

D104. Efekt Dopplera

Cel: Badanie efektu Dopplera

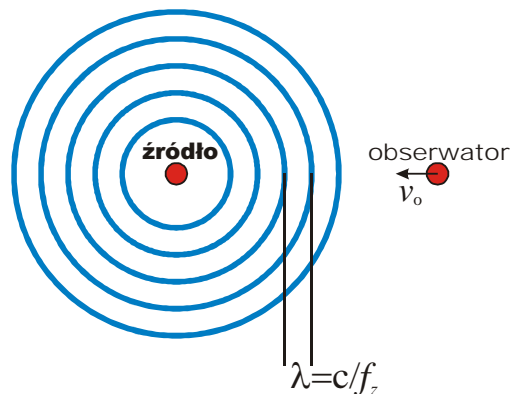
- Pomiar prędkości w ruchu jednostajnym wykorzystując foto-komórkę.
- Wyznaczenie zmian częstotliwości rejestrowanego dźwięku na skutek ruchu źródła.
- Pomiar prędkości źródła fali akustycznej wykorzystując efekt Dopplera.

Wprowadzenie

Efekt Dopplera jest charakterystyczny dla zjawisk o naturze falowej. Występuje powszechnie dla wszystkich rodzajów fal, w szczególności fal na wodzie, fal dźwiękowych czy fal elektro-magnetycznych (światła). Efekt Dopplera jest zjawiskiem obserwowanym w przypadku, gdy źródło fal oraz ich obserwator poruszają się względem siebie co prowadzi do zmiany w pozornej częstotliwości fali.

W ćwiczeniu rozpatrywać będziemy efekt Dopplera dla fali mechanicznej (akustycznej). W tej sytuacji należy rozpatrzyć dwa przypadki: a) gdy porusza się obserwator a źródło fali pozostaje nieruchome, oraz b) gdy porusza się źródło a obserwator tkwi w miejscu. Chociaż wydawać by się mogło, że (ze względu na względność ruchu) nie powinno mieć to znaczenia, różnice między obydwoimi przypadkami istnieją i objawiają się wyraźnie gdy prędkość poruszającego się obiektu (źródła bądź obserwatora) zbliża się do prędkości fali w ośrodku. Dzieje się tak dlatego, że prędkość dźwięku jest ustalona względem ośrodka, w którym się porusza (powietrza).

A) Poruszający się obserwator



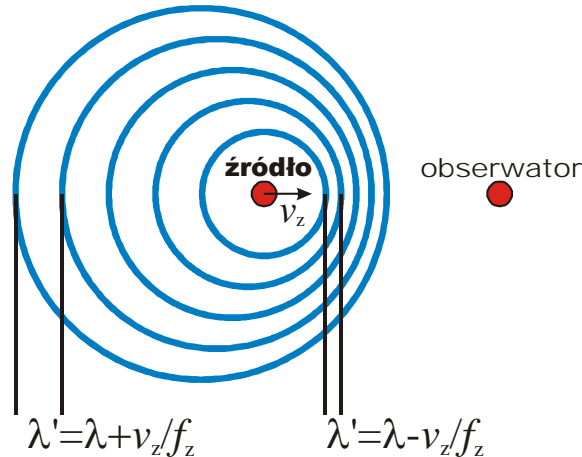
W przypadku ruchomego obserwatora, długość fali dźwięku nie zmienia się, ale częstotliwość mierzona przez obserwatora ulega zmianie. Dzieje się tak, ponieważ obserwator napotyka czoło fali częściej jeżeli zbliża się do jej źródła (i rzadziej gdy się od niego oddala). Dla obserwatora poruszającego się z prędkością v_o w kierunku źródła sytuacja wygląda tak, jakby fala propagowała się z większą prędkością. Pozorna prędkość dźwięku jest sumą prędkości dźwięku w powietrzu, c , oraz prędkości obserwatora, v_o . Częstotliwość mierzona przez obserwatora, f_o , wynosi więc

$$f_o = \frac{c \pm v_o}{\lambda} \quad (\text{A1})$$

Co, po uwzględnieniu zależności na długość fali w ośrodku, $\lambda=c/f_z$, pozwala powiązać częstotliwość rejestrowaną przez obserwatora, f_o , z częstotliwością generowaną przez źródło, f_z

$$f_o = f_z \frac{c \pm v_o}{c} \quad (\text{A2})$$

B) Poruszające się źródło



W tym przypadku źródło fali porusza się z prędkością v_z w kierunku obserwatora. Ponieważ prędkość fali względem ośrodka jest stała, zatem odległość między dwoma kolejnymi grzbietami emitowanej fali (długość fali), w kierunku ruchu źródła, ulega zmniejszeniu o pewną wartość, s . W kierunku przeciwnym długość fali jest większa o tą samą wartość s . Obserwowana długość fali wynosi zatem

$$\lambda' = \lambda \mp s \quad (\text{B1})$$

Wartość s to droga jaką przebywa źródło w czasie równym okresowi emitowanej fali, T , $s=v_z T$. Ponieważ okres fali to odwrotność jej częstotliwości, zatem

$$\lambda' = \lambda \mp \frac{v_z}{f_z} = \frac{c}{f_z} \mp \frac{v_z}{f_z} = \frac{c \mp v_z}{f_z} \quad (\text{B2})$$

Ponieważ

$$f_o = \frac{c}{\lambda'} \quad (\text{B3})$$

zatem

$$f_o = f_z \frac{c}{c \mp v_z} \quad (\text{B4})$$

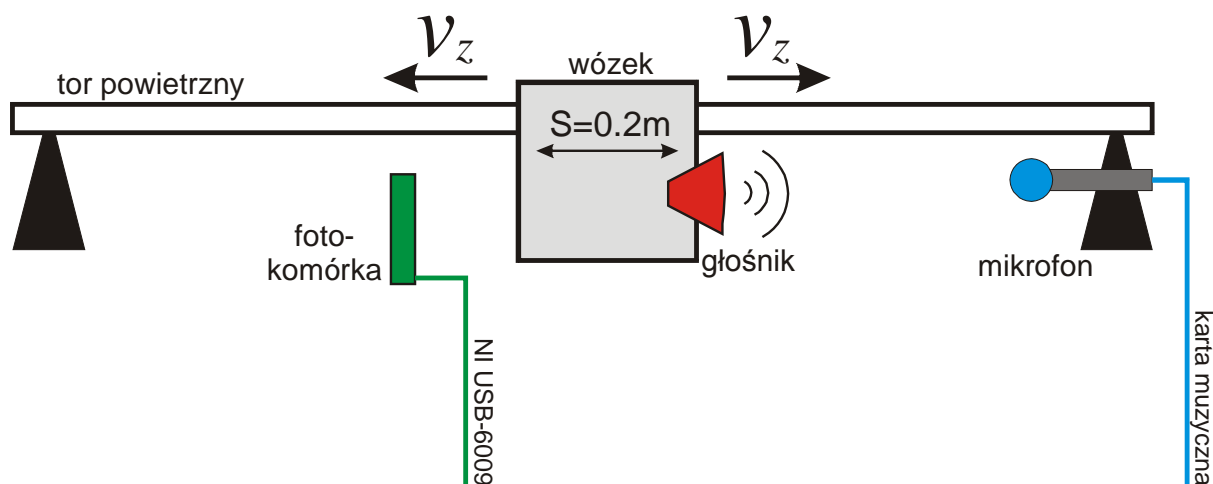
Po przekształceniu, równania (A2) i (B4) umożliwiają wykorzystanie efektu Dopplera do określania prędkości obiektów na podstawie pomiarów zmian częstotliwości rejestrowanej fali:

$$v = c \frac{\Delta f}{f_z} \quad (\text{C})$$

Gdzie Δf to różnica częstotliwości

$$\Delta f = f_z - f_o$$

Aparatura



Ćwiczenie polegać będzie na wyznaczeniu prędkości wózka o długości $S=0.2\text{m}$ poruszającego się po torze powietrznym wykorzystując efekt Dopplera. W wykonanej konstrukcji doświadczenia, na wózku zamontowano źródło fali akustycznej. Jest więc to przypadek poruszającego się źródła fali. Generowany z wózka sygnał akustyczny to przebieg sinusoidalny (ton), którego częstotliwość oraz amplitudę można regulować. Sygnał rejestrowany jest przez nieruchomy mikrofon i analizowany w programie napisanym w środowisku LabVIEW. Wykorzystując zaawansowane funkcje środowiska, możliwe jest precyzyjne wyznaczenie częstotliwości rejestrowanego przebiegu sinusoidalnego. Pomiar częstotliwości dźwięku z nieruchomego źródła oraz w przypadku jego ruchu jednostajnego z prędkością v_z , umożliwia wyznaczenie wielkości Δf z równania (C) a zatem wyznaczenie prędkości ruchu wózka. Aby sprawdzić poprawność mierzonych prędkości na drodze wózka zamontowano fotokomórkę. Podczas ruchu jednostajnego, wózek przesłania czujnik na pewien czas zależny od swojej długości oraz prędkości. Sygnał z fotokomórki rejestrowany jest tym samym programie umożliwiając określenie czasu w jakim fotokomórka była zasłonięta. Znajomość długości wózka oraz czasu zasłonięcia fotokomórki, pozwala na niezależne określenie jego prędkości. Zadanie polegać będzie na sprawdzeniu zgodności wyników otrzymanych obydwojma metodami określenia prędkości ruchu.

Przebieg ćwiczenia:

- 1) Uruchom środowisko LabVIEW i załaduj programy *Efekt Dopplera* znajdujący się na pulpicie komputera. Jeżeli masz ochotę przyjrzyj się diagramowi blokowemu programu.
- 2) Uruchom generator dźwięku umieszczony na wózku. Układ ten generuje kilka częstotliwości. Na początek ustaw wysoką częstotliwość na granicy słyszalności zmysłu słuchu. Ustaw minimalną wystarczającą amplitudę (dłuższe słuchanie tonu o dowolnej słyszalnej częstotliwości jest BARDZO nieprzyjemne). Sprawdź czy program poprawnie rejestruje generowany sygnał.

- 3) Wpuść sprężone powietrze do rury toru powietrznego. Ustaw minimalne ciśnienie wystarczające aby wózek poruszał się z minimalnym tarcie.
- 4) Sprawdź czy część programu odpowiedzialna za pomiar czasu przesłonięcia fotokomórki działa poprawnie: zasłoń i odsłoń fotodetektor sprawdzając jednocześnie jego reakcję w programie.
- 5) Rozpocznij rejestrację sygnału. Przytrzymaj na chwilę wózek nieruchomo. Sygnał rejestrowany w tym czasie posłuży do pomiaru częstotliwość dźwięku dla wózka nieruchomego (f_z).
- 6) Nie zatrzymując programu popchnij delikatnie wózek nadając mu dowolną prędkość. Po dotarciu do końca toru powietrznego, wózek odbije się i zmieni kierunek ruchu. Na skutek tarcia wózek będzie stopniowo zmniejszał swoją prędkość. Rejestruj sygnał dla dłuższego czasu, odpowiadającemu szerokiemu zakresowi prędkości.
- 7) Zatrzymaj rejestrację sygnału i poczekaj na wykreślenie danych. Wyłącz generator dźwięku (twoje koleżanki i koledzy to docenią). Ustaw kursory wskazując okres, w którym wózek był nieruchomy. Odczytaj częstotliwości odpowiadające zerowej prędkości (f_z).
- 8) Odszukaj na wykresie okresy kiedy wózek przesłaniał fotokomórkę, dt . Zmień skalę wykresu jeśli to konieczne. Wykorzystaj kursory na wykresie programu aby określić czas przesłonięcia bramki świetlnej przez wózek. W tym celu umieść kursory w miejscach gdzie sygnał z bramki gwałtownie spada i gwałtownie wzrasta. Spisuj również wartości częstotliwości dźwięku, f_o , zarejestrowanego w czasie przejścia wózka przez fotokomórkę (analizowany jest jedynie sygnał z mikrofonu znajdującego się między kursorami).
- 9) Korzystając ze zmierzonych wartości czasów, dt , oraz częstotliwości, f_o , wykonaj obliczenia prędkości.
- 10) Zakładając, że w czasie przejazdu wózka przez bramkę jego prędkość nie zmieniała się (ruch jednostajny), wyznacz prędkość wózka, $v_{z,1}$, znając czas, dt , i długość S .
- 11) Wykorzystaj równanie (C) i wartości f_o i f_z do obliczenia $v_{z,2}$. Przyjmij że prędkość dźwięku w powietrzu wynosi $c=346\text{m/s}$ (dla $T=25^\circ\text{C}$).
- 12) Porównaj obie wartości prędkości: $v_{z,1}$ i $v_{z,2}$. Oszacuj błędy pomiarowe. Oszacuj niepewność związaną ze skończoną szerokością fotokomórki.
- 13) Sporządź wykres $v_{z,1}(v_{z,2})$. Przedyskutuj korelację między obydwoma wartościami wykonując analizę regresji.
- 14) Włącz ponownie generator, zmień częstotliwość i rozpocznij od punktu (5).