

RÓŻNICOWY CZUJNIK CIŚNIENIA - ZWĘŻKA VENTURIEGO**1: CEL ĆWICZENIA I ZAKRES ĆWICZENIA:**

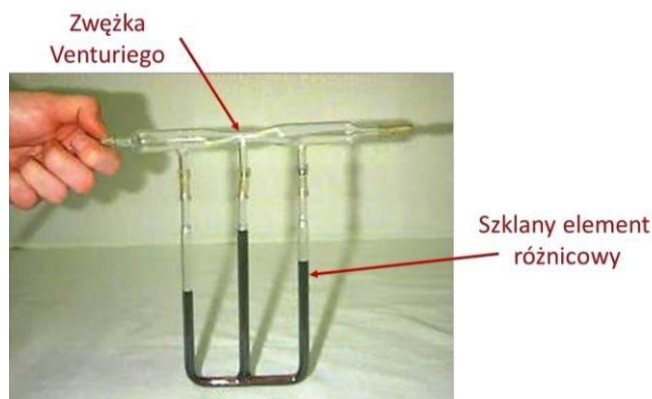
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z możliwościami zastosowania różnicowego czujnika ciśnienia typu MEMS w detekcji zmian ciśnienia związanych z występowaniem efektu Venturiego.

Zagadnienia do samodzielnego przygotowania:

- Równanie Bernoulliego; na czym polega, założenia, wzór z objaśnieniami.
- Efekt Venturiego; z czego wynika, na czym polega, zastosowania.
- Budowa różnicowego czujnika ciśnienia typu MEMS; rysunek, objaśnienie działania, kluczowe parametry.

Efekt Venturiego – pomiar różnicy ciśnień:

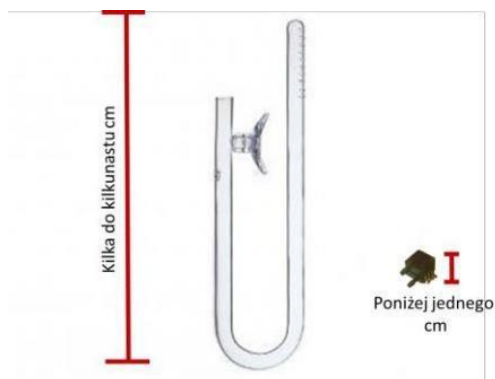
Efekt zmiany ciśnienia związany ze zmniejszeniem średnicy kanału prowadzącego gaz lub ciecz jest znany od przeszło 200 lat. Efekt ten zwyczajowo nosi nazwę zjawiska Venturiego. Zmiana ciśnienia jest wynikiem zastosowania prawa Bernoulliego. Jednym z głównych zastosowań tego efektu jest pomiar prędkości przepływu cieczy lub gazu przez zwężkę. Klasycznie pomiary te wykorzystują różnicę w poziomie wypartej cieczy przez zmianę ciśnienia w szklanej tulejce (Rys.1), a następnie z ich różnicy następuje przeliczenie wysokości wypartego płynu na różnicę ciśnień P. Różnica ta kolejno jest przeliczana na wartość przepływu przez zwężkę.



Rysunek 1: Klasyczna zwężka Venturiego

Rozwiązanie bazujące na pomiarze wysokości słupa wypartej cieczy jest szeroko stosowane w wielu aspektach otaczającego nas świata. Jednak obarczone ono jest wieloma ograniczeniami. Wysoki błąd pomiarowy (wynikający z niedokładności odczytu położenia cieczy w elemencie różnicowym), rozmiar elementu różnicowego oraz brak możliwości zastosowania nieoptycznej metody detekcji odczytu ciśnienia różnicowego są tylko kilkoma z wielu problemów. Układ naczyń połączonych może zostać zastąpiony przez różnicowy czujnik ciśnienia (Rys. 2). W przypadku jego zastosowania otrzymujemy możliwość wielokrotnego zmniejszenia wymiarów samego elementu pomiarowego, o średnicy kanałów nawet kilkunastu mikrometrów. Równocześnie układ ten pozwala na dokonanie odczytu analogowego lub cyfrowego mierzonej różnicy ciśnień. Cechy te pozwalają zastosować urządzenie oparte na czujniku różnicowym jako element detekcyjny lub aktuacyjny (strumieniowy) w mikro układach napędowych. W ramach

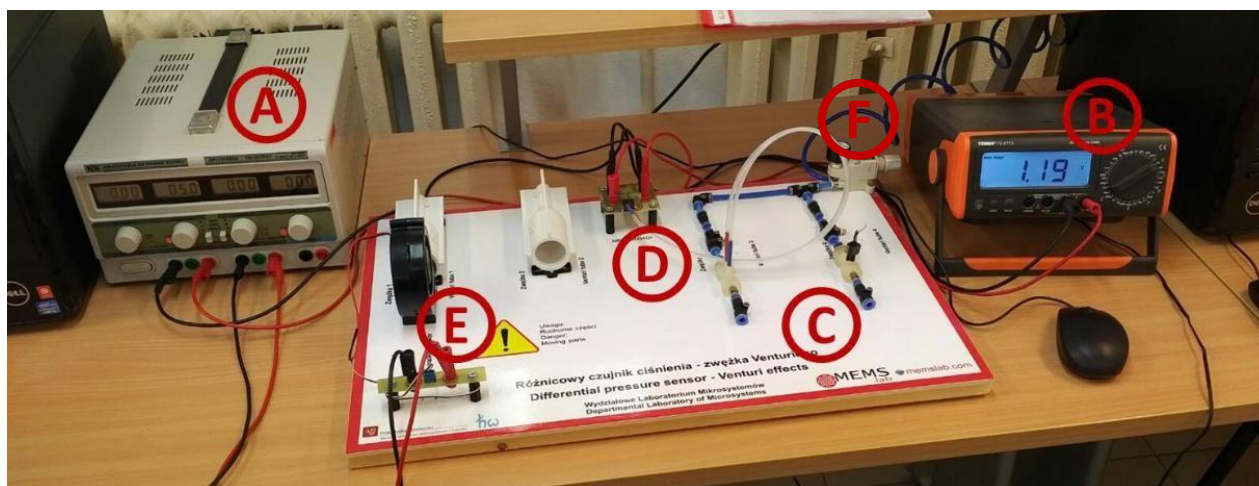
ćwiczenia zostaną przeprowadzone pomiary przepływu przez zwężkę z zastosowaniem różnicowego czujnika ciśnienia typu MEMS.



Rys 2. Porównanie typowej rurki szklanej wykorzystywanej w badaniach przepływu za pomocą zwężki Venturiego z stosowanym w ćwiczeniu różnicowym czujnikiem MPXV5004DP

Stanowisko pomiarowe

Stanowisko ćwiczeniowe (Rys.3) zawiera cztery zwężki, elementy detekcyjne (różnicowe czujniki ciśnienia MPXV5004G), dmuchawę (generator przepływu gazu przez zwężkę), regulator doprowadzający ciśnienie zewnętrznej linii ciśnieniowej, zasilacz laboratoryjny oraz multimetry laboratoryjne.



Rys 3. Widok makiety pomiarowej: a) zasilacz laboratoryjny, b) jeden z multimetrów stołowych, c) zwężki Venturiego, d) jeden z różnicowych czujników ciśnienia, e) generator przepływu, f) regulator ciśnieniowy

Dwie pierwsze zwężki mają takie samo pole powierzchni wejściowej A_1 (równa średnica wejściowa), natomiast pola przekroju wyjściowego (A_2) są różne. Przepływ przez nie jest zapewniany za pomocą dmuchawy elektrycznej. Zwężka 3 oraz 4 są zwężkami miniaturowymi zasilanymi przez ciśnienie z zewnętrznej linii ciśnieniowej. Różnią się sposobem podłączenia w układzie oraz wyprowadzeniem czujnika ciśnienia MPXV5004G.

Stosowany czujnik różnicowy jest na stałe podpięty do trzeciego wyjścia zasilacza stabilizowanego (napięcie zasilania 5V). Nie należy zamieniać ani rozłączać kabli zasilających między zasilaczem, a czujnikiem. Odczyt danych z czujnika odbywa się za pomocą multimetru stołowego. Należy pamiętać, że do wejścia multimetru podłączone jest wyjście napięciowe czujnika różnicowego, a wynik jest wyświetlony w jednostkach napięcia [V]. W nocie katalogowej czujnika znajduje się informacja na temat sposobu przeliczenia zmierzonej wartości napięcia na jednostki [Pa] ciśnienia różnicowego.

Następnie stosując prawo Bernoulliego:

$$\rho gh + \frac{\rho v^2}{2} + p = \text{const.}$$

[1]

dla zwężki o znanych parametrach geometrycznych (zakładając, że przepływ w szerszej części jest równy przepływowi w drugiej części) otrzymujemy równanie przepływu Q:

$$Q = A_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

[2]

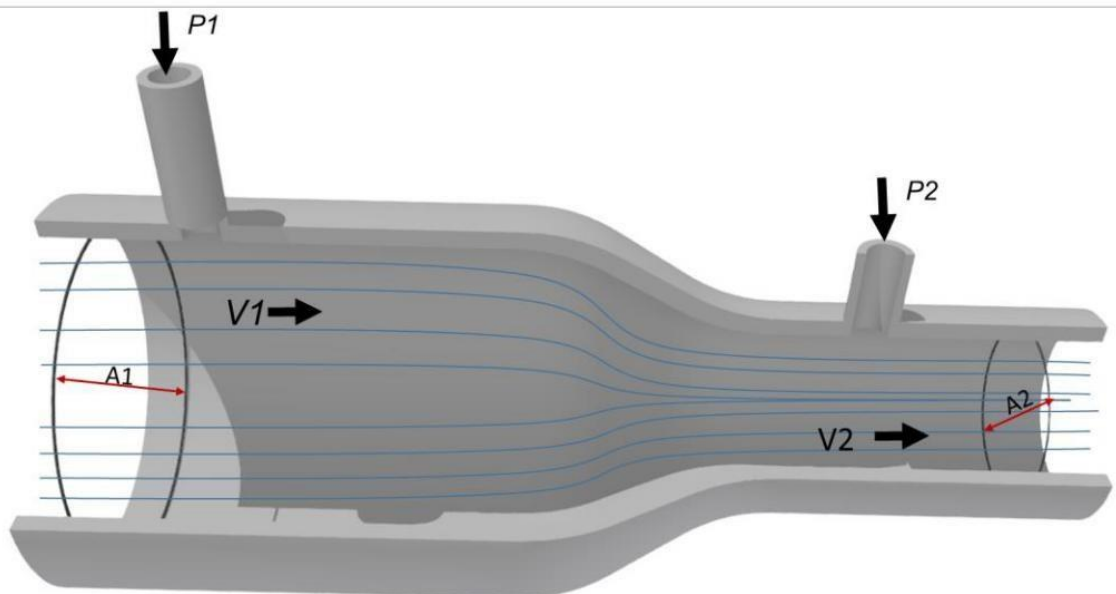
gdzie:

A_1, A_2 - pola przekroju na wejściu oraz na wyjściu zwężki [mm^2],

$p_1 - p_2$ - różnica ciśnień w zwężce zarejestrowana za pomocą różnicowego czujnika ciśnienia [Pa]

ρ - gęstość medium [kg/m^3]

Q - przepływ [cm^3/s]



Rys. 4 Schemat stosowanych w ćwiczeniu zwężek z zaznaczonymi najważniejszymi parametrami

2: PRZEBIEG ĆWICZENIA

Pomiar zwężek numer 1 i 2

1. Pomiaru należy rozpocząć od zmierzenia za pomocą suwmiarki średnic wyjściowych (A_2) zwężek 1 i 2. Uzyskane w tym etapie dane należy zanotować. Przyjąć równe średnice wejściowe zwężek $A_1 = 41,5 \text{ mm}$.
2. Następnym etapem realizacji ćwiczenia jest wyznaczenie zmian różnicy ciśnień powstałych w zwężce numer 1 w funkcji napięcia zasilania dmuchawy. Należy zmieniać

napięcie zasilania dmuchawy od 16 V do momentu jej zatrzymania (z krokiem co 0,5 V) na zasilaczu oraz rejestrować odczytane wartości pomiaru różnicy ciśnień z multimetru. Należy zanotować również napięcie dla braku przepływu powietrza przez zwężkę – stanowi ono offset czujnika. Z uwagi na niewielkie ciśnienie różnicowe dla tych zwęzek, konieczna jest znajomość dokładnej wartości offsetu – w przeciwnym wypadku wprowadzony zostanie istotny błąd pomiaru. Pomiar przeprowadzać na zakresie do 2V multimetru – napięcie z czujnika nie przekroczy tego zakresu, zaś pomiar będzie dokładniejszy niż na zakresie do 20 V.

3. Pomiary należy powtórzyć dla zwężki numer 2. Przekładając doprowadzenia czujnika. **Niebiski - ciśnienie niskie, czerwony - ciśnienie wysokie.**
4. Z otrzymanych wyników w punkcie 2 oraz 3 należy przeliczyć wartości ciśnienia różnicowego na jednostkę ciśnienia (nota katalogowa) oraz wyznaczyć wartości przepływu Q (zastosować równanie 2).

Pomiar zwęzek numer 3 i 4

1. Jako średnicę wewnętrzną w przekroju A1 przyjąć wartość 18 mm, jako średnicę wewnętrzną w przekroju A2 przyjąć wartość 3 mm.
2. Następnie, przejść do pomiarów charakterystyki tych zwęzek. Przepływ jest tu zapewniany przez zewnętrzne ciśnienie pochodzące z linii ciśnieniowej. Aby możliwe było doprowadzenie ciśnienia do zwężki numer 3 należy zamknąć zawór dławiący zwężki numer 4 oraz otworzyć zawór dławiący zwężki numer 3.
3. Przełożyć przyłączenia ciśnieniowe czujnika różnicowego, ze zwężki nr 2, do zwężki numer 3, a następnie zwiększać ciśnienie od 0 do ok. 3 bar z krokiem co 0,25 bar. Wyniki różnicowego pomiaru ciśnienia należy zanotować. Należy zanotować również napięcie dla braku przepływu powietrza przez zwężkę – stanowi ono offset czujnika. Mimo że w tym przypadku ciśnienie różnicowe jest większe niż dla zwęzek 1 oraz 2, korekcja dokładnej wartości offsetu pozwala zwiększyć dokładność pomiaru. Pomiar przeprowadzać na zakresie do 20V multimetru – napięcie z czujnika przekroczy wartość 2V. **Niedopuszczalne jest przekroczenie wartości 4 bar – grozi zniszczeniem czujnika!**
4. Zwężka numer 4 ma wstępnie wpięty już czujnik ciśnienia, przez co nie ma konieczności podłączania przewodów ciśnieniowych. Otworzyć zawór dławiący zwężki numer 4 i zamknąć zawór zwężki numer 3.
5. Zwiększać ciśnienie od 0 do 3,5 bara z krokiem co 0,25 bar. Wyniki różnicowego pomiaru ciśnienia należy zanotować. **Niedopuszczalne jest przekroczenie wartości 4 bar – grozi zniszczeniem czujnika!**

Pomiar równoległy zwęzek numer 3 i 4

1. Otworzyć całkowicie obydwa zawory dławiące.
2. Za pomocą multimetrów należy mierzyć napięcie na wyjściach obu czujników równocześnie.
3. Ciśnienie wejściowe należy zwiększać za pomocą regulatora od 0 do 3,5 bar z krokiem co 0,25 bar. **Niedopuszczalne jest przekroczenie wartości 4 bar – grozi zniszczeniem czujnika!**
4. Jeśli wartości bezwzględne napięcia różnicowego na każdej ze zwęzek znacząco od siebie odbiegają pomiar można powtórzyć zamieniając czujniki różnicowe miejscami.
5. Otrzymane wyniki różnicowego pomiaru ciśnienia należy zanotować i przeliczyć na przepływ przez zwężki.

3: OPRACOWANIE WYNIKÓW

Zmierzone w trakcie ćwiczenia parametry przepływu należy zawrzeć w tabeli (dla każdej zwężki osobno):

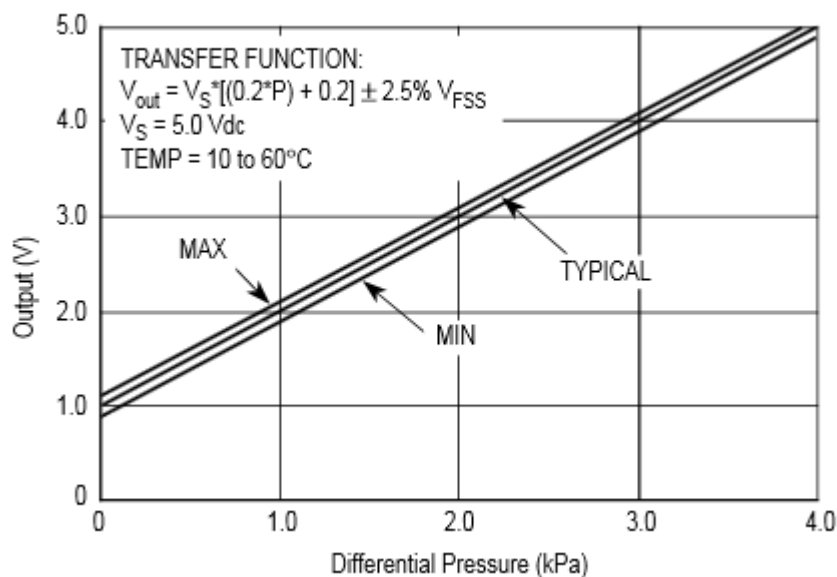
Zwężka numer Średnica wejściowa =... [mm], Średnica wyjściowa= ... [mm] Pole przekroju na wejściu zwężki= ...[mm ²], Pole przekroju na wyjściu zwężki= ...[mm ²],			
Napięcie / ciśnienie zasilania generatora przepływu [V] / [Pa]	Różnicowy sygnał odczytany z czujnika ciśnienia [V]	Wyliczona wartość przepływu Q [ml/s]	Ciśnienie różnicowe [Pa]

Następnie dla zwęzek sporządzić wykresy (razem 1 i 2 oraz 3 i 4):

- napięcia zmierzonego na wyjściu czujnika,
- wyliczonego na jego podstawie ciśnienia różnicowego,
- obliczonej na podstawie ciśnienia różnicowego prędkości przepływu

każde w funkcji napięcia zasilającego dmuchawę lub ciśnienia z regulatora.

Celem przeliczenia wartości napięcia na wyjściu czujnika na różnicę ciśnień między jego wejściami należy skorzystać z charakterystyki, opublikowanej w nocie katalogowej czujnika, przedstawionej na rysunku 5:



Rys.5 Charakterystyka napięciowo-ciśnieniowa czujnika [1]

Jak można zauważyć, producent nie zapewnia jednoznacznej charakterystyki czujnika – gwarantuje jedynie, że dla napięcia zasilania 5 V charakterystyka czujnika zawiera się w obszarze pomiędzy charakterystykami granicznymi (opisanymi jako min i max na rysunku). Wynika z tego, że jest to zależność liniowa, nachylenie charakterystyki jest niezmienne, jednak wartość offsetu może się różnić pomiędzy poszczególnymi egzemplarzami czujnika. Stąd też, zwłaszcza przy pomiarze małych ciśnień różnicowych (zwężki 1 oraz 2) należy koniecznie uwzględnić wartość offsetu w obliczeniach.

W sprawozdaniu należy ponadto zawrzeć przykłady obliczeń oraz:

- przeliczenia wartości napięciowego wyjściowego czujnika na wartość ciśnienia różnicowego oraz przepływu przez zwężkę,
- przekształcenia wzorów konieczne w przeprowadzonych obliczeniach,
- dyskusję na temat uzyskanych wyników i przyczyn ich otrzymania

Literatura:

[1] [Nota katalogowa czujnika ciśnienia MPXV5004DP](#)

[2] Wykład: Mikrosystemy 1