POLITECHNIKA WROCŁAWSKA,
INSTYTUT INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ I POMIAROWEJ
LABORATORIUM CZUJNIKÓW I POMIARÓW WIELKOŚCI NIEELEKTRYCZNYCH

I-21

Ćwiczenie nr 3. CZUJNIKI DO POMIARÓW CIŚNIENIA

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie wybranych czujników ciśnienia, ich parametrów metrologicznych i sposobów ich doświadczalnego wyznaczania oraz możliwości zastosowania w aparaturze pomiarowej.

2. Program ćwiczenia

2.1. Przeprowadzić badania elektrycznego - transformatorowego czujnika ciśnienia:

a. wyznaczyć charakterystykę statyczną czujnika $U_{TR} = f(p)$, ciśnienie zmieniać od 0 do p_{MAX} i od p_{MAX} do 0, dla co najmniej w 10 równoodległych punktach, w warunkach znamionowego zasilania (U_{ZAS}) i częstotliwości (f_{ZAS}). Obliczyć współczynnik nachylenia charakterystyki K [mV/kPa],

b. określić miarę histerezy H czujnika na podstawie otrzymanych wyników $\{H = U(p\uparrow) - U(p\downarrow)\}$,

c. określić wpływ napięcia sygnału zasilającego czujnik na charakterystykę czujnika. W tym celu zmierzyć ponownie charakterystykę czujnika $U_{TR} = f(p)$ dla dwóch różnych, uzgodnionych z prowadzącym, napięć zasilających U_{ZAS1}, U_{ZAS2},wyższych i niższych od U_{ZAS} (podpunkt a). Uzyskane charakterystyki $U_{TR} = f(p)$ dla U_{ZAS}, U_{ZAS1}, U_{ZAS2} sugeruje się umieścić na wspólnym wykresie. Wyznaczyć procentowy współczynnik podatności na zmianę napięcia zasilania dla dwóch różnych ciśnień (około 0,4 i 0,8 p_{MAX}) według wzoru:

$$K_u = \left(\frac{U_{TR2} - U_{TR1}}{U_{TR}}\right) / \left(\frac{U_{ZAS2} - U_{ZAS1}}{U_{ZAS}}\right) * 100\% \tag{1}$$

d. określić wpływ częstotliwości sygnału zmiennego zasilającego czujnik na wyjściowe napięcie czujnika. W tym celu zmierzyć ponownie charakterystykę czujnika $U_{TR} = f(p)$ dla dwóch różnych, uzgodnionych z prowadzącym, częstotliwości sygnału zasilającego czujnik f_{ZAS1}, f_{ZAS2},wyższych i niższych od f_{ZAS} (podpunkt a). Uzyskane charakterystyki $U_{TR} = f(p)$ dla f_{ZAS}, f_{ZAS1}, f_{ZAS2} umieścić na wspólnym wykresie. Wyznaczyć procentowy współczynnik podatności na zmianę częstotliwości dla dwóch różnych ciśnień (około 0,4 i 0,8 p_{MAX}) według wzoru:

$$K_u = \left(\frac{U_{TR2} - U_{TR1}}{U_{TR}}\right) / \left(\frac{f_{ZAS2} - f_{ZAS1}}{f_{ZAS}}\right) * 100\% \tag{2}$$

e. przeprowadzić badania manometru kl 0.6. Sprawdzić manometr kl 0.6 w co najmniej 10 równo odległych punktach podziałki w odniesieniu do manometru cyfrowego,

f. określić powtarzalność wyników pomiaru przy ciśnieniu około 0,4 i 0,8 p_{MAX}. Wykonać co najmniej 10 pomiarów w tych samych warunkach, potem wyliczyć średnią i odchylenie średnie kwadratowe.

2.2. Przeprowadzić badania piezorezystancyjnego czujnika ciśnienia.

a. wyznaczyć charakterystykę statyczną czujnika $U_{PR} = f(p)$. Obliczyć współczynnik nachylenia charakterystyki K [mV/kPa].

b. zbadać histerezę czujnika,

c. określić powtarzalność wyników pomiaru przy ciśnieniu około 0,4 i 0,8 p_{MAX}.

Uwagi: Badania przeprowadzić w temperaturze otoczenia oraz powtórzyć w temperaturze uzgodnionej z prowadzącym np. 40 ^{o}C w komorze termicznej. Do sporządzenia wykresów trzeba mieć co najmniej 10 punktów pomiarowych. Zadane ciśnienie mierzyć za pomocą cyfrowego miernika ciśnienia. Odczyty z przyrządów dokonywać jednocześnie.

3. Wprowadzenie

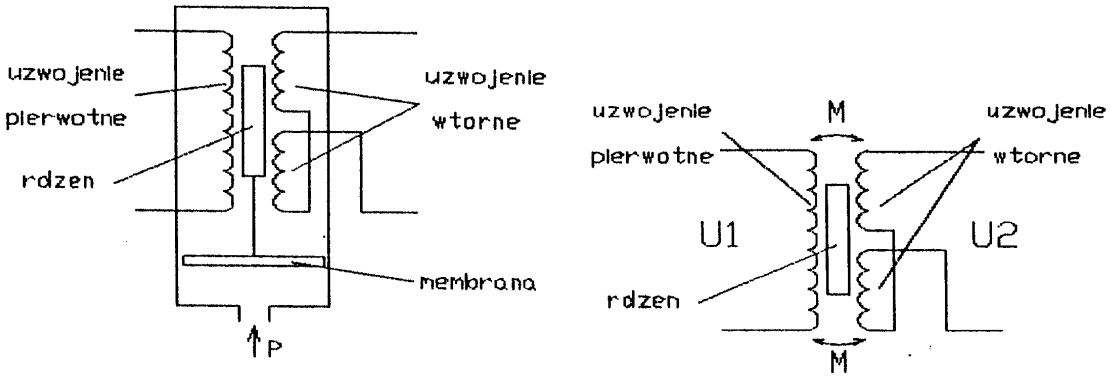
Ciśnienie jest jedną z najczęściej mierzonych wielkości nieelektrycznych. Klasyczne pomiary ciśnienia wykonywane są z reguły czujnikami mechanicznymi, w których ciśnienie oddziałuje na element sprężysty, jakim jest np. rurka Bourdon'a, mieszek, membrana itp., powodując jego przemieszczenie.

Przemieszczenie elementu sprężystego przekazywane jest na wskazówkę, zwykle poprzez mechanizm przekładni zębatej. Obecnie, z uwagi na elektronizację wielu dziedzin życia, czujniki ciśnienia muszą pracować w elektronicznych (często skomputeryzowanych) systemach pomiarowych lub systemach automatycznej regulacji. W takich czujnikach niezbędne jest przetworzenie ciśnienia na sygnał elektryczny np. napięcie, prąd, częstotliwość, itp. Coraz bardziej powszechne stają się czujniki ciśnienia wyposażone w mikroprocesory, w których dokonywana jest automatycznie linearyzacja charakterystyki przetwarzania, korekcja wpływu temperatury, itp.

Przedmiotem badania są transformatorowy i piezorezystancyjny czujnik ciśnienia.

4. Czujnik ciśnienia transformatorowy

W czujnikach tych wykorzystuje się zależność siły elektromotorycznej indukowanej w uzwojeniu wtórnym od napięcia uzwojenia pierwotnego w różnych warunkach sprzężenia obu uzwojeń (rys. 1).



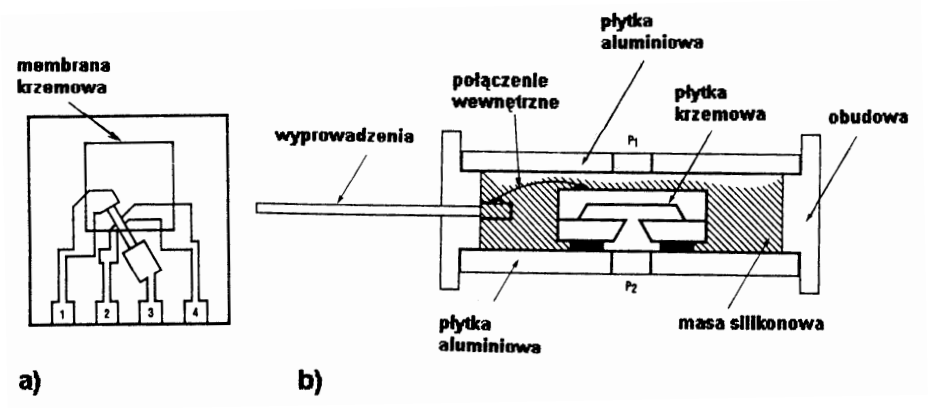
Rys. 1. Czujnik ciśnienia transformatorowy, różnicowy.

Ciśnienie *p* poruszając membranę przesuwa rdzeń wykonany z materiału magnetycznego, który zmienia sprzężenie magnetyczne *M* pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a uzwojeniem wtórnym. Wartość napięcia *U* indukowana w uzwojeniu wtórnym jest tym większa im większa część rdzenia jest zawarta pomiędzy nimi. W czujniku różnicowym na skutek przemieszczania się rdzenia, wartość napięcia indukowana w jednym uzwojeniu wtórnym rośnie, a w drugim maleje.

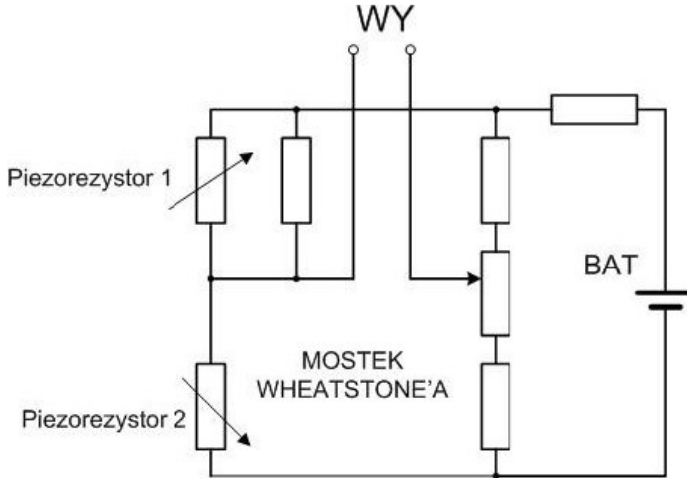
Uzwojenia wtórne są łączone w tzw. układ różnicowy, tak, że przy symetrycznym położeniu rdzenia względem nich napięcie na wyjściu jest równe zeru. Napięcie indukowane w uzwojeniu wtórnym jest proporcjonalne do napięcia zasilającego uzwojenie pierwotne oraz do jego częstotliwości. W układach, w których napięcie i częstotliwość są stabilizowane, dokładność pomiaru takimi czujnikami jest około1%. Różnicowe czujniki transformatorowe cechuje duża czułość.

5. Czujnik piezorezystancyjny

Technologia wytwarzania krzemowych czujników ciśnienia jest jedną z dynamicznie rozwijających się dziedzin technologii czujników pomiarowych. Czujniki te charakteryzują się bardzo małymi wymiarami, dobrą liniowością i czułością oraz bardzo małą bezwładnością. Typowy piezorezystancyjny czujnik ciśnienia zbudowany jest z monokrystalicznej płytki krzemu, w której wytrawiona jest cienka membrana o grubości od kilku do kilkudziesięciu μm w zależności od zakresu ciśnienia. Na powierzchni membrany umieszczone są techniką dyfuzji 2 lub 4 piezorezystory. Pod wpływem nacisku (ciśnienia) cieczy lub gazu na membranę, powstają w niej duże naprężenia, które powodują przyrost lub zmniejszenie rezystancji piezorezystorów. Zmiany rezystancji piezorezystorów są następnie przetwarzane na sygnały elektryczne w mostkowych układach elektronicznych. Schemat budowy piezorezystancyjnego czujnika ciśnienia przedstawiono na rys. 2, a podstawowy układ przetwarzania zmian rezystancji na sygnał elektryczny (mostek Wheatstone'a) pokazano na rys. 3.



Rys. 2. Schemat budowy piezorezystancyjnego czujnika ciśnienia: a) płytka krzemowa, b) konstrukcja wewnętrzna



Rys. 3. Schemat podstawowego układu mostka Wheatstone'a do współpracy z czujnikiem piezorezystancyjnym TM-520 (z dwoma piezorezystorami)

4. Manometry sprężyste (ciśnieniomierze sprężyste)

Zasada działania manometrów sprężystych opiera się na pomiarze odkształcenia elementu sprężystego pod wpływem mierzonego ciśnienia:

$$s = p\,(K/E), \tag{3}$$

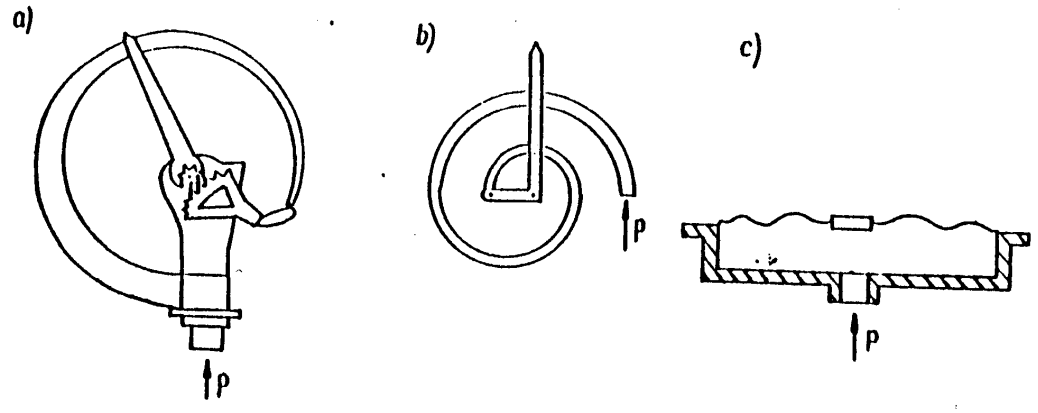
gdzie:

s – przesunięcie liniowe wybranego punktu elementu sprężystego,

E – współczynnik sprężystości materiału,

K – parametr zależny od kształtu elementu sprężystego.

Kształt naczyń sprężystych jest tak dobrany, aby mierzone odkształcenie s było liniową funkcją ciśnienia p. Najbardziej rozpowszechnione są manometry sprężyste z rurką Bourdon'a.



Rys.4. Manometry sprężyste: a) z rurką Bourdon'a, b) z wielokrotną rurką Bourdon'a, c) membranowy

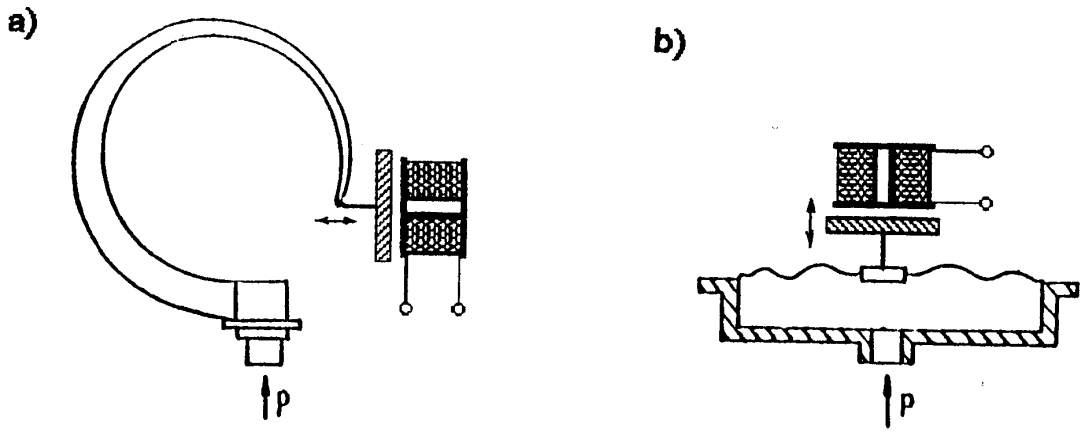
Zakres ciśnień mierzonych manometrami sprężystymi z rurką Bourdon'a wynosi od 10^2 do 10^8 N/m2. Zakres pomiarowy manometrów sprężystych membranowych jest nieco niższy i wynosi 10^2 - 10^6 N/m^2. Manometry z elementami sprężystymi nie pozwalają na uzyskanie dużych dokładności. Przyczyną jest niestałość parametrów elementów sprężystych spowodowana ich starzeniem się, pełzaniem, histerezą. Klasy dokładności manometrów zwykłych wynoszą 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4, a manometrów precyzyjnych 0,25 i 0,4.

Manometry z wielokrotną rurką Bourdon'a charakteryzują się większą czułością.

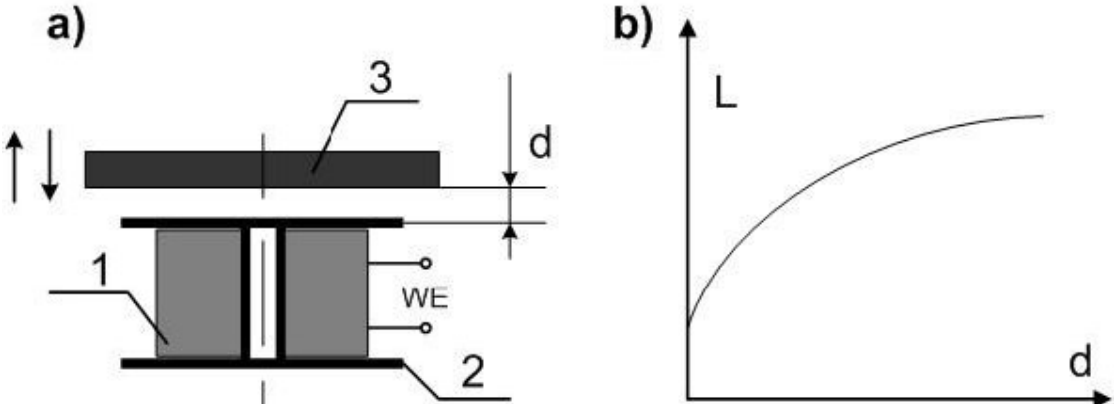
7. Manometr cyfrowy z rurką Bourdon'a

Manometr cyfrowy MK-10 zbudowany jest w oparciu o klasyczną rurkę Bourdon'a, na końcu której przymocowana jest płytka metalowa (np. miedziana, rys. 5). Płytka ta porusza się w pobliżu cewki, z którą stanowi indukcyjnościowy czujnik przemieszczenia. Budowę takiego czujnika przedstawiono na rys. 6.

Działanie jego jest następujące: prąd przemienny przepływający przez cewkę wytwarza pole magnetyczne, pod którego wpływem w materiale przewodzącym płytki metalowej zbliżonej do cewki indukują się prądy wirowe. Prądy te wytwarzają własne przeciwnie skierowane pole magnetyczne, w efekcie zmniejszają skojarzony z cewką strumień magnetyczny, a zatem indukcyjność cewki, zależnie od szerokości szczeliny d. Zmiany indukcyjności przetwarzane są w elektronicznym układzie generacyjnym na sygnał zmienny w czasie, w postaci ciągu impulsów elektrycznych.



Rys. 5. Schemat budowy manometru sprężystego z indukcyjnościowym czujnikiem przemieszczenia: a) z rurką Bourdon'a; b) membranowy



Rys. 6. Indukcyjnościowy czujnik działający na zasadzie prądów wirowych:
a) budowa; b) zależność indukcyjności *L* cewki od odległości *d* płytki metalowej.
1 – uzwojenie cewki, 2 – karkas, 3 – płytka metalowa, WE – końcówki uzwojenia cewki

Częstotliwość impulsów jest zależna od ciśnienia. Impulsy te podawane są do wejścia licznikowego mikroprocesora (również do gniazda wyjściowego MK-10), który mierzy ich częstotliwość, linearyzuje zależność częstotliwości od ciśnienia, oblicza wynik pomiaru z korekcją wpływu temperatury, wyświetla dynamicznie wynik pomiaru ciśnienia oraz transmituje wartość mierzonego ciśnienia do komputera. Zakres pomiarowy manometru MK-10 wynosi 160 kPa. Klasa 0.25, pozwala mu pełnić w ćwiczeniu funkcję przyrządu wzorcowego. Posiada wyjście transmisji szeregowej RS-232, umożliwiające podłączenie do komputera.

8. Manometr hydrostatyczny

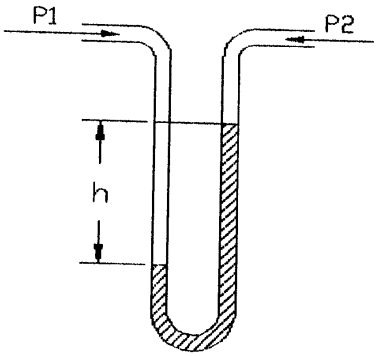
Manometr hydrostatyczny jest często stosowanym wzorcem ciśnienia. Najprostszą jego wersję stanowi manometr hydrostatyczny o kształcie litery *U* (*U* - rurka, rys. 7), mierzący z zasady różnicę ciśnień:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = g\, h\, (\sigma_m - \sigma_r) \tag{4}$$

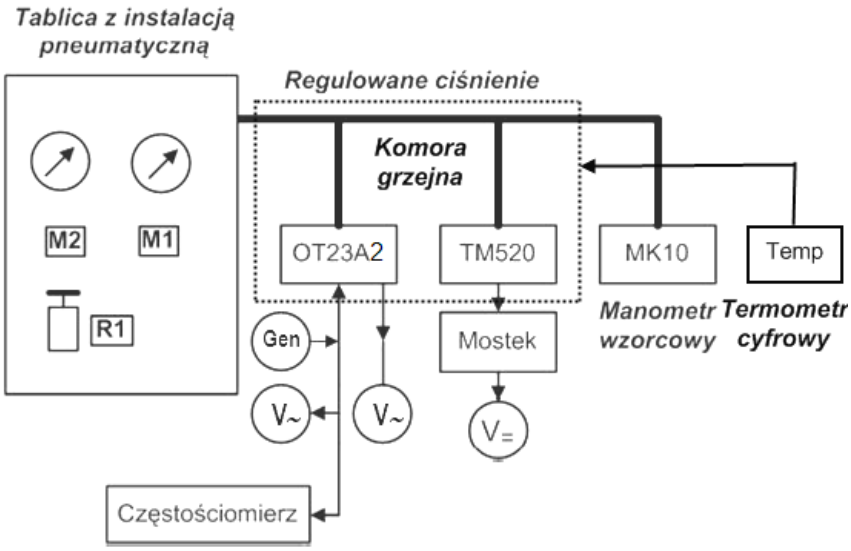
gdzie:

p_1, p_2 – ciśnienia,
g – lokalne przyspieszenie ziemskie,
h – różnica wysokości słupów cieczy w ramionach *U*-rurki,
σ_m – gęstość cieczy manometrycznej,
σ_r – gęstość czynnika zapełniającego resztę *U*-rurki.

Dokładność pomiaru ciśnienia z wykorzystaniem manometru hydrostatycznego zależy od kilku czynników, np. zjawiska włoskowatości, dokładności określenia g i p_1, p_2, stabilności temperatury otoczenia, dokładności pionowego ustawienia manometru, równomierności przekroju rurki na całej jej długości.



Rys 7. Manometr hydrostatyczny – *U*-rurka.



Rys. 8. Schemat połączeń układu do pomiaru charakterystyk czujników ciśnienia transformatorowego OT-23-A2, piezorezystancyjnego TM-520 i manometru.
Gen – generator sygnału sinusoidalnego, V~ – woltomierz napięcia zmiennego,
V= – woltomierz napięcia stałego, M – manometry, R – reduktory ciśnienia

9. Uwagi do wykonania programu ćwiczenia

Wykonując pomiary z wykorzystaniem pneumatycznej sieci należy zwrócić uwagę na szczegóły obsługi:

1 – uruchomienie sprężarki dostarczającej sprężone powietrza następuje po załączeniu przełącznikiem (do pozycji pionowej) znajdującego się na tablicy rozdzielczej ściennej umieszczonej obok tablicy z pneumatyczną siecią,

2 – wykręcenie reduktorów R (w lewo) powoduje zmniejszenie ciśnienia powietrza w instalacji,

3 – wkręcenie reduktorów R (w prawo) powoduje wzrost ciśnienia w instalacji.

Aby wykonać pomiary charakterystyk wymienionych czujników należy doprowadzić do sieci pneumatycznej sprężone powietrze o ciśnieniu ok. 2 at wskazywane na manometrze M1. Reduktorem R1 ustalić na manometrze M2 wskazanie równe 1,60 [kG/cm^2]. Przez regulację reduktora R1 ustala się ciśnienie doprowadzone do badanych czujników.

Przy realizacji pomiarów określonych w punkcie 2.1c programu ćwiczenia napięcie sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 5 kHz można zmieniać w zakresie 0 – 5 V (z generatora G432 można uzyskać napięcia 0 – 1,5 V).

Przy realizacji pomiarów określonych w punkcie 2.1d programu ćwiczenia częstotliwość należy zmieniać w przedziale 4 – 6 kHz (przy napięciu maksymalnym dopuszczalnym).

10. Literatura

1. Romer E., Miernictwo przemysłowe, Warszawa 1970, PWN, str. 97, str. 135-144.
2. Łapiński M., Włodarski W., Miernictwo elektryczne wielkości nieelektrycznych, Warszawa 1969,WNT, str. 89.
3. PN-66/M-53512. Ciśnieniomierz precyzyjny.
4. PN-66/M-53500. Ciśnieniomierze wskazówkowe zwykłe.

11. Pytania kontrolne

1. Przedstawić zasadę działania transformatorowego czujnika ciśnienia.
2. Przedstawić zasadę działania piezorezystancyjnego czujnika ciśnienia.
3. Przedstawić zasadę działania czujnika wykorzystującego prądy wirowe.
4. Omówić sposób wyznaczania charakterystyki statycznej czujnika ciśnienia.
5. Omówić sposób wyznaczania histerezy czujnika ciśnienia.
6. Omówić sposób wyznaczania współczynników podatności na zmiany napięcia i częstotliwości sygnału zasilającego transformatorowy czujnik ciśnienia.
7. Przeliczanie ciśnienia z danych wartości na wartości wyrażone w innych jednostkach (zadania obliczeniowe).

12. Dane techniczne badanych czujników

Czujnik transformatorowy OT-23-A2		Piezorezystancyjny czujnik ciśnienia TM-520	
Zakres nominalny	2 at	*(Wartości graniczne)*	
Przeciążalność	50% zakresu nominalnego	Zakres pomiarowy ciśnienia:	0...150 kPa
Napięcie zasilające *AC*	5 V ±10% (wart. skuteczna)	Dopuszczalne nadciśnienie	300 kPa
Częstotliwość	5 kHz ±5%	Natężenie prądu max.	15 mA
Pobór prądu ze źródła zasilania	20 mA	Napięcie zasilania (stałe) max.	5 V
Dopuszczalna temperatura pracy	-30 ºC do +60 ºC	Rezystancja izolacji min.	5 MΩ
Histereza	1 % zakresu nominalnego		
Nieliniowość	1 % zakresu nominalnego	*(Wartości charakterystyczne)*	
		Rezystancja min. - max.	800 - 1200 Ω
		Czułość min.	14 - 25 mV
		Nieliniowość max.	0.5 %
		Histereza max.	0.5 %
		Temperaturowy współczynnik zmian napięcia wyjściowego przy ciśnieniu max.	1.0 % na 10 kPa

13. Jednostki ciśnienia

Nazwa	Symbol	Wartość
niuton na metr kwadratowy	Pa, N/m^2; $kg/(m\ s^2)$	$1\ N/m^2 = 10^{-3}\ kN/m^2 = 10^3\ mN/m^2 = 1\ 10^{-5}$ bar $= 1{,}01972\ 10^{-5}\ kG/cm^2 = 1{,}01972\ 10^{-5}$ at $= 0{,}986923\ 10^{-5}$ atm $= 0{,}101974\ mmH_2O$ $= 7{,}500062\ 10^{-3}$ mmHg (lub Tr)
bar	bar	$1\ bar = 10^5 N/m^2$
kilogram siła na centymetr kwadratowy (*atmosfera techniczna*)	kG/cm^2	$1\ kG/cm^2 = 98066{,}5\ N/m^2$ $1\ at = 1\ kG/cm^2$
milimetr słupa wody	mmH_2O	$1\ mmH_2O = 9{,}8066\ N/m^2 = 10^{-4}$at
milimetr słupa rtęci	mmHg	1 mmHg = 133,322N/m2 = 1/760 Atm (*atm. fizyczna*) $1\ Tr = 1\ mmHg = 133{,}322\ N/m^2$
hektopaskal	hPa	$1\ Pa = 100\ Pa = 1\ mbar = 10\ mmH_2O$ *(*ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza wynosi średnio 1013,25 hPa)*

DODATEK A

A1. Przykłady tabel pomiarowych

Tab.1. Wyniki badań czujników: transformatorowy i piezorezystancyjny

L.P.	p_W	Δp_W	δp_W	$p_W \pm \Delta p_W$	p_M		Δp_M	δp_M	$p_M \pm \Delta p_M$	U_{TR}	ΔU_{TR}	δU_{TR}	$U_{TR} \pm \Delta U_{TR}$	U_{PR}	ΔU_{PR}	δU_{PR}	$U_{PR} \pm \Delta U_{PR}$	Uwagi
	[kPa]	[kPa]	[%]	[kPa±kPa]	[kG/cm^2]	[kPa]	[kPa]	[%]	[kPa±kPa]	[mV]	[mV]	[%]	[mV±mV]	[mV]	[mV]	[%]	[mV±mV]	Warunki pomiaru Czujnik transformatorowy: U_{ZAS} = F_{ZAS} = Czujnik piezorezystancyjny: U_{ZAS} = Woltomierze: V1: *typ, parametry* V2: *typ, parametry* V3: *typ, parametry*
1																		
2																		
3																		

p_W – ciśnienie zmierzone manometrem cyfrowy kl 0,25
p_M – ćiśnienie zmierzone manometrem kl 0,6

Tab.2. Wyniki badań podatności czujnika transformatorowego na zmiany napięcia sygnału zasilającego.

L.P.	p_W	Δp_W	δp_W	$p_W \pm \Delta p_W$	U_{TR}	ΔU_{TR}	δU_{TR}	$U_{TR} \pm \Delta U_{TR}$	Uwagi
	[kPa]	[kPa]	[%]	[kPa±kPa]	[mV]	[mV]	[%]	[mV±mV]	Warunki pomiaru Czujnik transformatorowy: $U_{ZAS1=}$ U_{ZAS2} F_{ZAS} =
1									
2									
3									

Tab.3. Wyniki badań podatności czujnika transformatorowego na zmiany częstotliwości sygnału zasilającego.

L.P.	p_W	Δp_W	δp_W	$p_W \pm \Delta p_W$	U_{TR}	ΔU_{TR}	δU_{TR}	$U_{TR} \pm \Delta U_{TR}$	Uwagi
	[kPa]	[kPa]	[%]	[kPa±kPa]	[mV]	[mV]	[%]	[mV±mV]	Warunki pomiaru Czujnik transformatorowy: U_{ZAS} = $F_{ZAS\ 1}$= $F_{ZAS\ 2}$=
1									
2									
3									

DODATEK B

Wyciąg z PN-71/M-53511

1.2. Określenia .

1.2.1. Ciśnieniomierz – przyrząd służący do pomiaru ciśnienia.

1.2.2. Ciśnieniomierz zwykły – ciśnieniomierz ogólnego przeznaczenia wskazujący bez urządzeń do wykonywania funkcji dodatkowych (np. sygnalizacji lub zdalnego przekazywania wskazań).

1.2.3. Manometr – ciśnieniomierz do pomiaru nadciśnienia.

Wyciąg z PN –66/M-53500

Ciśnieniomierze wskazówkowe zwykłe z elementami sprężystymi. Wymagania i nadania techniczne.

1.3.3. Klasa niedokładności – liczba wyrażająca bezwzględna wartość dopuszczalnych błędów podstawowych wskazań w użytkowaniu w procentach zakresu wskazań.

1.3.7. Histereza pomiarowa – różnica wskazań dla tej samej wartości przy wzrastających i malejących ciśnieniach po lekkim opukaniu ciśnieniomierza przed dokonaniem odczytu. Po osiągnięciu górnej granicy zakresu wskazań należy wskazówkę przetrzymać przez 5 min.

1.4.7. Klasa niedokładności. W zależności od dopuszczalnych błędów rozróżnia się 5 klas ciśnieniomierzy wymienionych w tablicy 1. Ciśnieniomierze precyzyjne są wykonywane w klasach niedokładności 0.25 i 0.4.

2. Wymagania

2.7. Jednostki ciśnienia.

Ciśnieniomierze powinny być wzorcowane w meganiutonach na metr kwadratowy (MN/m^2).

2.8. Błędy podstawowe wskazań w temperaturze odniesienia 20 °C±5 °C nie powinny przekraczać błędów dopuszczalnych w zależności od klasy niedokładności podanych w tablicy 1.

Tablica 1.

Błędy podstawowe	Dopuszczalne wartości błędów podstawowych wskazań w % górnej granicy zakresów wskazań w temperaturze 20°C				
	Klasa niedokładności				
	0.6	1	1.6	2.5	4
	±0.6	±1	±1.6	±2.5	±4

2.9. Histereza pomiarowa wskazań nie powinna być większa niż bezwzględna wartość dopuszczalnych błędów podstawowych wskazań podanych w tablicy 1.

2.10. Zmienność wskazań nie powinna przekraczać połowy dopuszczalnej wartości błędu podstawowego w użytkowaniu (tablica 2).

Tablica 2.

Górna granica zakresu wskazań		Przeciążalność w % górnej granicy zakresu wskazań
MN/m^2	kg/cm^2	
Do 10 włącznie	Do 100 włącznie	25

2.13. Dokładność zerowego wskazania.

Przy braku ciśnienia w obrębie elementu sprężystego (pomiarowego) koniec wskazówki powinien wskazywać zerową kreskę podziałki. Dopuszcza się odchylenie końca wskazówki w stosunku do kreski zerowej o wartość nie przekraczającą bezwzględnej wartości dopuszczalnego błędu podstawowego wskazań w użytkowaniu (tablica 1) jednak mniejszą niż długość działki elementarnej.

2.15. Odporność na przeciążenie ciśnieniem statycznym.

Ciśnieniomierz obciążony w ciągu 15 min ciśnieniem statycznym określonym w tablicy 2 nie powinien wskazywać błędów większych niż podane w p. 2.8.; 2.9; 2.10.