

WYZNACZANIE PRĘDKOŚCI DŹWIĘKU W POWIETRZU METODĄ DETEKCJI ELEKTRYCZNEJ (FIGURY LISSAJOUS)

1. Cel ćwiczenia

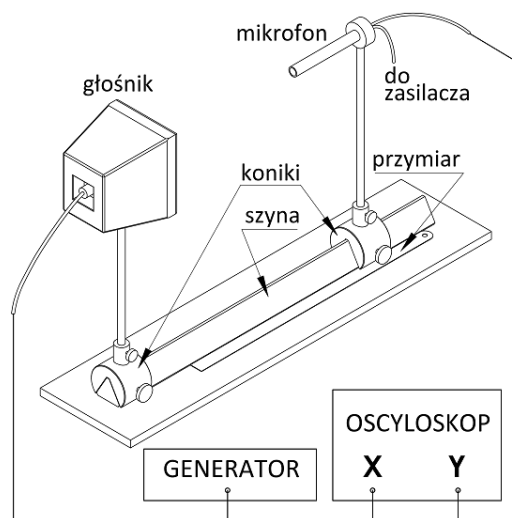
Celem ćwiczenia jest obserwacja rozchodzenia się fal dźwiękowych w powietrzu i wyznaczenie ich prędkości fazowej. Wykorzystuje się do tego detektor elektromechaniczny (mikrofon) i oscyloskop, które umożliwiają *detekcję fazoczułą*. Metoda opiera się na składaniu prostopadłych drgań i powstawaniu *figur Lissajous* na ekranie oscyloskopu. Interpretacja ich formy pozwala na uzyskanie danych o długości fali akustycznej. Przy zadanej częstotliwości możliwe jest więc wyznaczenie prędkości rozchodzenia się dźwięków w powietrzu.

2. Zagadnienia do przygotowania

- Parametry opisujące fale.
- Mechanizm powstawania i rozchodzenia się fal dźwiękowych.
- Zjawisko dyspersji.
- Składanie prostopadłych drgań harmoniczych – figury Lissajous.
- Należy umieć wskazać obiekt, którego drgania są składane określając bezpośrednią przyczynę tych drgań oraz uzasadnić ich powiązania z prędkością dźwięku w powietrzu.
- Działanie elementów układu doświadczalnego: głośnika, mikrofonu (tzw. elektretowego), oscyloskopu analogowego.

3. Przyrządy pomiarowe, opis i schemat aparatury

Układ pomiarowy składa się z generatora wytwarzającego elektryczne sygnały sinusoidalne o częstotliwościach akustycznych, głośnika i mikrofonu zamontowanych na szynie oraz oscyloskopu (rys. 1). Głośnik umocowany jest w uchwycie (tzw. koniku) na końcu szyny, a konik z mikrofonem można przesuwając wzdłuż niej zmieniając odległość głośnik–mikrofon w zakresie kilkudziesięciu centymetrów. Położenie mikrofonu odczytuje się ze skali z podziałką 0,5 mm. Generator sygnałów umożliwia wybór częstotliwości dźwięku. Oscyloskop służy do obserwacji sygnałów elektrycznych wytwarzanych przez mikrofon

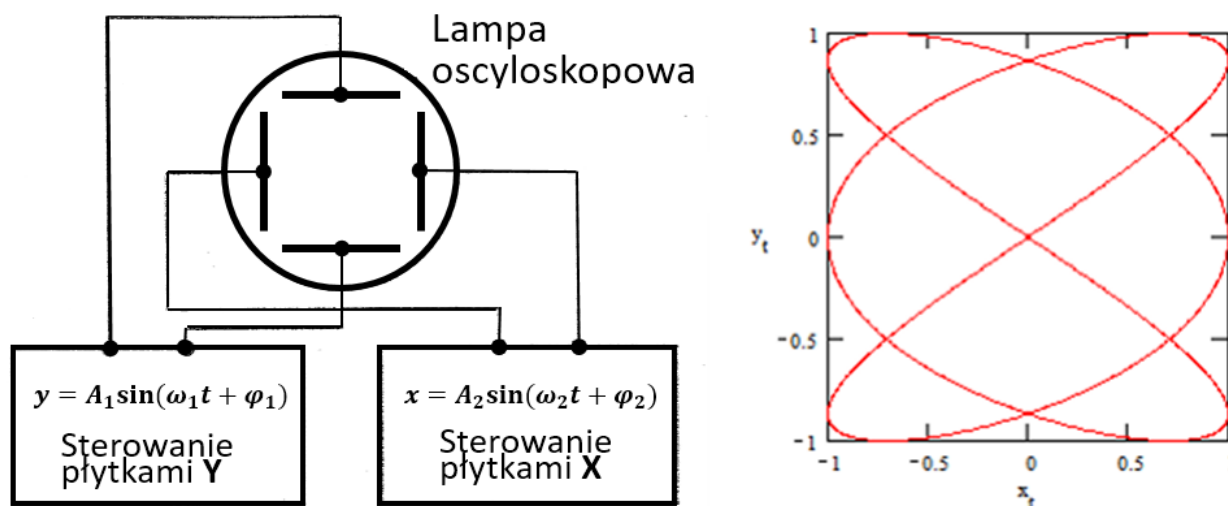


Rysunek 1. Schemat układu do wyznaczenia prędkości dźwięku w powietrzu.

* Aktualizacja: 2017-03-23

w odpowiedzi na docierające do niego fale dźwiękowe. Na ekranie oscyloskopu uzyskiwane są tzw. krzywe Lissajous, których forma zależy m.in. od relacji fazowych dwóch prostopadłych do siebie drgań. Dzięki ich interpretacji można zidentyfikować pewne szczególne położenia mikrofonu i na tej podstawie wyznaczyć długość fali dźwiękowej, a znając przy tym częstotliwość także jej prędkość fazową.

Gdy do płytek odchylenia poziomego i pionowego oscyloskopu przykładamy się dwa zmienne w czasie napięcia (w tzw. trybie X-Y jak na rys. 2), ruch plamki na ekranie powoduje wyświetlenie figury o formie zależnej od stosunku częstotliwości ω_2/ω_1 i różnicy faz $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$. Przykładową krzywą Lissajous (dla $\omega_2/\omega_1 = 2/3$, $\Delta\varphi = 0$) przedstawiono po prawej na rys. 2.



Rysunek 2. Sterowanie napięciem na płytkach odchyłających oscyloskopu przy składaniu drgań prostopadłych i przykładowa krzywa Lissajous.

Użyteczne przyrządy dodatkowe: lupa ułatwiająca odczyty ze skali przymiaru.

4. Przebieg ćwiczenia

- Łączymy przyrządy pomiarowe zgodnie z rys. 1 i rys. 2. Sygnał z generatora powinien sterować głośnikiem i jednocześnie wejściem X oscyloskopu.
- Po sprawdzeniu połączeń przez opiekuna ćwiczenia włączamy zasilanie.
- Na generatorze ustawiamy częstotliwość $f = 10$ kHz.
- Przesuwając mikrofon po szynie obserwujemy zmiany figur Lissajous na ekranie oscyloskopu. W razie potrzeby zmieniamy wzmocnienie – generalnie, czułość mikrofonu spada ze wzrostem częstotliwości, jednak przy niektórych wartościach mogą wystąpić rezonanse, które wymuszają obniżenie wzmocnienia.
- Znajdujemy figurę w postaci linii prostej w położeniu mikrofonu możliwie najbliższym głośnika.
- Odczytujemy z przymiaru położenie konika mikrofonu i zapisujemy jako y_1 .
- Odsuwamy mikrofon od głośnika do momentu ponownego wyświetlenia linii prostej (nachylonej przeciwnie), odczytujemy i zapisujemy położenie mikrofonu (y_2).

Tabela 1. Położenia mikrofonu dla których obserwowane są figury Lissajous w formie linii prostych.

f (kHz)	y_i (cm)
10	
	...
...	
	...

- Podobnie znajdujemy dalsze położenia mikrofonu (y_3, y_4, \dots) z figurą w postaci linii prostej nachylonej raz w jedną, raz w drugą stronę, aż do końca szyny.
- Powtarzamy pomiary dla częstotliwości z zakresu 13 kHz – 22 kHz (co 3 kHz) lub innego zgodnie z zaleceniem opiekuna ćwiczenia.

Wszystkie wyniki zapisujemy w tabeli (przykład: tab. 1). Notujemy także informacje o dokładności wykonanych pomiarów i ustawień częstotliwości.

5. Opracowanie wyników

Odległość sąsiednich położen mikrofonu, odpowiadająca dwóm kolejnym figurom Lissajous w formie przeciwnie nachylonych linii prostych, jest równa połowie długości fali dźwiękowej. Teoretycznie, zbiór położen mikrofonu powinien więc stanowić ciąg arytmetyczny:

$$y_i = \frac{\lambda}{2} i + b . \quad (1)$$

Można go także wykreślić w układzie współrzędnych jako punkty $\{x_i = i, y_i\}$ i dopasować prostą metodą najmniejszych kwadratów. Na podstawie współczynnika nachylenia prostej możemy więc obliczyć długość fali λ i oszacować jej niepewność standardową. Znając częstotliwość obliczamy prędkość fali dźwiękowej

$$v = \lambda f \quad (2)$$

(i jej niepewność standardową). Procedurę powtarzamy dla wszystkich częstotliwości dla których wykonano pomiary. Wyniki umieszczamy w tabeli (przykład: tab. 2). W sprawozdaniu umieszczamy wykresy przedstawiające punkty i dopasowane proste.

Część wprowadzająca sprawozdania powinna zawierać uzasadnienie dlaczego wybrane figury Lissajous pozwalają na identyfikację położen odległych od siebie o połowę długości fali. We wnioskach analizujemy wartości prędkości ustalonych przy różnych częstotliwościach fali dźwiękowej – sporządzamy wykres zależności v od f . Na jego podstawie rozstrzygamy czy występują przejawy dyspersji fal dźwiękowych w powietrzu. Porównujemy także wyniki doświadczenia z literaturowymi danymi o prędkości dźwięku w tym ośrodku.

Tabela 2. Długości fali i prędkości dźwięku dla różnych częstotliwości – wyniki obliczeń .

f (kHz)	λ (cm)	v (m/s)
10	\pm	\pm
...	\pm	\pm

6. Literatura

T. Dryński, „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki”, wyd. VI, PWN, Warszawa 1977 (lub inne wydanie)

H. Szydłowski, „Pracownia fizyczna”, wyd. IX, PWN, Warszawa 1997 (lub inne wydanie)

F.C. Crawford, „Fale”, PWN, Warszawa 1975

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, „Podstawy fizyki”, PWN, Warszawa 2007

A. Bielski, R. Ciuryło, „Podstawy metod opracowania pomiarów”, wyd. II, Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń 2001