

# Sensory ciśnienia i nacisku

## Cel ćwiczenia

Poznanie typowych układów pracy i parametrów przemysłowych sensorów ciśnienia o wyjściu prądowym 4 - 20mA. Wyznaczenie i analiza charakterystyk przetwarzania i obciążenia badanych przetworników. Analiza ograniczeń wynikających z maksymalnej rezystancji obciążenia oraz czasu przetwarzania przetworników, w potencjalnych zastosowaniach. Wyznaczenie charakterystyki przetwarzania sensorów nacisku bazujących na foliach FSR.

## 1. Wstęp

Ciśnienie jest wielkością skalarną którą można zdefiniować jako granicę stosunku siły normalnej do powierzchni do pola tej powierzchni dążącej do zera. Ciśnienie jest wywierane na ciała stałe i płyny w kierunku prostopadłym do ich powierzchni.

$$P = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{F_n}{S}$$

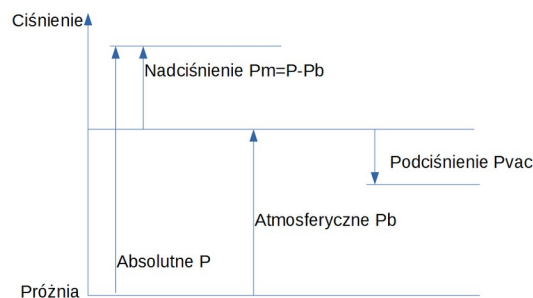
$F_n$  składowa siły prostopadła do powierzchni

$S$  pole powierzchni

Gdy siła  $F_n$  ma równomierny rozkład na powierzchni wówczas ciśnienie można zapisać wzorem:

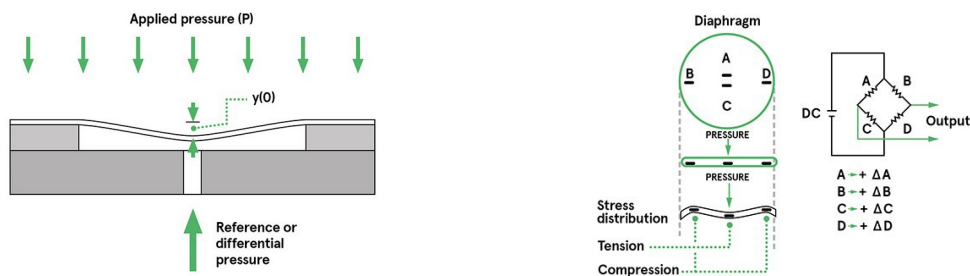
$$P = \frac{F_n}{S} [Pa]$$

Wartość mierzonego ciśnienia zależy od przyjętego poziomu odniesienia. Ciśnienie zmierzone względem próżni jest nazywane ciśnieniem absolutnym lub bezwzględnym i najczęściej bywa oznaczane literą P. Ciśnienie manometryczne  $P_m$  - jest to różnica ciśnienia absolutnego i ciśnienia otoczenia, którym najczęściej jest ciśnienie atmosferyczne, wskazywane przez barometr. Ciśnienie manometryczne może przyjmować wartości większe od zera i wówczas mówi się o nadciśnieniu lub wartości mniejsze od zera i wówczas mówi się o podciśnieniu  $P_{vac}$ . Ciśnienie wywierane przez słup powietrza atmosferycznego nosi nazwę ciśnienia barometrycznego (atmosferycznego) i oznaczane jest przez  $P_b$



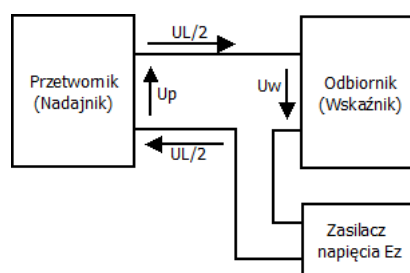
Rys. 1. Nazewnictwo ciśnienia w zależności od przyjętego punktu odniesienia

W ćwiczeniu wykorzystywane są przemysłowe przetworniki ciśnienia o wyjściu prądowy 4-20mA. Są to typowe przetworniki złożone. W ich budowie możemy wyróżnić elastyczną membranę przetwarzającą ciśnienia na zmianę wymiarów. Na membranie zainstalowane są tensometry pizorezystancyjne przetwarzające zmianę wymiarów na zmianę rezystancji. Tensometry pracują w mostku którego napięciowy sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do zmian rezystancji a tym samym do zmian ciśnienia. Napięcie to jest podawane na układ przetwornika  $U/I$ . Sygnał prądowy podany jest na wejście układu ze stopniem wyjściowy z regulowanym źródłem prądowym dopasowanym do linii 4-20 mA, który ustala prąd płynący w pętli w zależności od wartości wymuszenia. Struktura głowicy sensora ciśnienia przedstawiona jest na rysunku 1



Rys. 1. Głowica membranowego sensora ciśnienia

Sensory użyte w ćwiczeniu pracują w układzie pętli prądowej 2 przewodowej oznacza to że elementy toru pomiarowego połączone są szeregowo. Natomiast prąd potrzebny do zasilania sensorów nie może być większy niż 4mA. W takim połączeniu należy pamiętać o bilansie napięć.



Rys. 2. Rozkład napięć w 2 przewodowej pętli prądowej

Mianowicie, pętla prądowa pracuje właściwie gdy bilans napięć w pętli ( $U_p + U_w + U_L$ ) jest poniżej napięcia zasilania  $E_z$ , czyli gdy spełniona jest następująca nierówność:

$$U_p + U_w + U_L \leq E_z$$

Przykładowo  $12[V] + 5[V] + R_L[\Omega] \cdot 0,02[A] \leq E_z$ . Na tej podstawie można wyznaczyć dopuszczalną rezystancję linii  $R_L$  lub minimalną wartość napięcia zasilającego.

## 2. Przebieg ćwiczenia

Zadaniem studentów jest samodzielne zestawienie układów pomiarowych oraz wykonanie pomiarów i zebranie charakterystyk zgodnie z programem ćwiczenia, jak również opracowanie sprawozdania końcowego z przygotowaniem odpowiedzi na pytania postawione w poniższej instrukcji.

**Uwaga: Po zestawieniu układu pomiarowego, przed przystąpieniem do dalszej pracy konieczne jest sprawdzenie i akceptacja układu pomiarowego przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne.**

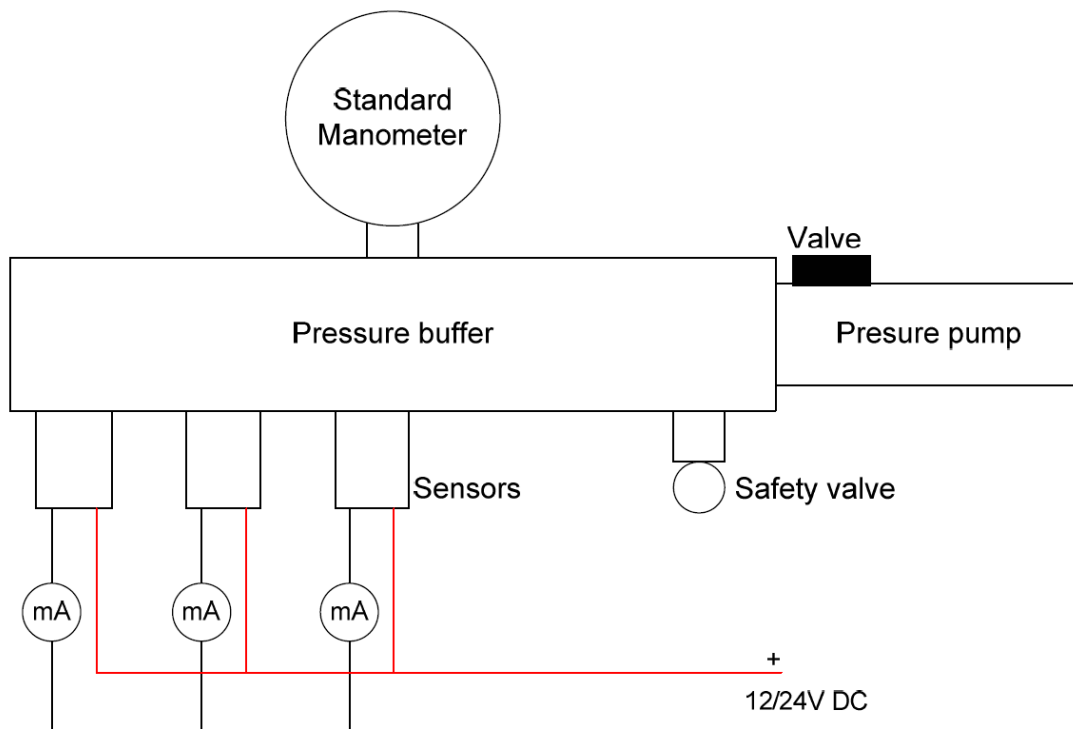
**W przypadku zastania połączonego układu pomiarowego koniecznym jest sprawdzenie poprawności połączeń oraz wartości początkowych obciążeń oraz napięć zasilających w obwodzie pomiarowym.**

### 2.1 Stanowisko pracy

Do realizacji ćwiczenia przeznaczone jest stanowisko wyposażone w:

- Cyfrowy ciśnieniomierz wzorcowy ciśnienia absolutnego Keller Leo2
- Przetwornik ciśnienia Keller PY21
- Przetwornik ciśnienia Wika A10
- Przetworniki ciśnienia Kaeser 7.07
- Multimetr laboratoryjny Sanwa – 3 szt.
- Oscyloskop
- Rezystor dekadowy
- Układ zasilania 12/24V DC
- Komputer PC z oprogramowaniem pozwalającym na przedstawienie wyników pomiarów w sposób graficzny oraz wspomagającym wykonanie sprawozdania końcowego.
- Instrukcja wykonania ćwiczenia

Badane w ćwiczeniu sensory ciśnienia są typowymi przetwornikami przemysłowymi pracującymi z dwuprzewodową pętlą prądową 4-20mA. Oznacza to, że zarówno wyjściowy sygnał pomiarowy (natężenie prądu proporcjonalne do mierzonego ciśnienia), jak i zasilanie sensora odbywa się tymi samymi przewodami. Przetworniki pracują w układzie przedstawionym na rysunku 1. W układzie występują dwa bufory ciśnienia połączone ze sobą. Jeśli pomiary będą stabilne bufor o większej pojemności można odłączyć zaworem. Oprogramowanie wspomagające ćwiczenia ma postać arkusza kalkulacyjnego



Rys. 1 Układ pomiarowy do badania przetworników ciśnienia

## 2.2 Wyznaczenie charakterystyki przetwarzania $I_{wy}=f(P)$

Charakterystyka przetwarzania będzie wyznaczana w cyklu zwiększania ciśnienia w układzie pomiarowym (w górę) oraz w cyklu zmniejszania ciśnienia (w dół) w celu sprawdzenia błędu histerezy przetworników.

W celu wyznaczenia charakterystyki przetwarzania w górę należy:

- Włączyć manometr cyfrowy – wyrównać ciśnienie atmosferycznego buforze do atmosferycznego za pomocą odciągnięcia zaworu bezpieczeństwa
- Podłączy sensory zgodnie z rysunkiem 1
- Ustawić pompę ręczną w tryb odsysania powietrza poprzez przesunięcie czarnego pierścienia na pompie i obniżyć ciśnienie do minimalnego możliwego (około 0,5 bar)
- Dokonać pierwszego odczytu z amperomierzy dla wszystkich sensorów - wyniki zapisać w arkuszu kalkulacyjnym wraz z aktualnym ciśnieniem
- Zwiększać stopniowo ciśnienie w układzie do 3,8 bar maksymalnie, każdorazowo notując wyniki. Charakterystyka powinna mieć powyżej 10 punktów pomiarowych dla danego sensora

**Uwaga:** odczyt wartości z manometru i amperomierzy powinien nastąpić w warunkach stabilnego ciśnienia w układzie.

- f) Po osiągnięciu maksymalnej wartości ciśnienia w układzie zablokować bufor ciśnienie używając zaworu i przejść do wyznaczania charakterystyki w dół.

W celu wyznaczenia charakterystyki przetwarzania w dół należy:

- a) Wyrównać ciśnienie w buforze, do wartości z poprzedniego punktu.
- b) Zmniejszać ciśnienie w buforze skokowo za pomocą zaworu bezpieczeństwa lub pierścienia regulacyjnego pompy.
- c) Ciśnienie zmniejszać do minimalnej możliwej wartości. Po osiągnięciu minimalnej wartości ciśnienia w układzie zablokować bufor ciśnienie używając zaworu.
- d) Przedstawić charakterystyki w sposób graficznych za pomocą arkusza kalkulacyjnego. Przedstawić wszystkie charakterystyki na jednym wykresie.
- e) Po wykonaniu charakterystyki przejść do następnego punktu.

Wyznaczyć charakterystykę w górę (procentową)  $I\% = f(P)$

Multimetr Sanwa 5000a ma funkcję dedykowaną do pomiaru natężania prądu w pętli prądowej 4-20mA. W trybie tym wartość mierzona wyświetlana jest jako wartość procentowa dla pełnego zakresu pomiarowego danego sensora. W celu wyznaczenia procentowej charakterystyki przetwarzania należy:

- a) Przełączyć multimetr Sanwa 5000A w tryb 4-20mA poprzez ustawienie pokrętła na zakres mA oraz przyciśnięcie i przytrzymanie (3s) przycisku 4-20mA.
- b) Powtórzyć procedurę wyznaczania charakterystyki w górę.
- c) Po osiągnięciu maksymalnej wartości ciśnienia zamknąć bufor zaworem.

## **Zadania**

Po wyznaczeniu charakterystyk przeanalizować otrzymane wyniki i odpowiedzieć na poniższe pytania:

- Obliczyć zakres pomiarowy badanych przetworników na podstawie otrzymanych charakterystyk. Porównać wyniki z danymi katalogowymi sensorów. Zazwyczaj sensory ciśnienia zakres pomiarowy mają podany na obudowie.
- Porównać charakterystyki o wyjściu w mA i procentową. Czy charakterystyki są tożsame?
- Obliczyć błąd histerezy
- Oszacować liniowość charakterystyk.

### 2.3 Wyznaczenie charakterystyki obciążenia dla wszystkich przetworników

Wyznaczenie charakterystyki obciążenia ma dać odpowiedź jak bardzo można obciążyć pętlę prądową danego sensora żeby parametry przetwarzania wielkości wejściowej były zachowane. W celu wyznaczenia charakterystyki obciążenia należy dla każdego sensora osobno:

- a) Wstawić w obwód prądowy za amperomierz, rezystor dekadowy i ustawić jego rezystancję na  $R_0=0\Omega$
- b) Zasilić poprawnie sensor
- c) Wytworzyć w buforze wysokie stabilne ciśnienie, Po napompowaniu bufor zamknąć zaworem
- d) Sukcesywnie zwiększać rezystancję obciążenia za pomocą rezystora  $R_0$ , aktualną wartość prąd  $I_{wy}$  notować
- e) Zmian rezystancji obciążenia dokonać w przedziale od 0 do 3000. Charakterystyka powinna zawierać minimum 10 punktów pomiarowych
- f) Zmienić sensor i wyznaczyć charakterystykę obciążenia

#### Zadania

- Porównać maksymalną rezystancję obciążenia dla badanych sensorów. Kiedy znajomość tego parametru jest istotna?

### 2.4 Wyznaczenie rezystancji wyjściowej wybranego jednego przetwornika

Rezystancję wyjściową przetwornika można obliczyć ze wzoru

$$R_{wy} = \frac{I_{wyZ} \cdot R_{0Z}}{I_{wy} - I_{wyZ}}$$

W celu wyznaczenia rezystancji wyjściowej przetwornika należy

- a) Ustawić rezystancję obciążenia  $R_0=0$ ;
- b) Ustawić wysokie stabilne ciśnienie w buforze;
- c) Podstawić aktualną wartość  $I_{wy}$  do wzoru na rezystancję wyjściową;
- d) Zwiększając rezystancję obciążenia  $R_{0Z}$  doprowadzić do minimalnej ale powtarzalnej zmiany natężenia płynącego prądu wyjściowego  $I_{wyZ}$ ;
- e) Podstawić aktualne wartości do wzoru i obliczyć rezystancję;

#### Zadania:

- Jaka teoretycznie powinna być rezystancja wyjściowa badanego przetwornika? Czym to jest spowodowane.

## 2.5 Wyznaczenie stałej czasowej przetwornika

W celu wyznaczenia stałej czasowej przetwornika należy:

- a) Na wstępie zastanowić się co to jest stała czasowa przetwornika, jak się ją definiuje? Jak można zmierzyć stałą czasową?
- b) Ustawić rezystancję obciążenia  $R_o=200\Omega$ ;
- c) Włączyć oscyloskop i ustawić tryb wyzwalania pojedynczym impulsem
- d) Ustawić wysokie ciśnienie w buforze
- e) Za pomocą zaworu bezpieczeństwa zmniejszyć skokowo wartość ciśnienia w buforze
- f) Na podstawie uzyskanego oscylogramu wyznaczyć stałą czasową.
- g) Wykres odpowiedzi skokowej oraz wyznaczoną stałą czasową przetwornika umieścić w sprawozdaniu.

## 3. Wyznaczenie charakterystyki przetwarzania folii FSR

Folia FSR jest polimerowym materiałem zmieniającym swoją rezystancję w funkcji nacisku.

Należy wyznaczyć charakterystykę  $R_{FSR}=f(M)$

Gdzie: M ciężar nacisku

W celu wyznaczenia charakterystyki należy:

- a) Do foliowego sensora FSR podłączyć omomierz
- b) Zanotować rezystancję nieobciążonego sensora
- c) Sukcesywnie zwiększać nacisk za pomocą siłomierza starając się dobierać liniowy przedział zmian, notować zmiany rezystancji
- d) Charakterystykę przedstawić w sposób graficznych

### Zadania

Do czego może zostać użyty badany sensor? Jakie ograniczenia niesie za sobą kształt charakterystyki?

### **3. Sprawozdanie**

W sprawozdaniu powinny znaleźć się:

- Rezultaty pomiarów i charakterystyki
- Odpowiedzi na zadania i problemy zawarte w instrukcji;
- Wnioski własne i spostrzeżenia.

Po wykonaniu sprawozdania należy wyłączyć przyrządy pomiarowe i komputer, oraz rozłączyć układ pomiarowy. Sprawozdanie przekazać prowadzącemu zajęcia laboratoryjne.