

MIKROSYSTEMY (MEMS) - laboratorium

Ćwiczenie nr 3

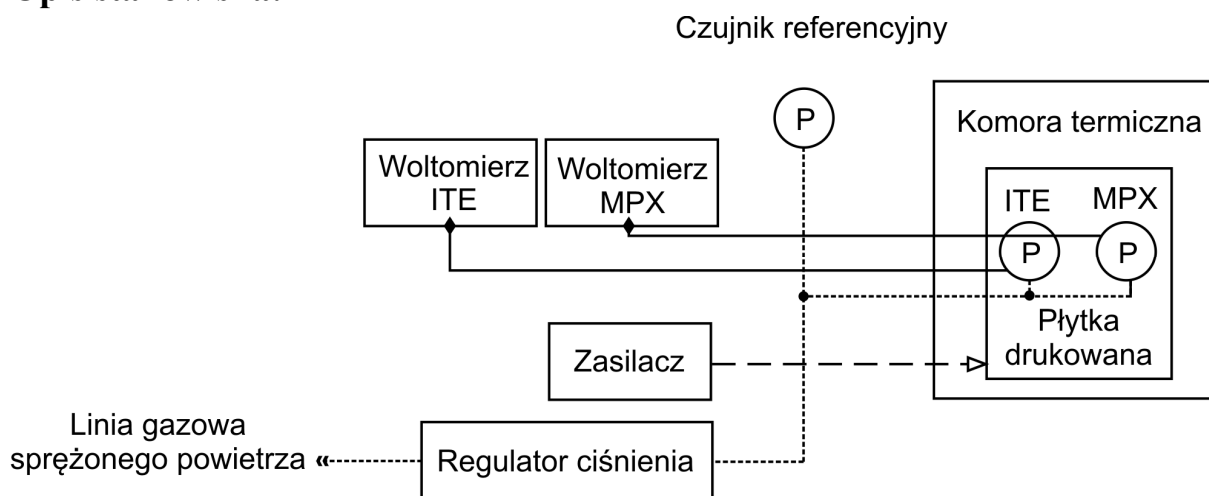
Piezorezystancyjny czujnik ciśnienia: pomiar i wyznaczenie parametrów metrologicznych czujnika i przetwornika ciśnienia

Cel i zakres ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie i porównanie parametrów metrologicznych piezorezystancyjnego czujnika i przetwornika ciśnienia.

W ćwiczeniu zostaną zmierzone parametry piezorezystancyjnego czujnika ciśnienia ITE PS10M (ITE Warszawa) oraz piezorezystancyjnego przetwornika ciśnienia MPX5100DP (Motorola). Szczegółowe dane metrologiczne zawarte są w kartach katalogowych tych czujników. Czujnik ITE jest „gołą” krzemowo-szklaną strukturą, natomiast przetwornik MPX zawiera dodatkowo zintegrowane układy przetwarzania sygnału pomiarowego, wewnętrznej kompensacji temperaturowej oraz kalibracji.

Opis stanowiska:



Rysunek 1. Schemat stanowiska pomiarowego

W skład stanowiska pomiarowego wchodzi następujące elementy:

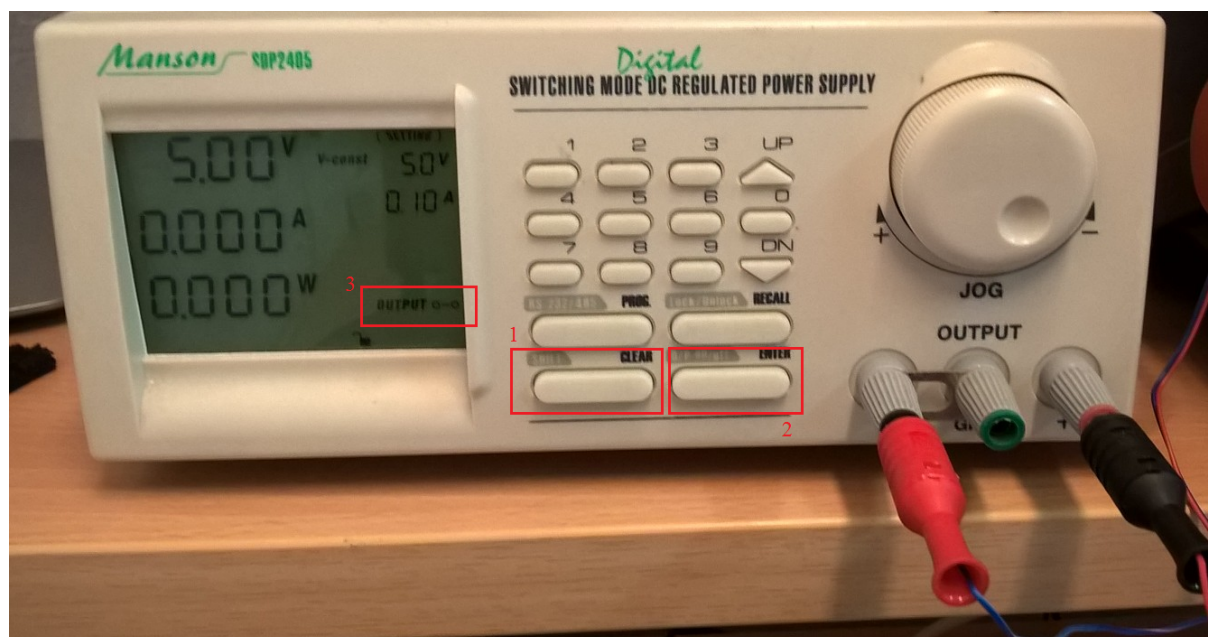
1. Czujnik ciśnienia ITE
2. Czujnik ciśnienia MPX
3. Płytka drukowana do montażu czujników
4. Komora termiczna
5. Regulator ciśnienia wraz z manometrem
6. Referencyjny czujnik ciśnienia.
7. Zasilacz DC typ LPS-305
8. Woltomierze.

Czujnik ciśnienia ITE zasilany jest stałym prądem $I_{zas} = 1 \text{ mA}$ (napięcie zasilania mostka wynosi $U_{zas} = 5 \text{ V}$). Rezystancja mostka Wheatstona „widziana” od strony zasilania wynosi około $5 \text{ k}\Omega \pm 10\%$. Czujnik ciśnienia MPX zasilany jest stałym napięciem $U_{zas} = 5 \text{ V}$.

Przebieg ćwiczenia:

Przygotowanie stanowiska do pomiarów:

1. Napięcie zasilania czujników wynosi 5 V (**nie regulować nastaw zasilacza!**). Włączyć zasilacz SDP-2405 poprzez wciśnięcie przycisku (1), następnie przycisku (2), tak, aby na wyświetlaczu zasilacza pojawiła się informacja o zamknięciu obwodu (3).



2. Odczekać 2 minuty do ustabilizowania się prądu zasilającego czujnik (źródło prądowe zasilające czujnik zamknięte jest wewnątrz obudowy).
3. Włączyć mierniki uniwersalne, ustawić na nich pomiar napięcia stałego VDC w odpowiednim zakresie.



UWAGA:

Po każdorazowej zmianie nastaw ciśnienia **odczekać około 30 sekund** do ustabilizowania się wskazań referencyjnego czujnika ciśnienia i woltomierzy.

A. Wyznaczenie charakterystyk U_{wyj} (P):

Zmierzyć charakterystyki sygnału wyjściowego U_{wyj} w funkcji ciśnienia (Rys. 2). Wykreślić krzywe i wykonać obliczenia nieliniowości (Rys. 2), czułości i histerezy pneumatycznej czujnika (Rys. 3, 4), temperaturowego współczynnika napięcia niezrównoważenia i temperaturowego współczynnika napięcia wyjściowego.

Ciśnienie zmieniać z kwantem 10 kPa w zakresie **od 0 kPa do 100 kPa** , a następnie **od 100 kPa do 0 kPa** (wskazania odczytywać z manometru).

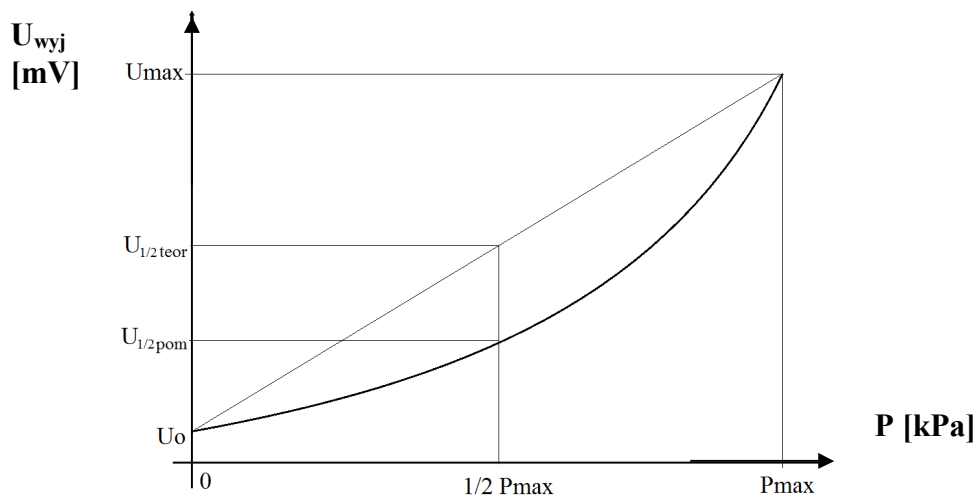
Wartości sygnałów zanotować w pliku Excel, zapisanym pod nazwą **<numer_indeksu>** w katalogu **Mikrosystemy MEMS** na Pulpicie (dotyczy także kolejnych pomiarów).

B. Nieliniowość czujnika

Ciśnienie zmieniać według cyklu:

$P = 0 \text{ kPa} \rightarrow \frac{1}{2} P_{\max} \text{ (pomiar } U_{1/2\text{pom}} \text{)} \rightarrow P_{\max} \rightarrow 0 \text{ kPa}$.

Cykl pomiarowy należy powtórzyć trzykrotnie.



Rysunek 2. Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji ciśnienia

Przy wyznaczaniu nieliniowości czujnika korzystamy z następujących zależności:

Span = FSO (Full Scale Output) [mV]

$$FSO = U_{\max} - U_0$$

FSO jest to napięcie pełnego zakresu, czyli całkowity przyrost sygnału wyjściowego (maksymalny sygnał wyjściowy) pomniejszony o napięcie niezrównoważenia U_0 , dla ciśnienia maksymalnego dla danego rodzaju czujnika, odniesiony do napięcia zasilającego i wyrażony w mV/V.

P_{\max} jest to maksymalne ciśnienie jakie może być doprowadzone do czujnika, najczęściej $P_{\max} = 100 \text{ kPa}$.

U_{\max} jest to sygnał wyjściowy zmierzony przy ciśnieniu P_{\max} , a $U_0 = \text{OFFSET}$ to sygnał wyjściowy bez obciążenia ciśnieniowego (Rys. 4).

Uwaga: napięcie U_0 może przyjmować wartości dodatnie lub ujemne w zależności od rozrzutów rezystancji piezorezystorów w mostku i wynosi typowo:

- $U_0 = 0$ do 5 mV/V dla bardzo dobrych producentów,
- $U_0 = 5$ do 10 mV dla średnich producentów.

Dla ujemnego U_0 : $FSO = U_{\max} + U_0$

$$U_{1/2\text{teor}} = \frac{1}{2} FSO + U_0$$

$U_{1/2\text{pom}}$ jest to sygnał wyjściowy dla $\frac{1}{2} P_{\max}$ zmierzony podczas przyrostu ciśnienia:

Nieliniowość obliczamy ze wzoru (1):

$$N = \frac{U_{1/2teor} - U_{1/2pom}}{FSO} \cdot 100\% \quad (1)$$

Najczęściej dla dobrych producentów nieliniowość czujników wynosi $N < 0,2\%$.

C. Czulość czujnika

S – czulość jest to przyrost sygnału wyjściowego pod wpływem przyrostu ciśnienia odniesiony do wartości napięcia zasilania; wyrażony w mV/V/100 kPa. Parametr ten obliczamy na podstawie charakterystyki $U_{wyj} = f(P)$ (Rys. 4) korzystając z następującego wzoru (2):

$$S = \frac{FSO}{U_{zas}} \quad \text{dla } P_{max} = 100 \text{ kPa} \quad [\text{mV/V/100 kPa}] \quad (2)$$

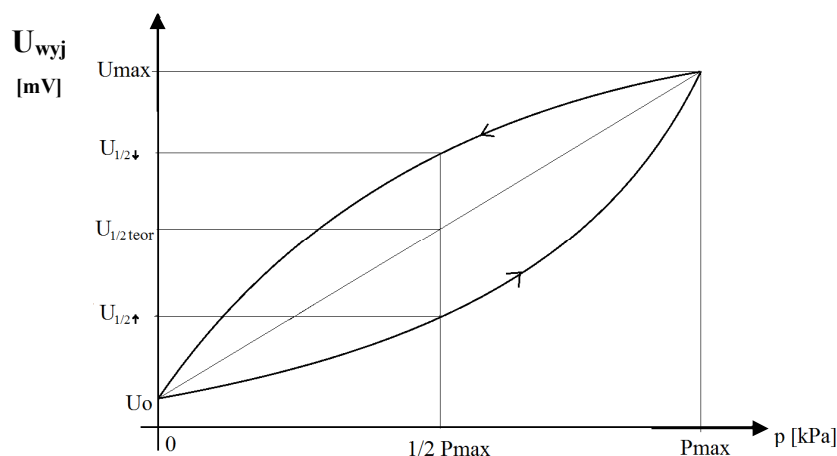
Najczęściej parametr ten wynosi $S = 20 \text{ mV/V/100 kPa}$.

D. Histereza pneumatyczna połowy zakresu

Ciśnienie zmieniać według cyklu:

$P = 0 \text{ kPa} \rightarrow P_{max} \rightarrow \frac{1}{2}P_{max}$ (pomiar $U_{1/2\downarrow}$) $\rightarrow 0 \text{ kPa} \rightarrow \frac{1}{2}P_{max}$ (pomiar $U_{1/2\uparrow}$) $\rightarrow P_{max} \rightarrow 0 \text{ kPa}$

Cykl pomiarowy należy powtórzyć trzykrotnie.



Rysunek 3. Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji ciśnienia do wyznaczenia histerezy

Histerezę pneumatyczną obliczamy korzystając ze wzoru (3) lub (4):

$$H_{pneuma} = \frac{|U_{1/2\downarrow} - U_{1/2\uparrow}|}{FSO} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$H_{pneuma} = \frac{|(U_{1/2\downarrow} - U_{1/2teor})| - |(U_{1/2\uparrow} - U_{1/2teor})|}{FSO} \cdot 100\% \quad (4)$$

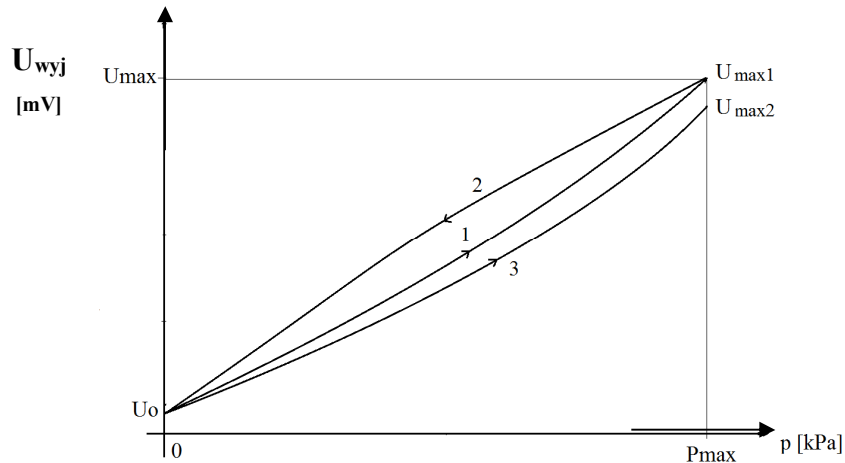
Parametr ten najczęściej ma wartość $< 0,05\%$.

D. Histereza pneumatyczna U_{\max}

Ciśnienie zmieniać według cyklu:

$P = 0 \text{ kPa} \rightarrow P_{\max} \text{ (pomiar } U_{\max1}) \rightarrow 0 \text{ kPa} \rightarrow P_{\max} \text{ (pomiar } U_{\max2}) \rightarrow 0 \text{ kPa}$

Cykl pomiarowy należy powtórzyć trzykrotnie.



Rysunek 4. Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji ciśnienia do wyznaczenia histerezy U_{\max}

Histerezę U_{\max} obliczamy korzystając ze wzoru (5):

$$H_{U_{\max}} = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_{5(10)}|}{5(10) \cdot FSO} \cdot 100\% \quad (5)$$

gdzie: $\Delta_1 = U_{\max1} - U_{\max2}$; $\Delta_2 = U_{\max2} - U_{\max3}$; ...

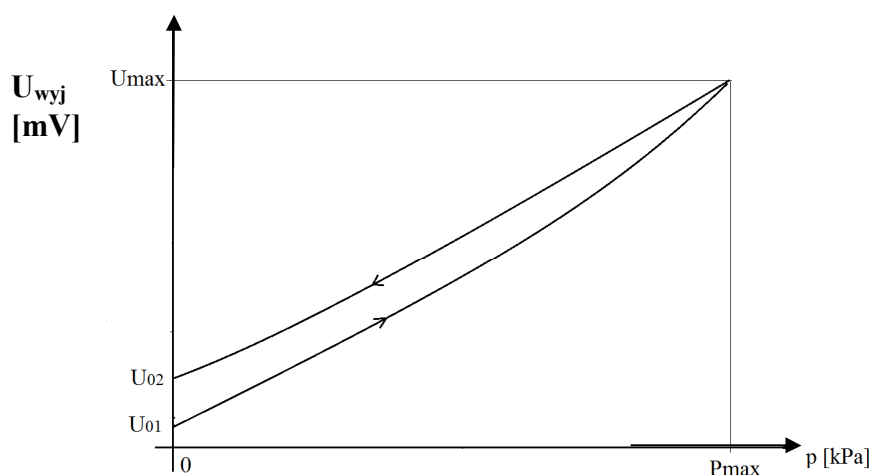
Najczęściej parametr ten przyjmuje wartość $< 0,01\%$.

E. Histereza pneumatyczna U_0

Ciśnienie zmieniać według cyklu:

$P=0 \text{ (pomiar } U_{01}) \rightarrow P_{\max} \rightarrow 0 \text{ (pomiar } U_{02}) \rightarrow P_{\max} \rightarrow P=0$

Cykl pomiarowy należy powtórzyć trzykrotnie.



Rysunek 5. Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji ciśnienia do wyznaczenia histerezy U_0

Histerezę U_0 obliczamy korzystając ze wzoru (6):

$$H_{U_0} = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_{5(10)}|}{5(10) \cdot FSO} \cdot 100\% \quad (6)$$

gdzie: $\Delta_1 = U_{01} - U_{02}$; $\Delta_2 = U_{02} - U_{03}$; ...

Najczęściej parametr ten przyjmuje wartość $< 0,05\%$.

Pomiary wykonać dla temperatury otoczenia ($\sim 20^\circ\text{C}$), a następnie dla wskazanej przez prowadzącego temperatury z zakresu $40^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$.

Literatura:

1. Jan A. Dziuban, *Technologia i zastosowanie mikromechanicznych struktur krzemowych i krzemowo szklanych w technice mikrosystemów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004
2. Strony internetowe producentów piezorezystancyjnych czujników ciśnienia np. Motorola, lub producentów modułów do pomiaru ciśnienia np. Peltron.

Zagadnienia do samodzielnego przygotowania:

1. Wyjaśnić różnice pomiędzy czujnikiem a przetwornikiem ciśnienia.
2. Efekt piezorezystancyjny – definicja, wzory, schematy.
3. Budowa krzemowo-szklanego piezorezystancyjnego czujnika ciśnienia.
4. Wyjaśnić parametry czujników ciśnienia: offset, FSO, histereza, nieliniowość, czułość.
5. Wyjaśnić pojęcie „klasa czujnika” i podać istniejące klasy czujników ciśnienia.