru, soli Seignete'a, cyrkonianu ołowiu) powstają ładunki elektrostatyczne.

W przetwornikach częstotliwościowych wykorzystano zjawisko częstotliwości rezonansowej; zewnętrzne ciśnienie doprowadzone do drgającego elementu wrażliwego na zmiany ciśnienia powoduje wzrost jego sztywności, w wyniku czego następuje zmiana częstotliwości rezonansowej.

W przetwornikach ultradźwiękowych wykorzystano zjawisko rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w ciele twardym. Czas przejścia fali przez ciało twarde o określonych rozmiarach jest zależny od ciśnienia i temperatury. Utrzymując stałą temperaturę, uzyskuje się zależność czasu przejścia fali, wyłącznie w funkcji ciśnienia.

Ciśnieniomierze cyfrowe zaliczone do drugiej grupy są zbudowane w oparciu o klasyczne elementy sprężyste (mieszki, przepony, sprężyny rurkowe) przetwarzające wejściowy sygnał ciśnieniowy na sygnał w postaci odkształcenia lub siły, który z kolei jest przetwarzany przez związany z nimi przetwornik elektryczny (mostek tensometryczny, układ fotooptyczny, transformator różnicowy, kondensator) na elektryczny, zazwyczaj analogowy sygnał wyjściowy. Sygnał ten zostaje przekazany do układu elektronicznego, w którym następuje zamiana sygnału analogowego na dyskretny, w konsekwencji czego jest realizowany odczyt cyfrowy.

Innym urządzeniem realizującym wskazania cyfrowe jest układ elektromechaniczny, w którym analogowy sygnał z przetwornika powoduje uruchamianie silnika wspomagającego, który służy do realizacji sprzężenia zwrotnego i jednocześnie do napędu wskaźnika cyfrowego.

W konstrukcji przyrządów tej grupy można wyróżnić kilka metod pomiarowych:

- metoda pomiaru naprężeń w elemencie sprężystym przy pomocy mostków tensometrycznych trwale związanych z tym elementem;
- metoda pomiaru odkształceń elementu sprężystego przy pomocy przetworników przesunięć, bez mechanicznego sprzężenia zwrotnego;
- metoda pomiaru odkształceń elementu sprężystego z układem nadążnym;
- metoda pomiaru z tak zwanym równoważeniem sił.

W dwóch pierwszych metodach pomiarowych, powstający sygnał elektryczny jest przekazywany do układu elektronicznego, w którym następuje zamiana sygnału analogowego na dyskretny. Nie stosuje się tu układów elektromechanicznych w postaci serwomechanizmów.

W trzeciej metodzie pomiarowej wykorzystuje się zjawisko wytrącania ze stanu równowagi elektrycznej układu z fotoelementem, transformatorem różnicowym bądź kondensatorem, przez odkształcający się element pomiarowy. W stanie równowagi sygnał wyjściowy jest równy zero. W momencie zadziałania ciśnienia następuje odkształcenie elementu sprężystego powodujące przesunięcie przesłony przy fotoelementach, rdzenia transformatora bądź okładki kondensatora, wytrącające układ z równowagi elektrycznej. Powstaje „sygnał błędu”, który przy pomocy serwomechanizmu uruchamia układ nadążny powodujący ustawienie fotoelementów, cewek transformatora, bądź drugiej okładziny kondensatora w takim położeniu, przy którym nastąpi ustalenie się nowego stanu równowagi. Miarą wartości zadanego

ciśnienia może być liczba obrotów serwomechanizmu zliczana przez odpowiedni cyfrowy licznik mechaniczny lub wartość prądu utrzymująca układ w nowym stanie równowagi, zamieniona przez układ elektroniczny na odczyt cyfrowy.

W czwartej metodzie wykorzystuje się zasadę równoważenia sił. Ciśnienie doprowadzone do elementu sprężystego powoduje jego odkształcenie i przemieszczanie przestony, rdzenia lub okładek kondensatora, wyprowadzając układ ze stanu równowagi. Powstaje sygnał elektryczny, tak zwany sygnał błędny, który jest podany do elektromechanicznego urządzenia sprzężenia zwrotnego, powodującego powrót elementu sprężystego do położenia zerowego. Następuje nowy stan równowagi, który trwa dotąd, dopóki nie pojawi się nowa wartość ciśnienia wytrącająca ponownie układ z równowagi. Miarą wartości doprowadzonego ciśnienia może być liczba obrotów serwomechanizmu zliczana przez odpowiedni cyfrowy licznik mechaniczny lub wartość prądu utrzymująca układ w nowym stanie równowagi, zamieniona przez układ elektroniczny na odczyt cyfrowy.

Ciśnieniomierze cyfrowe mogą mieć dodatkowe wyjścia sygnału w postaci analogowej lub dyskretnej, do współpracy z komputerami lub innymi urządzeniami, na przykład z centralną rejestracją i przetwarzaniem danych.

2. Przegląd ciśnieniomierzy cyfrowych produkcji zagranicznej

Ciśnieniomierze cyfrowe najszersze są stosowane w Stanach Zjednoczonych, stamtąd też pochodzi najwięcej publikacji na ten temat, katalogów oraz prospektów poszczególnych producentów tych przyrządów.

W Europie Zachodniej ciśnieniomierze cyfrowe są produkowane zarówno przez firmy rodzime, jak i przez filie firm amerykańskich znajdujące się w poszczególnych krajach.

Jeśli chodzi o kraje socjalistyczne, to brak jest danych świadczących o produkcji tych przyrządów na skalę przemysłową, co jednak nie wyklucza istnienia opracowań dokonanych przez poszczególne placówki naukowe.

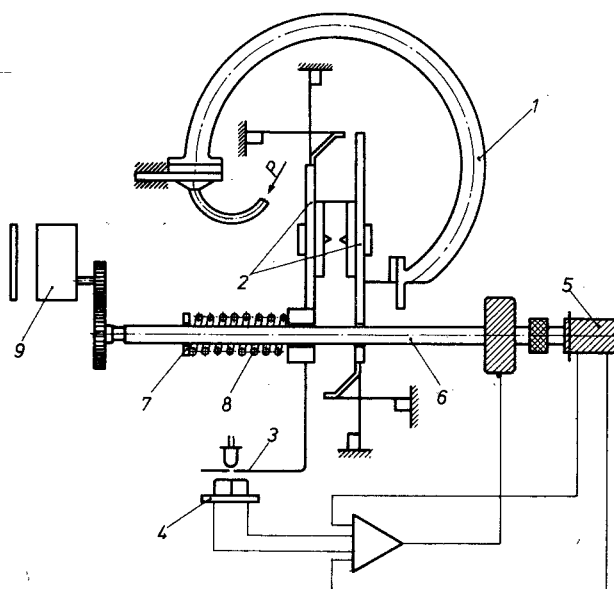
Rozwiązania konstrukcyjne ciśnieniomierzy cyfrowych przyjęte przez poszczególnych producentów różnią się między sobą pod względem wykorzystanych metod pomiarowych, rodzaju przetwornika i uzyskanych dokładności pomiaru. Zestawienie podstawowych właściwości metrologicznych i użytkowych tych przyrządów, w większości wyprodukowanych w Stanach Zjednoczonych, zamieszczono w tablicy 1.

Poniżej natomiast zamieszczono omówienia budowy i zasady działania wybranych przyrządów.

Firma Ashcroft Dresser—Industrial Valve & Instrument Div. produkuje ciśnieniomierz cyfrowy z przetwornikiem pracującym w układzie równowagi sił. Zasada pomiaru polega tu na równoważeniu sił pochodzących od elementu sprężystego, na który działa ciśnienie oraz przeciwnie skierowanych sił pochodzących od ujemnego sprzężenia zwrotnego, realizowanego przez urządzenie elektromechaniczne połączone z jednej strony z elementem sprężystym, z drugiej zaś, z mechanicznym wskaźnikiem cyfrowym. W przyrządach tych jako elementy pomiarowe są stosowane sprężyny rurkowe Bourdon'a, mieszki sprężyste lub przepony.

Należy podkreślić, że sprężyste elementy pomiarowe mają decydujący wpływ na dokładność pomiaru. Dzięki temu, że sprężyste elementy pomiarowe są wykonywane ze specjalnych materiałów, np. stopu Monela K o bardzo dobrych właściwościach sprężystych i wytrzymałościowych, mają wysoką powtarzalność i liniowość oraz znikomą małą histerezę. Ponadto elementy pomiarowe pracujące w układzie równowagi sił mają znacznie ograniczony skok (do ok. 0,1 mm) co dodatkowo zmniejsza nieliniowość, histerezę oraz wpływy temperatury.

Schemat ciśnieniomierza produkowanego przez firmę Ashcroft Dresser—Industrial Valve & Instrument Div. przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ciśnieniomierza cyfrowego z przetwornikiem typu równowagi sił. 1—sprężysty element pomiarowy, 2—zespół belki, 3—przesłona, 4—podwójny opornik fotoelektryczny, 5—serwomotor, 6—zespół śruby pociągowej, 7—nakrętka, 8—sprężyna śrubowa, 9—licznik optyczno—mechaniczny

Element sprężysty (1) (sprężyna rurkowa Bourdone'a) jest połączony poprzez zespół belki (2) z przesłoną (3) mającą szczelinę. Promienie światła padają na podwójny opornik fotoelektryczny (4) połączony w układzie mostkowym. Gdy urządzenie jest w stanie równowagi, przez szczelinę znajdującą się w przesłonie na oba oporniki pada jednakowa ilość światła. Zadaną ciśnień do elementu sprężystego powoduje jego odkształcenie, co wywołuje ruch przesłony oraz zmianę oświetlenia obu oporników fotoelektrycznych. Układ reaguje już na przesunięcie przesłony wynoszące $5 \cdot 10^{-5}$ mm. Rezultatem tego jest proporcjonalna do zadanego ciśnienia zmiana oporności tych oporników powodująca rozstrojenie stanu równowagi mostka. Powstający w ten sposób sygnał elektryczny poprzez wzmacniacz jest podawany na serwomotor (5) napędzający zespół śruby pociągowej (6). Obrót śruby powoduje przesuwania znajdującej się na niej nakrętki (7) zmieniającej napięcie sprężyny śrubowej (8) i w konsekwencji przesunięcie przesłony (3) aż do chwili, gdy oba oporniki fotoelektryczne zostaną ponownie oświetlone jednakową ilością światła. Jednocześnie śruba pociągowa napędza licznik optyczno—mechaniczny (9), gdzie cyfry naniesione na obrotowe płyty są ustalane przy pomocy dwukierunkowego mechanizmu i powiększane przez układ optyczny. Płaski ekran umożliwia łatwy i jednoznaczny odczyt. Stałość obrotów serwomotoru i niewrażliwość na wstrząsy uzyskano przez zastosowanie ujemnego sprzężenia zwrotnego w układzie serwomotoru, zrealizowanego przez prądniczkę tachometryczną. Moment obrotowy serwomotoru jest na tyle duży, że występujące w urządzeniu momenty tarcia nie mają wpływu na czułość miernika.

Stabilność temperaturowa jest uzyskana przez zastosowanie odpowiednich materiałów we wszystkich elementach mechanizmu przekładniowego, oraz przez umieszczenie oprawy elementu pomiarowego

Dane techniczne ciśnieniomierzy cyfrowych firm zagranicznych

Tablica 1

Lp.	Firma	Model Typ	Zakresy	Dokładność	Liczba cyfr	Czas wskazania	Temperatura stosowności	Element pomiarowy	U w a g i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ametek Inc. Instruments & Control Div. (USA)	93CP	6,9 kPa...20,7 MPa	$\pm 0,1\%$ + 1 cyfra					
2	Ashcroft Dresser Industrial Valve & Instrument Div. (USA)	7780	Cięnienia: od 0...2,5 kPa do 0...69 MPa Różnica ciśnień: od 0...2,5 kPa do 1,4 MPa Ciężenia absolutne: 0...2,5 kPa	0,02 %	4	1 odczyt/ 2,5...7 s	25...125°F	Sprężyna rurkowa Bourdona'a, mieszak sprężysty lub czujnik różnicy ciśnienia + serwo-system typu równowagi sił	Na żądanie wyjścia BCD
3	B & F Instruments Inc. (USA)		0...13,8 MPa	$\pm 0,5\%$ lub 1 cyfra					Urządzenie to jest właściwie systemem pomiarowym mającym 3000 wejść od czujników zewnętrznych. Ma wyjście do rejestracji wyników pomiaru na taśmie
4	Bauer Instrument & Controls Group (USA)	BM11600	0...3,5 MPa	$\pm 0,1\%$	4			Przetwornik LVDT	Rozróżnialność 0,1 psi
5	Bisset-Berman Corp. (USA)	DP1	0...69 MPa	0,02 %	5		-10...+40°C	Sprężyste elementy kwarcowe	Wyjście BCD
6	BLH Electronics Inc. (USA)	8100		$\pm 0,01\%$	5	3 odczyty/s	32...130°F		Ma 8 czujników pomiarowych. Na żądanie, wyjście BCD i 6 cyfr odczytowych
7	CGS/Datametric Div. of CGS Scientific Corp. (USA)	1085	$1,3 \cdot 10^{-9}$...0,67 MPa	0,03 %	6				Cyfrowe wyjście dla wakuometru i manometru. Czułość 0,001 %
8	Consolidated Controls Group (USA)	50 GP	Cięnienia absolutne: 0...69 MPa Różnica ciśnień: 2 kPa...0,69 MPa	$\pm 0,01\%$	4	5 odczytów/s		Czujnik tensometryczny lub LVDT, w zależności od zakresu	Przyrząd ma 6 kanałów wybieranych indywidualnie. Elementy LVDT mogą być ustawione w odległości do 1000 stóp od przyrządu. Rozróżnialność 1 cyfra
9	Daytronic Corp. (USA)	770		$\pm 0,033\%$	5	3 odczyty/s	50...120°F	Czujnik tensometryczny	Wyjście analogowe. Na żądanie BCD
10	Doric Scientific Corp. (USA)	DS-100-T2-1X	0...206,9 MPa 0...513,8 MPa 0...689,7 MPa	$\pm 0,01\%$	5 lub 6			Czujnik tensometryczny	Urządzenie jest przystosowane do używania wielu czujników tensometrycznych. Wyjście wielokanałowe analogowe i BCD
11	Electronics LTD (USA)			0,1 %	4			Czujnik tensometryczny lub potencjometryczny	Urządzenie może współpracować z 1000 czujników
12	Electrosyn Technology Laboratories Inc. (USA)	790		0,1 %	4	5 odczytów/s		Sprężyna rurkowa Bourdona'a + przetwornik analogowo-cyfrowy	Wyjście BCD. Regulowane zero i zakres umożliwiają zmianę przetwornika. Powtarzalność 0,03...0,05 % zakresu pomiarowego, rozróżnialność 0,0025...0,01 %
13	Gilmore Industrials Inc. (USA)	551	od 0...69 kPa do 0...69 MPa (4 zakresy)	$\pm 0,05\%$	5	3 odczyty/s			Na żądanie, wyjście BCD
14	Hamilton Standard Div. of United Aircraft Corp. (USA)		0...138 kPa; 0...345 kPa do 0...1 MPa	$\pm 0,015\%$				Wibrujący cylinder	
15	Harrel Inc. (USA)	DI-300	od 0...69 MPa do 0...138 MPa	$\pm 0,1$ MPa				Przetwornik tensometryczny	Rozróżnialność 10 psi, możliwość do 1 psi. Specjalna konstrukcja przetwornika umożliwia pomiar ciśnienia wtrysku tworzywa sztucznego do formy
16	Honeywell Test Instrument Div. (USA)	4-100		$0,2\% \pm$ 1 cyfra	4	2 odczyty/s	0...50°C	Przetwornik tensometryczny	Możliwość współpracy z większą od 4 liczbą przetworników z indywidualnymi mostkami i wzmacniaczami
17	Houston Engineering Research Corp. (USA)	PDL-1	0...0,2 MPa	$\pm 0,25\%$					
18	Howell Instruments Inc. (USA)	H550 H551	0...20,7 MPa	$\pm 13,8$ kPa (w zakresie temperatur 20...130°F) $\pm 6,9$ kPa (w zakresie temperatur 20...75°F)	4		20...130°F		
19	Kaman Nuclear (USA)	K-3101	do 206,9 MPa	$\pm 0,1\%$	3		30...130°F	Przetwornik o zmiennej impedancji	Przetwornik może pracować w temperaturze do 1000°F. Na żądanie 4 cyfry odczytu, wyjście BCD
20	Kollsman Instrument Corp. (USA)		1,7 kPa...0,3 MPa	$\pm 0,001\%$	7			Przetwornik o zmiennej częstotliwości rezonansowej	Przyrząd jest przystosowany do pomiaru ciśnienia na zawieszonym samolocie przy wysokościach od -1500 do +10000 stóp. Rozróżnialność 0,0001 %

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	Leutert GmbH & Co (RFN)	DDR6000	6,9 kPa...17,2 MPa	$\pm 0,006$ % zakresu pomiarowego + 0,012 % odczytu				Sprężysty element kwarcowy + przetwornik elektrooptyczny	Na żądanie, wyjście BCD
22	MB Electronics & Textron Co. (USA)	DPI	0,35 MPa...69 MPa	0,5 %	4				Na żądanie, wyjście BCD. Wersja tablicowa i przenośna
23	Mensor Corp. (USA)	10100-001	6,9 kPa...6,9 MPa	$\pm 0,002$ % zakresu pomiarowego + 0,010 % odczytu	6			Sprężysty element kwarcowy + przetwornik elektrooptyczny	Na żądanie, wyjście BCD
24	Metra Instruments Inc. (USA)	20D			4			Przetwornik tensometryczny	Przyrząd 50-kanalowy. Na żądanie, wyjście BCD
25	MKS Instruments Inc. (USA)	170 Baratron - 100 A	$1,3 \cdot 10^{-9}$...0,7 MPa $1,3 \cdot 10^{-9}$...0,13 MPa	0,05...0,25 % w zależności od zakresu	4			Przetwornik o zmiennej pojemności	Przyrządy mają regulację pobierania próbek wielkości między 1 cyfrą znaczącą na sekundę a 1 cyfrą znaczącą na godzinę. Na żądanie, wyjście BCD
26	Non-Linear Systems Inc. (USA)	K-5	od 3,4 Pa do 0,34 MPa	± 4 cyfry lub 0,015 % odczytu	5	1 odczyt/2 s		Element sprężysty + serwosystem typu równowagi sił	Różnicałność 0,001 cal.
27	OTA Industriegeferte GmbH (RFN)	Digitomb 0,1	0,1...0,2 MPa 0...2 MPa 0...20 MPa	0,1 %	$3\frac{1}{4}$ lub 4%			Precyzyjna sprężyna rurkowa Bourdon'a + trafo różnicowy	Wyjście BCD
28	Paroscientific Inc. (USA)	Przetworniki typu: 215-A, 230-D, 245-A, 2100-A, 2200-A, 2400-A, 2900-A Komputerowe układy zasilające—odczytuja: Model 550 i 500	Różnice ciśnień: 0...0,1 MPa 0...0,2 MPa Ciśnienia absolutne: 0,1...6,2 MPa	lepsza niż 0,01 % zakresu pomiarowego	6 lub 7	natychmiastowy	-54...107°C	Rezonator kwarcowy	Przetwornik pomiarowy współpracuje z układem komputerowym lub kalkulatorem. Powtarzalność 0,005 % Histereza 0,005 % Stabilność zera przez 6 miesięcy 0,008 % Różnicałność $3 \cdot 10^{-8}$ zakresu pomiarowego. Wyjście BCD
29	Ruska Instrument Corp. (USA)	XE 38	do 17,2 MPa	$\pm 0,006$ % zakresu pomiarowego + 0,012 % odczytu	6			Sprężysty element kwarcowy + przetwornik elektrooptyczny	Na żądanie, wyjście BCD
30	Schaeffert Engineering (USA)	DTR-350—PP100	0...0,69 MPa	0,5 %	3		20...70°F	Przetwornik LVDT	Na żądanie, wyjście BCD
31	Sensoric Div. of Comtel Corp. (USA)			0,01 %	3		60...130°F	Przetwornik tensometryczny	Na żądanie, wyjście BCD
32	Texas Instruments Inc. (USA)	144/146	Zakres ciśnień absolutnych i różnic ciśnień: 0...0,2 MPa 0...0,3 MPa 0...69 MPa		6			Sprężyna rurkowa Bourdon'a kwarcowa lub metalowa + serwo-mechanizm	Różnicałność 0,001 % Powtarzalność $\pm 0,001$ %
33	Transducers Inc. (USA)	DTI-53	do 0,69 MPa i 6,9 MPa lub 69 MPa	0,1 %	3 lub 4		30...125°F (dla przyrządu) -65...+250°F (dla przetwornika)	Przetwornik tensometryczny	Powtarzalność 0,05 % Czułość 0,01 % Na żądanie, wyjście analogowe lub BCD
34	TYCO Laboratories Inc. (USA)	DM-100	0,1...69 MPa	$\pm 0,03$ %	3			Przetwornik tensometryczny	
35	Validyne Engineering Corp. (USA)	CD23			$3\frac{1}{4}$			Przetwornik o zmiennej oporności magnetycznej	Stabilność 0,1 %
36	Vislay Instruments Inc. Sub. of Vishay Intertechnology Inc. (USA)	V/E-20		$\pm 0,25$ %	4			Przetwornik tensometryczny	
37	Volumetrics (USA)	QCS	0,3...41,4 MPa					Sprężyna rurkowa Bourdon'a kwarcowa + serwo-system	
38	Wallace & Tiernan Div. (USA)	660A	Ciśnienia i różnica ciśnień: 0...0,69 MPa Ciśnienia absolutne: 0...0,35 MPa	0,05 %				Przetwornik indukcyjny + serwo-system	Powtarzalność 0,02 % Czułość 0,005 % Wyjście BCD
39	Wallace & Tiernan Div. (USA)	66C	0...0,1 MPa	3,4 Pa	6			U-rurka z ręką + przetwornik ultradźwiękowy	Wyjście BCD. Kompensacja temperatury z dokładnością $\pm 0,05$ °F
40	Word Research & Engineering Inc. (USA)	5540	Różnica ciśnień: od 13,79 kPa do 35 MPa Ciśnienia: od 69 kPa do 1379,3 MPa	0,01 %	4	2 odczyty/s	-100...+300°F	Przetwornik tensometryczny	Standardowe wyjście analogowe. Na żądanie, wyjście BCD

i mechanizmu sprzężenia zwrotnego na jednej płycie. Kompensacja temperaturowa zera jest realizowana przez wprowadzenie termistora do jednej z gałęzi mostka.

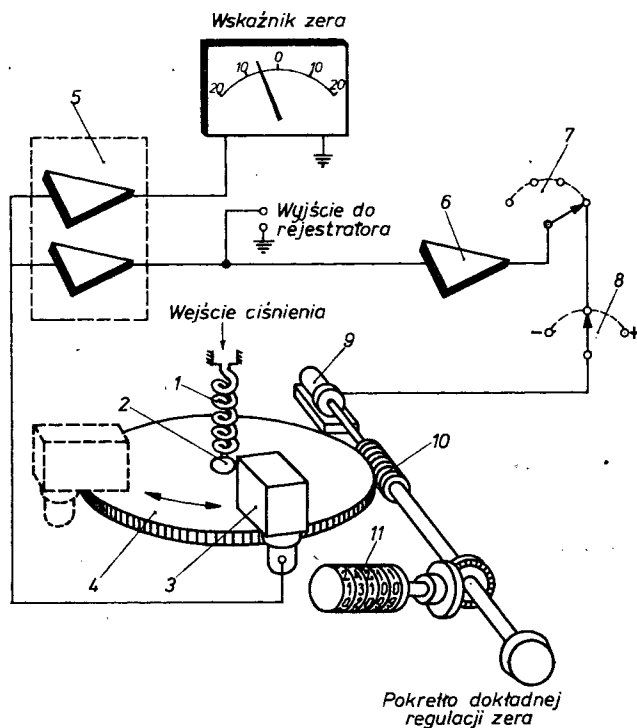
Istnieje możliwość dobudowania z zewnątrz potencjometru lub urządzenia kodującego, dla uzyskania dodatkowego sygnału wyjściowego, który może być doprowadzony do komputera, centralnej rejestracji danych lub wykorzystany do zdalnego przekazywania wskazań.

Firma Texas Instruments, Inc. produkuje ciśnieniomierz cyfrowy z układami nadążnymi, w których elementem pomiarowym jest śrubowa sprężyna rurkowa Bourdone'a wykonana z kwarcu.

Kwarc jest bardzo ciekawym materiałem stosunkowo niedawno wprowadzonym do produkcji najbardziej precyzyjnych elementów sprężystych do pomiaru ciśnienia. Odnacza się bardzo małą histerezą sprężystą, jest odporny na pełzanie i zmęczenie. Ponadto wykazuje znaczną odporność na korozję wywołaną przez niektóre kwasy, związki chloru, bromu itp.

Dla uzyskania dostatecznie dużego odkształcenia pomiarowego, element sprężysty wykonano w postaci sprężyny śrubowej o kilkunastu zwojach. Odkształcenie swobodnego końca sprężyny wynosi wówczas około 100° , co pozwala na uzyskiwanie dużej dokładności i rozdzielczości przyrządu.

Schemat takiego przyrządu przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Schemat ciśnieniomierza cyfrowego z układem nadążnym. 1—śrubowa sprężyna rurkowa, 2—lusterko, 3—fotokomórka, 4—stolik obrotowy, 5—układy wzmacniające, 6—serwowzmacniacz, 7—przełącznik funkcyjny, 8—przełącznik kierunku napędu, 9—serwomotor, 10—przekładnia ślimakowa, 11—licznik mechaniczny

Śrubowa sprężyna rurkowa (1) jest wykonana z kwarcu. Na swobodnym końcu ma przytwierdzone lusterko (2), które odbija promienie świetlne padające na fotokomórkę (3). Sprężyna rurkowa nie jest połączona mechanicznie z innymi częściami układu pomiarowego i może odkształcać się swobodnie, przez co uzyskano znacznie większą dokładność pomiaru.

Zadanie ciśnienia powoduje odkształcenie swobodnego końca i obrót lusterka (2), na skutek czego odbity promień świetlny nie trafia do fotokomórki (3). Powoduje to powstanie sygnału błędu, który poprzez układy wzmacniające (5), serwowzmacniacz (6) przełącznik funkcjonalny (7) oraz przełącznik kierunku napędu (8) powoduje uruchomienie serwowrotora (9). Serwowrotor, poprzez przekładnię ślimakową (10), napędza obrotowy stolik (4), do którego jest przymocowana fotokomórka (3). Stolik (4) jest obracany dopóty, dopóki promień świetlny odbity od lusterka (2) nie trafi ponownie do fotokomórki (3). Razem ze stolikiem (4) napędzany jest licznik mechaniczny (11) podający wynik pomiaru w postaci cyfrowej.

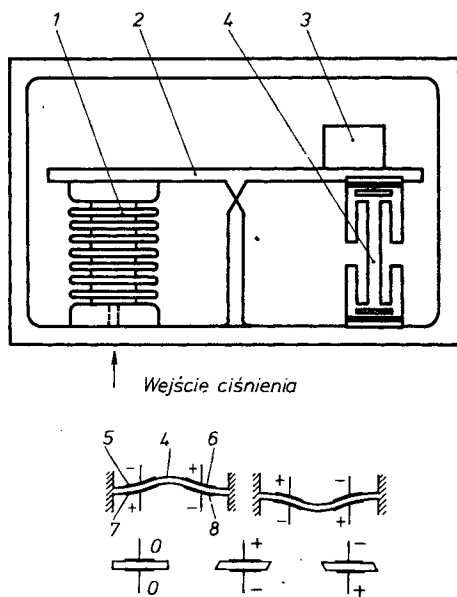
Firma Paroscientific, Inc. w kooperacji z firmą Kearfott, Div. of The Singer Co. produkuje komputerowe zestawy pomiarowe ciśnienia składające się z przetworników pomiarowych ciśnienia, ciśnienia absolutnego lub różnicy ciśnień oraz z komputerowych układów zasilająco-odczytowych. W wymienionych przetwornikach elementem pomiarowym jest rezonator kwarcowy. Rezonator ten jest wykonany w postaci belki wyciętej z kryształu kwarcu pod odpowiednimi kątami względem głównych osi krystalograficznych. Belka ta jest sztywno zamocowana na końcach i wstępnie obciążona. Częstotliwość rezonansowa drgającej belki jest zależna od jej wymiarów oraz obciążenia, przy czym naprężeniom rozciągającym towarzyszy wzrost częstotliwości, a naprężeniom ściskającym — jej zmniejszenie. Schemat przetwornika z rezonatorem kwarcowym przedstawiono na rys.3

Przetwornik składa się z następujących zasadniczych elementów: mieszka sprężystego (1), dźwigni (2) zamocowanej przegubowo z przeciwcieżarem (3) oraz belki pomiarowej (4), na której są osadzone cztery elektrody pobudzająco-odczytujące (5...8). Zadane ciśnienie działające na powierzchnię efektyw-

na mieszka (1) wytwarza siłę, która poprzez dźwignię (2) oddziałuje na belkę pomiarową (4) zmieniając jej częstotliwość rezonansową. Wielkość i położenie przeciwcieżaru (3) umożliwiają sprowadzenie środka ciężkości dźwigni (2) do jej osi obrotu.

Przetworniki różnicy ciśnień mają dwa mieszki pracujące w układzie przeciwsobnym, dzięki czemu tylko różnica ciśnień wytwarza siłę oddziałującą na kryształ kwarcu.

Najlepsze właściwości metrologiczne mają przetworniki ciśnienia absolutnego. Budowa ich jest analogiczna do budowy przetworników ciśnienia, z tym tylko, że układ pomiarowy to znaczy mieszek sprężysty, dźwignia z przeciwcieżarami i rezonator kwarcowy są umieszczone w próżni. W warunkach próżni zostaje wyeliminowany wpływ ośrodka na



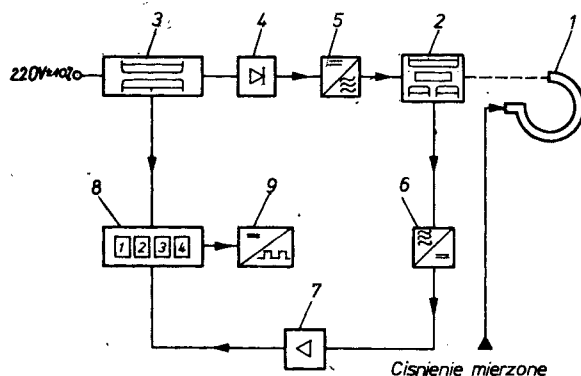
Rys.3. Schemat przetwornika ciśnienia z rezonatorem kwarcowym. 1—mieszek sprężysty, 2—dźwignia, 3—przeciwcieżar, 4—belka pomiarowa, 5—8—elektrody pobudzająco-odczytujące

tłumienie drgającej belki oraz wpływ zmiany temperatury otoczenia, ponieważ w próżni nie ma zagęszczenia cząsteczek, parowania i wpływu absorpcji na częstotliwość drgań kryształu. Ponadto w wysokiej próżni nie występują molekularne warstwy zanieczyszczeń, które mogłyby obniżyć stabilność i dokładność przetworników.

Omówione przetworniki współpracują z komputerowymi układami zasilająco—odczytowymi stanowiącymi odrębną całość. Układy te, budowane w oparciu o mikroprocesory, umożliwiają między innymi linearyzację sygnału wyjściowego z przetwornika pomiarowego, wyświetlenie wyniku pomiaru w dowolnych jednostkach oraz obróbkę wyników pomiarów i przetwarzanie danych, zgodnie z dowolnym, uprzednio założonym programem. Dzięki automatycznemu układowi odczytu, przetworzone dane pomiarowe są wyświetlane w ułamku sekundy z rozdzielnością rzędu $3 \cdot 10^{-6}$ zakresu pomiarowego. Liczną stosunkowo grupę stanowią ciśnieniomierze cyfrowe, w konstrukcji których zastosowano przetworniki typu indukcyjnego. Niżej omówiono przykładowo konstrukcje wyrobów dwóch firm, a mianowicie OTA Industriegeräte GmbH (RFN) oraz Wallace & Tiernan Div. (USA).

Firma OTA Industriegeräte GmbH produkuje ciśnieniomierz cyfrowy DIGICOMB 0,1. Jest to przyrząd o zwartej konstrukcji, w obudowie prostokątnej o wymiarach znormalizowanych, przeznaczony do zabudowy tablicowej.

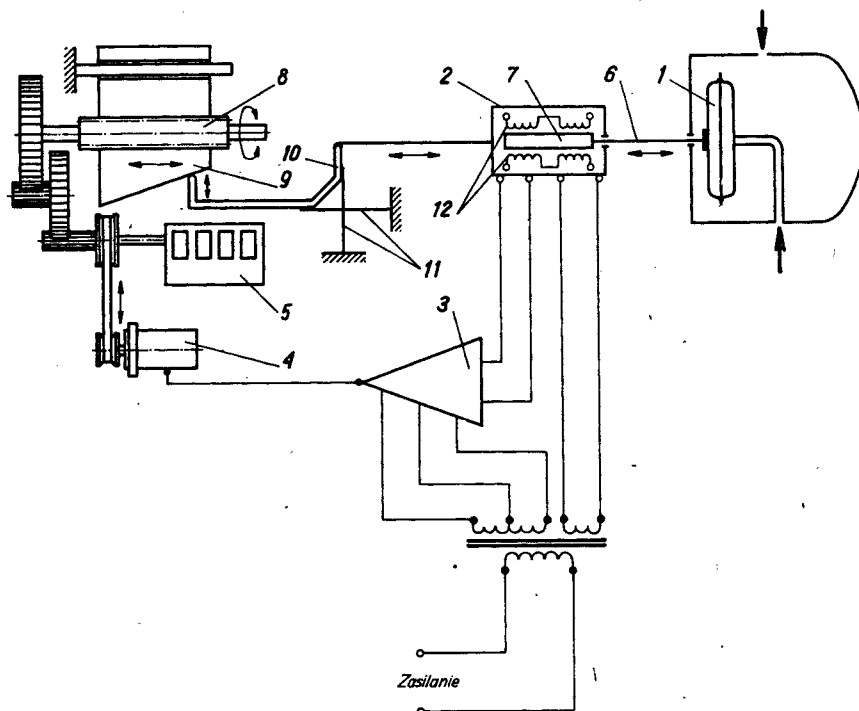
Schemat przyrządu przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Schemat blokowy ciśnieniomierza cyfrowego z transformatorem różnicowym. 1—sprężyna rurkowa Bourdona'a, 2—transformator różnicowy, 3—zasilacz sieciowy, 4—prostownik, 5—modulator, 6—demodulator, 7—wzmacniacz, 8—wskaźnik cyfrowy, 9—wyjście BCD

Elementem pomiarowym tego ciśnieniomierza jest sprężyna rurkowa Bourdona'a (1) wykonana ze stopu o nazwie Duratherm 600, charakteryzująca się dużą liniowością oraz bardzo małą histerezą (wytwórca podaje, że histereza praktycznie równa jest zeru). Współpracuje ona z transformatorem różnicowym, którego ruchomy rdzeń jest połączony ze swobodnym końcem sprężyny rurkowej. Dopóki rdzeń zajmuje położenie symetryczne względem obu połówek uzwojenia wtórnego, dopóty napięcia w nich indukowane są równe co do wartości lecz przeciwnie skierowane, przez co znoszą się wzajemnie. Na wyjściu transformatora nie ma wówczas sygnału napięciowego. Jeśli jednak rdzeń zostanie przesunięty z położenia równowagi, na skutek odkształcenia sprężyny rurkowej, do której zadano ciśnienie, wówczas na wyjściu transformatora pojawi się napięcie, którego wielkość jest proporcjo-

nalna do wielkości przesunięcia rdzenia. Pierwotne uzwojenie transformatora różnicowego (2) jest zasilane z zasilacza sieciowego (3) poprzez prostownik (4) oraz modulator (5). Sygnał wyjściowy z uzwojenia wtórnego jest podawany na demodulator (6) (w którym jest odpowiednio formowany), a następnie, poprzez wzmacniacz (7), do elektronicznego wskaźnika cyfrowego (8) pokazującego wynik pomiaru. Przyrząd ma również wyjście BCD, które może być wykorzystane do współpracy z komputerem. Firma Wallace & Tiernan Div. produkuje ciśnieniomierz cyfrowy serii 660 A, którego schemat przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Ciśnieniomierz cyfrowy z nadajnikiem indukcyjnym. 1—element pomiarowy, 2—nadajnik indukcyjny, 3—wzmacniacz, 4—serwomotor, 5—mechaniczny licznik cyfrowy, 6—trzępierz, 7—rdzeń nadajnika indukcyjnego, 8—śruba pociągowa, 9—krzywka, 10—zespół dźwigni, 11—sprężyny krzyżowe, 12—cewka nadajnika indukcyjnego

Składa się on z następujących głównych zespołów: głowicy pomiarowej z elementem sprężystym (1), nadajnika indukcyjnego (2), wzmacniacza (3), serwowatoru (4), mechanicznego wskaźnika cyfrowego (5) oraz urządzenia nadążnego.

Elementem sprężystym jest mała puszka membranowa wykonana z materiału Ni—Span C wykazujące dobrą stabilność temperaturową i pomijalną histerezę. Element ten wykazuje ponadto dużą czułość i powtarzalność, jeśli nie działają na niego zbyt duże siły zwrotne. Jest on połączony za pośrednictwem nieczułego na zmiany temperatury trzpienia (6) z rdzeniem (7) nadajnika indukcyjnego. Każdy element sprężysty i nadajnik indukcyjny jest dobierany i indywidualnie wzorcowany. Nadajnik indukcyjny jest

połączony ze wzmacniaczem o dużym wzmocnieniu i czułości. Duża czułość wzmacniacza i nadajnika indukcyjnego pozwala na stosowanie małych odkształceń elementu sprężystego, co zmniejsza histerezę. Sygnał ze wzmacniacza jest podawany na serwomotor, którego wał jest połączony za pośrednictwem przekładni pasowej i zębatej ze wskaźnikiem cyfrowym i śrubą pociągową (8) urządzenia nadążnego. Śruba napędza krzywkę (9) umocowaną na prowadnicach. Luz pomiędzy śrubą a nakrętką jest kassowany przez sprężynę śrubową. Ruch boczny krzywki przenosi się na zespół dźwigni (10) ułożyskowanej na płaskich sprężynach krzyżowych (11), powodując zmianę położenia nadajnika indukcyjnego względem elementu sprężystego. Profil krzywki jest dobierany tak, aby linearyzował nieliniowość elementu sprężystego. Powierzchnia czołowa krzywki jest utwardzona dla zabezpieczenia przed szybkim zużywaniem się.

Przed przeciążeniem zabezpieczają miernik wyłączniki graniczne. Gdy na element sprężysty nie działa żadne ciśnienie, z wyjątkiem atmosferycznego, to rdzeń w nadajniku indukcyjnym znajduje się w takim położeniu względem cewki (12), przy którym nie ma żadnego sygnału napięciowego.

Zmiana ciśnienia powoduje odkształcenie elementu sprężystego, a zatem i przemieszczenie rdzenia. Zmiana położenia rdzenia powoduje powstanie sygnału napięciowego proporcjonalnego do odkształcenia elementu sprężystego. Sygnał ten zostaje wzmocniony przez wzmacniacz i steruje serwomotorem. Kierunek obrotu serwomotoru zależy od polaryzacji sygnału, a szybkość obrotu od wielkości napięcia. Ruch wałka serwomotoru jest przekazywany z jednej strony na wskaźnik cyfrowy, z drugiej zaś, na śrubę napędzającą krzywkę. Ruch krzywki powoduje zmianę położenia dźwigni związanej sztywno z nadajnikiem indukcyjnym. Następuje zmiana położenia cewki względem rdzenia. Wyjściowy sygnał z nadajnika zanika i serwomotor zatrzymuje się. Wskaźnik wskazuje zadaną wartość ciśnienia i stan ten trwa do momentu, w którym pojawi się nowa zmiana ciśnienia w obrębie elementu sprężystego. W zależności od rodzaju mierzonego ciśnienia zastosowano dwa zespoły podstawowe — jeden do pomiaru ciśnienia absolutnego, drugi do pomiaru nadciśnienia, podciśnienia, różnicy ciśnień.

3. Przegląd krajowych opracowań ciśnieniomierzy cyfrowych

W wyniku rozeznania przeprowadzonego w Instytutach wyższych uczelni, Polskiej Akademii Nauk, samodzielnych placówkach naukowo-badawczych oraz Ośrodkach Badawczo-Rozwojowych niektórych zakładów, uzyskano informacje dotyczące obecnego stanu zaawansowania w kraju prac nad problemami cyfrowego pomiaru ciśnienia. Stwierdzono, że ciśnieniomierze cyfrowe nie są w kraju produkowane na skalę przemysłową. Przez instytuty i wyższe uczelnie są wykonywane pojedyncze sztuki, zazwyczaj dla potrzeb własnych.

Należy jednak zaznaczyć, że nie są to opracowania kompleksowe. W przeważającej części sprowadzają się one do opracowania przetworników ciśnienia i zastosowania typowych woltomierzy cyfrowych bez dostosowywania ich do typoszeręgi ciśnień (odczyt jest dokonywany w jednostkach napięcia) i warunków przemysłowych.

W Instytucie Podstawowych Problemów Chemii Uniwersytetu Warszawskiego opracowano i zbudowano model ciśnieniomierza cyfrowego w oparciu o przetwornik elektrokinetyczny typu MES-16/3, zawór kluczujący typu ZKS-EV oraz woltomierz cyfrowy typu V-627E. Schemat blokowy ciśnieniomierza cyfrowego oraz schemat działania przetwornika elektrokinetycznego przedstawiono na rys.6.

Mierzone ciśnienie statyczne, poprzez zawór kluczujący jest doprowadzane w postaci impulsu prostopadłego do przetwornika elektrokinetycznego. Napięcie generowane przez przetwornik jest mierzone przy pomocy woltomierza cyfrowego. Synchronizator wzbudzany impulsem zewnętrznym wytwarza impulsy o dużej mocy i uruchamia zawór kluczujący oraz wytwarza impuls startu pomiaru dla woltomierza cyfrowego w czasie trwania impulsu ciśnienia. Wartość mierzonego ciśnienia jest wyświetlana na woltomierzu cyfrowym do chwili następnego pomiaru.

Dane techniczne

Zakres pomiarowy: $-70 \text{ kPa} \dots 0,2 \text{ MPa}$

Mierzone medium: gaz obojętny

Dokładność pomiaru: $0,2 \%$

Czas trwania impulsu ciśnienia: $0,2 \text{ s}$

Czas repetycji próbkowania: minimum 5 s

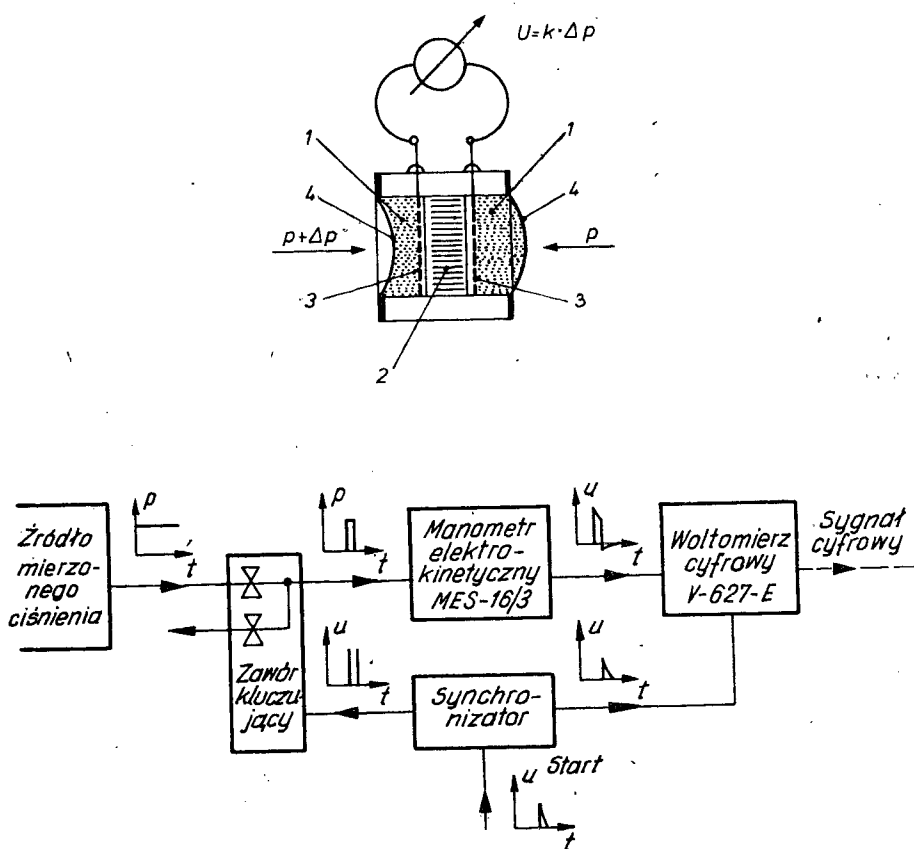
Wyjściowy sygnał cyfrowy: w kodzie 8-4-2-1 (BCD)

Pobór gazu z obiektu mierzonego: maksimum 5 l/h

Temperatura otoczenia przetwornika elektrokinetycznego i zaworu kluczującego: $-40 \dots +40^\circ\text{C}$

Długość kabla łączącego przetwornik z woltomierzem: do 100 m

Zasilanie: 220 V ; 50 Hz



Rys.6. Schemat działania przetwornika elektrokinetycznego oraz schemat blokowy ciśnieniomierza cyfrowego.
1—roztwór elektrolitu, 2—przegroda porowata, 3—elektroda, 4—element sprężysty

W Instytucie Lotnictwa zbudowano model cyfrowego miernika ciśnienia ładowania dla lotniczego silnika tłokowego, w oparciu o czujnik potencjometryczny produkowany przez WSK Świdnik na licencji radzieckiej oraz wskaźnik cyfrowy wykonany wyłącznie na elementach i podzespołach importowanych.

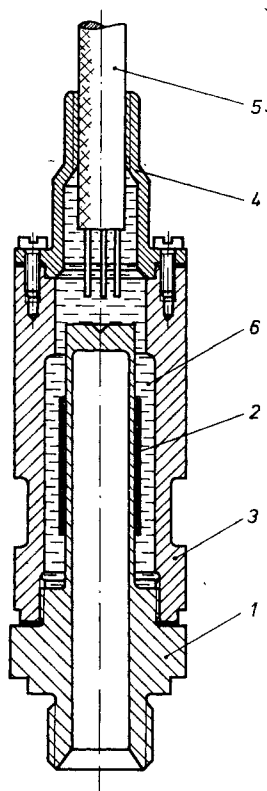
Dane techniczne

Zakres pomiarowy: $+100 \dots -50$ kPa

Dokładność: około 2 %

Sygnał wyjściowy czujnika: $0 \dots 2$ V

W Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej opracowano tensometryczne przetworniki ciśnienia. Na rysunku 7 przedstawiono budowę tych przetworników.



Rys.7. Tensometryczny przetwornik ciśnienia. 1—element pomiarowy, 2—tensometr, 3—osłona, 4—kołpak, 5—przewód, 6—olej transformatorowy

Zasadniczą częścią przetwornika jest element sprężysty w kształcie cienkościennej cylindra, którego grubość ścianki dobiera się w zależności od nominalnego ciśnienia mierzonego. Element pomiarowy (1) wraz z końcówką gwintowaną tworzy korpus przetwornika. Na elemencie pomiarowym są naklejone przy pomocy kleju BF-2 tensometry (2) chronione przed uszkodzeniem mechanicznym osłoną (3) umocowaną za pomocą gwintu na korpusie. W górnej części osłony, przy pomocy 4 wkrętów jest umocowany kołpak (4). Poprzez kołpak jest wyprowadzony na zewnątrz przewód 4-żyłowy (5) łączący przetwornik z aparaturą wzmacniającą. Tensometry naklejone na elemencie sprężystym tworzą pełny mostek, przy czym tensometry czynne są naklejone w kierunku obwodowym, a tensometry kompensacyjne w kierunku wzdłużnym. W celu zmniejszenia ewentualnych gradientów temperatury w konstrukcji przetwornika oraz wyeliminowania ich wpływu na wskazanie tensometrów, wewnętrzna przestrzeń między elementem sprężystym a osłoną jest wypełniona olejem transformatorowym (6).

Dane techniczne

Zakres mierzonych ciśnień: $1,5 \dots 10$ MPa

Klasa dokładności: 0,5...1

Rezystancja układu pomiarowego: $4 \times 120 \Omega$

Nominalny sygnał wyjściowy (analogowy): 1 mV/V

Nominalne napięcie zasilania: $5 \dots 10$ V

Zakres temperatur czynnika mierzonego: $-40 \dots +90^\circ\text{C}$

Rodzaj stosowanych tensometrów: foliowe (typ FK-3)

Ponadto są prowadzone obecnie prace zmierzające do rozszerzenia typoszerzgu mierzonych ciśnień (opracowywanie membranowych przetworników tensometrycznych) oraz zwiększenia nominalnego sygnału wyjściowego do 1 V/V (próba wbudowania do przetwornika wzmacniacza scalonego), co ułatwi konwersję analogowo—cyfrową.

W Instytucie Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk opracowano przetworniki indukcyjne bezdrzewniowe do pomiaru ciśnień dynamicznych. Przetworniki te są włączane w system przetwarzania sygnału analogowego na sygnał cyfrowy z wykorzystaniem maszyny cyfrowej ODRA-1204.

Dane techniczne

Zakres pomiarowy: do 0,1 MPa

Pasma przenoszenia: 0...10 kHz

Dokładność

dla ciśnień statycznych: około 2 %

dla ciśnień dynamicznych: około 0,1 %

W Zakładzie Mechaniki Górniczej Polskiej Akademii Nauk opracowano i zbudowano precyzyjne przyrządy analogowe do pomiaru różnicy ciśnień, bazujące na przetworniku ciśnienia typu PRC-5/74 działającym na zasadzie transformatora różnicowego. Istnieje możliwość wbudowania do przyrządu konwertera analogowo-cyfrowego.

Dane techniczne

Zakresy pomiarowe: 0...10 Pa, 0...100 Pa, 0...1 kPa

Wartość ciśnień statycznych: do kilkuset kPa

Dokładność: około 1 %

Napięcie wyjściowe: 0...10 V

Częstotliwość graniczna: 3 Hz

W MERA-PIAP opracowano międzysystemowy przetwornik ciśnienia typu A271, który jest przeznaczony do współpracy systemów automatyki pneumatycznej i elektrycznej. Przetwornik od strony wejścia jest przystosowany do współpracy z urządzeniami systemu pneumatycznego o sygnale standardowym od 20 kPa do 100 kPa, a od strony wyjścia z urządzeniami o sygnale standardowym prądowym. Przetwornik składa się z zespołu pomiarowego oraz elektronicznego zespołu przetwarzającego. Zespół pomiarowy składa się z mieszka sprężystego i belki z naklejonymi półprzewodnikowymi tensometrami krzemowymi. Zasada działania polega na wykorzystaniu zjawiska piezorezystancyjnego. Zespół elektroniczny składa się z zasilacza, wzmacniacza i mostka pomiarowego, zbudowanych w oparciu o liniowe układy scalone, tranzystory krzemowe oraz wysokiej klasy elementy biernie. Prowadzone są dalsze prace mające na celu opracowanie typoszeregu przetworników na zakresy ciśnień od 0 do 10 kPa i od 0 do 60 MPa.

Dane techniczne

Zakres pomiarowy: 20...100 kPa

Klasa dokładności: 0,4...0,6

Błąd podstawowy: 0,25...0,4 %

Liniowość: 0,1...0,2 %

Histeresa: 0,1 %

Błąd temperaturowy: 0,2...0,3 %/10°C

Pobudliwość: 0,05 %

Zakresy prądów wyjściowych: 0...5 mA przy $R_{o\ max} = 2\ k\Omega$

0...20 mA przy $R_{o\ max} = 500\ \Omega$

4...20 mA przy $R_{o\ max} = 500\ \Omega$

Zasilanie: $220^{+22}_{-33}\ V$; $50\pm 1\ Hz$

Pobór mocy: 3 VA

Temperatura pracy: $-20...+60^{\circ}C$

Gabaryty: 200 x 165 x 115 mm

W Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Zjednoczenia UNITRA opracowano i zbudowano przetworniki ferrytowe. Są one wykonane w postaci ferrytowych rdzeni toroidalnych, na które nawinięto dwa

uzwojenia: magnesujące i pomiarowe. Rdzenie ferrytowe są przemagnesowywane prostokątnymi impulsami prądowymi, w wyniku czego w uzwojeniu pomiarowym indukują się impulsy napięciowe będące sygnałem wyjściowym przetwornika. Amplituda impulsów zmienia się wraz ze zmianami mierzonego ciśnienia. Przetworniki te współpracują z przyrządem magnesująco-pomiarowym typu Z-420, który jest źródłem impulsów prądowych oraz przetwornikiem impulsów napięciowych na napięcie stałe, proporcjonalne do amplitudy tych impulsów. Napięcie stałe może być mierzone miernikiem analogowym lub cyfrowym.

Dane techniczne

Zakres pomiarowy: 2...200 MPa

Liniowość charakterystyki: około 4 %

Zakres temperatur pracy: 0...150°C

Czynnik mierzony: ciecz, para, gaz

Gabaryty: 2 x 1,3 x 0,9 mm

W Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy zbudowano model strumieniowego przetwornika cyfrowo-analogowego z komparatorem, na elementach INTEFLUID SPAS Krajowego Systemu Automatyki i Pomiarów POLMATIK, w którym zastosowano manometr sprężynowy z tarczą kodową Gray'a. Przetwornik przekształca wejściowy sygnał ciśnieniowy na 5-bitowy sygnał niskociśnieniowy.

W Instytucie Automatyki Polskiej Akademii Nauk opracowano i zbudowano tranzystorowy miernik pojemnościowy do pomiaru ciśnień szybkozmiennych, który można wykorzystać do pomiarów składowej stałej. Do budowy miernika zastosowano przetwornik typu pojemnościowego oraz układ elektroniczny. Przetwornikiem jest kondensator pomiarowy. Mierzone ciśnienie powoduje odkształcenie membrany użytej jako jedna okładka kondensatora. Drugą okładką jest korpus przetwornika połączony z masą przyrządu tranzystorowego, co uniezależnia wskazania przyrządu od przypadkowych zmian pojemności spowodowanych, na przykład dotknięciem ręki.

Dane techniczne

Zakresy pomiarowe: 0...300 Pa; 0...1,2 kPa; 0...3 kPa; 0...60 kPa; 0...0,1 MPa; 0...0,16 MPa;
0...0,25 MPa; 0...0,4 MPa; 0...2 MPa

Liniowość charakterystyk statycznych: około 1,5 %

Histeresa: około 1,5 %

Powtarzalność wskazań: około 0,7 %

Górna granica pasma przenoszenia: 3 kHz

Gabaryty: sześciokąt 27 x 52 mm

W Przedsiębiorstwie Automatyki Przemysłowej MERA-PNEFAL uruchomiono produkcję przetworników ciśnienia na licencji firmy Honeywell Test Instruments Div. (USA).

Elementem pomiarowym przetworników jest krzemowa membrana z wdyfundowanymi cienkowarstwowymi tensometrami półprzewodnikowymi. Przetworniki te charakteryzują się wysokimi właściwościami metrologicznymi i użytkowymi oraz dużą różnorodnością wykonania, dostosowaną do pracy w środowiskach o różnym stopniu agresywności. Mogą one być wykorzystane do budowy ciśnieniomierzy cyfrowych. W chwili obecnej są jednak zbyt drogie i trudnodostępne.

Wnioski

Na podstawie zamieszczonego wyżej przeglądu można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Ciśnieniomierze cyfrowe są przyrządami skomplikowanymi. Stopień trudności ich wykonania rośnie szybko wraz ze wzrostem klasy dokładności. Jest to spowodowane między innymi koniecznością

specjalnego doboru odpowiednich elementów sprężystych i pomiarowych dla czujników ciśnienia o wysokich właściwościach metrologicznych i użytkowych, oraz koniecznością stosowania wysokiej klasy elementów elektronicznych, fotoelektrycznych, optoelektronicznych, elektromechanicznych itp.

- 2. We wszystkich ciśnieniomierzach cyfrowych można wyróżnić dwa zasadnicze zespoły, a mianowicie pomiarowy i odczytowy.

Zespołem pomiarowym jest przetwornik bezpośrednio przetwarzający sygnał ciśnieniowy na sygnał elektryczny, bądź przetwornik, w którym sygnał ciśnieniowy jest przetwarzany najpierw na sygnał w postaci przesunięcia lub siły, a następnie przez odpowiedni przetwornik na sygnał elektryczny.

Zespołem odczytowym jest urządzenie elektroniczne lub elektromechaniczne, w którym następuje zamiana sygnału elektrycznego na wskazania cyfrowe wartości mierzonego ciśnienia.

O ile budowa drugiego zespołu jest raczej mało zróżnicowana we wszystkich konstrukcjach, o tyle w budowie zespołu pierwszego występuje duża różnorodność konstrukcyjna, spowodowana wykorzystaniem różnych metod pomiarowych i zjawisk fizycznych.

3. Decydujący wpływ na dokładność całego przyrządu ma rodzaj i jakość zastosowanych elementów pomiarowych. Muszą się one odznaczać wysoką czułością i powtarzalnością, oraz znikomą małą histerezą i nieliniowością. Często są to klasyczne elementy sprężyste, takie jak sprężyny rurkowe Bourdone'a o różnych kształtach, mieszki sprężyste lub przepony, wykonane jednak ze specjalnych materiałów, np. stopu Monela K, Ni-Spanu C, Durathermu 600 lub kwarcu.

Przyrządy, w których zastosowano elementy pomiarowe wykonane z kwarcu, charakteryzują się bardzo wysoką dokładnością i powtarzalnością, porównywalną z wzorcami pierwotnymi. Jednak wielozwojowe sprężyny rurkowe Bourdone'a, wykonane z kwarcu są bardzo wrażliwe na przechyły i wstrząsy. Wad tych nie wykazują przyrządy firmy Paroscientific Inc, w których elementem pomiarowym jest rezonator kwarcowy w kształcie belki.

Poza klasycznymi elementami pomiarowymi są stosowane również elementy niekonwencjonalne, takie jak: piezoelektryczne, rezonansowe, częstotliwościowe, pojemnościowe, indukcyjne, tensometryczne itp.

4. Większość producentów ciśnieniomierzy cyfrowych wytwarza je o jednym lub kilku zakresach ciśnień, wykorzystując jedną metodę pomiarową. Powodem tego są prawdopodobnie trudności występujące przy pokryciu pełnego typoszerzemu ciśnień (zawartego w granicach od 0...10 kPa do 0...60 MPa) przy zastosowaniu jednej metody pomiarowej.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że większość ciśnieniomierzy cyfrowych jest produkowana jako przyrządy specjalizowane, przeznaczone do z góry określonych wymagań i warunków pracy, np. jako lotnicze przyrządy pokładowe, przyrządy przeznaczone wyłącznie do pomiarów ciśnienia gazów, do układów automatyki przemysłowej itp.

W typowo laboratoryjnych przyrządach są niekiedy stosowane wymienne elementy pomiarowe umożliwiające zmianę zakresu. Wynik pomiaru jest wówczas podawany w jednostkach niemianowanych, a wartość ciśnienia odczytuje się ze specjalnych tablic dołączanych do każdego wymiennego elementu pomiarowego.

5. Wśród producentów ciśnieniomierzy cyfrowych obserwuje się tendencje do konstruowania części pomiarowej i odczytowej przyrządów w taki sposób, aby każda z nich stanowiła odrębną całość. W części pomiarowej coraz częściej pojawiają się przetworniki w których wykorzystano zjawiska rezonatorowe. Na ich wyjściu uzyskuje się bezpośrednio sygnał dyskretny. W części odczytowej są stosowane mikroprocesory.

6. Jak wspomniano poprzednio, w kraju brak jest produkcji ciśnieniomierzy cyfrowych. Przedstawione opracowania należy ocenić jako rozwiązania wstępne, nie obejmujące typoszerzemu zakresów ciśnień i nie w pełni przystosowane do warunków przemysłowych.

Literatura

- [1] Łapiński M., Włodarski W.: Miernictwo elektryczne wielkości nieelektrycznych. Warszawa 1968, WNT.
- [2] Sowiński A.: Cyfrowa technika pomiarowa. Warszawa 1970, WKiŁ.
- [3] Styburski W.: Przetworniki termometryczne — konstrukcja, projektowanie i użytkowanie. Warszawa 1971, WNT.
- [4] Guzy L., Krakowski Z.: Studia i analiza kierunków rozwojowych w zakresie nowych metod i przyrządów do pomiaru ciśnienia oraz termometrii manometrycznej. Etap 1 i 2. Dokumentacja MERA—PIAP 1971.
- [5] Guzy L., Karbowniczek A., Łuczak I.: Ciśnieniomierze cyfrowe w wersji przemysłowej i laboratoryjnej. Etap 1. Założenia. Dokumentacja MERA—PIAP 1976.

W pracy korzystano też z katalogów i prospektów firm zagranicznych.