

Imię

Data

Nazwisko

Kierunek studiów

Ćwiczenie 133: Interferencja fal akustycznych - dudnienia

Tabela I. Wyznaczanie częstotliwości dudnień

Pomiar	Czas, [ms]		Różnica, [ms]	Liczba cykli	Częstotliwość generatora, [Hz]	
Nr	t_1	t_2	$t_2 - t_1$	N	pierwszego, f_1	drugiego, f_2
1						
2						
3						

Tabela II. Teoretyczna częstotliwość dudnienia dla danego pomiaru

Pomiar	Wyznaczona częstotliwość dudnienia, [Hz]	Teoretyczna częstotliwość dudnienia, [Hz]	Procentowa różnica, [%]
Nr	$f_d = \frac{N}{t_2 - t_1}$	$f_t = f_1 - f_2 $	$\frac{ f_t - f_d }{f_t} \cdot 100\%$
1			
2			
3			

Ćwiczenie 133. Interferencja fal akustycznych – dudnienia

Cel

Ćwiczenie polega na zbadaniu częstotliwości dudnienia w zależności od doboru częstotliwości dwu fal akustycznych nakładających się na siebie. Wynik nałożenia (lub inaczej – interferencji) można obserwować na ekranie monitora w oknie Interference-Beats programu głównego (P33_BEAT.SWS), które jest odpowiednikiem ekranu oscyloskopu.

Teoria

Gdy dwie fale akustyczne, różniące się nieco częstotliwościami, nakładają się na siebie w jakimś miejscu, wtedy w miejscu tym powstaje wypadkowe drganie cząsteczek ośrodka o jednej częstotliwości, lecz o zmiennej, w miarę upływu czasu, amplitudzie. Periodycznie zmieniające się wówczas natężenie dźwięku nazywamy *dudnieniem*. Częstotliwość powstającej fali wypadkowej jest średnią arytmetyczną częstotliwości nakładających się fal, a częstotliwość zmiany amplitudy, czyli częstotliwość dudnienia f_d , jest równa różnicy częstotliwości f_1 i f_2 fal składowych.

$$f_d = |f_1 - f_2|.$$

Udowodnimy powyższe stwierdzenia na przykładzie interferencji fal harmonicznnych.

Drgania harmoniczne

Ważny rodzaj ruchów stanowią ruchy cykliczne, w szczególności periodyczne drgania zwane *drganiami harmonicznymi*. Matematycznie oznacza to ruch opisany za pomocą równania:

$$x = x_0 \sin(2\pi f \cdot t + \alpha)$$

gdzie x_0 jest amplitudą drgań, f – częstotliwością, α – stałą zwaną fazą, charakteryzującą położenie cząsteczki w chwili $t = 0$.

Częstotliwość jest równa liczbie pełnych drgań cząsteczki ośrodka w jednostce czasu. Wiąże się ona z okresem drgań T (okres to czas jednego pełnego drgania) zależnością

$$f = 1/T.$$

Jednostką częstotliwości jest $1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Hz}$, (1 *herc*).

Dwa różne drgania mogą się dodawać, czyli podlegać superpozycji. Superpozycji ulegają drgania różniące się częstotliwością, amplitudą, fazą, a nawet można składać drgania wzajemnie prostopadłe. Rozpatrzmy tutaj nakładanie się dwóch drgań o takiej samej amplitudzie i niewiele różniących się częstotliwościach f_1 i f_2 , ($f_1 > f_2$). Średnia arytmetyczna tych częstotliwości jest równa

$$f = (f_1 + f_2)/2.$$

Jeśli wprowadzimy oznaczenie: $2\Delta f = f_1 - f_2$, to możemy zapisać częstotliwości składowe:

$$f_1 = f + \Delta f \quad \text{oraz} \quad f_2 = f - \Delta f.$$

Wychylenia poszczególnych drgań opisywane są wówczas następującymi wzorami:

$$x_1 = x_0 \cos 2\pi f_1 t = x_0 \cos 2\pi (f + \Delta f) t, \quad x_2 = x_0 \cos 2\pi f_2 t = x_0 \cos 2\pi (f - \Delta f) t.$$

Wychylenie drgania wypadkowego jest sumą wychyleń drgań składowych,

$$x = x_1 + x_2 = x_0 \cos 2\pi (f + \Delta f) t + x_0 \cos 2\pi (f - \Delta f) t.$$

Po zastosowaniu wzorów na funkcje trygonometryczne sumy i różnicy kątów otrzymamy wyrażenie

$$x = 2x_0 \cos[2\pi \Delta f t] \cos[2\pi f t],$$

w którym funkcja

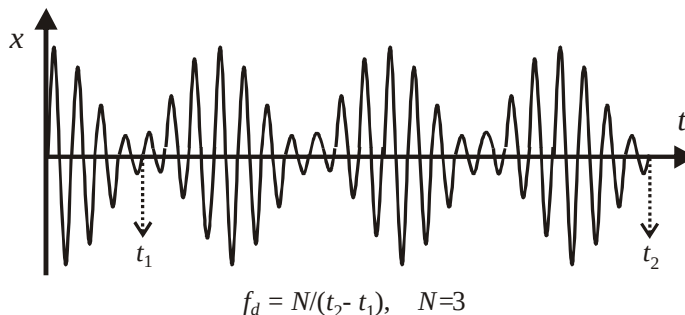
$$A = 2x_0 \cos[2\pi \Delta f t]$$

opisuje amplitudę wychylenia wypadkowego. Częstotliwość występowania maksymalnej wartości amplitudy ($\pm 2x_0$) jest częstotliwością dudnień. Częstotliwość ta jest dwukrotnie większa niż Δf ponieważ maksimum dudnienia powstaje zarówno dla $\cos[2\pi \Delta f t] = 1$, jak i dla $\cos[2\pi \Delta f t] = -1$. Częstotliwość dudnień wynosi, więc,

$$f_d = 2\Delta f = f_1 - f_2,$$

co jest zgodne ze stwierdzeniem podanym na początku.

Rysunek obok przedstawia graficznie zjawisko dudnienia



Rysunek 1) Wykres przedstawia początek i koniec cyklu trzech dudnień.

Przebieg ćwiczenia

Do wytwarzania dwóch fal dźwiękowych o nieco różnych częstotliwościach służy dwukanałowy generator. Amplituda fali wypadkowej w postaci impulsu elektrycznego rejestrowana jest przez czujnik napięcia, który przekazuje mierzone wartości do komputera. Przebieg tej amplitudy w czasie pokazywany jest w oknie oscyloskopu programu SPARKvue. W programie tym mamy także możliwość pomiaru częstotliwości nakładających się fal. Służy do tego okno Frequency spectrum (2 zakładka), rejestrujące rozkład widmowy badanych częstotliwości.

CZĘŚĆ I: Przygotowanie komputera

1. Włącz zasilanie stołu (patrz deska rozdzielcza stołu – przy Twojej lewej nodze gdy siedzisz na wprost komputera) – przekręć czerwoną „gałkę” w kierunku strzałek (powinna wyskoczyć), przekręć kluczyk jak w samochodzie i puść. Uruchom komputer. Zaloguj się jako 133.
- ◆ Otwórz program SPARKvue, kliknij “Open Saved Experiment” i wybierz z pulpitu program “133”.
 - ◆ Na ekranie pojawi się okno podstawowe „Interference-Beats” które można zmienić strzałką na okno „Frequency spectrum”.
 - ◆ Okno Interference Beats, to ekran oscyloskopu wraz ze sterowaniem. To tutaj będziemy obserwowali wynik superpozycji.
 - ◆ Okno Frequency Spectrum pokazuje widmo częstotliwości i umożliwia pomiar częstotliwości fal składowych dudnień.

CZĘŚĆ IIA: Program SPARKvue – okno wykresów



1. Axis Lock

Click to lock or unlock axis scaling.

2. Measurement Selector

Click to change the displayed measurement or units.

3. Axis

Click and drag to scale each axis individually.

4. Plot Area

Click and drag to move the plot area.

5. Legend

Select a run to analyze by clicking the run in the legend. Right-click the run symbol to change the run color and other data set properties.

6. Tools Drawer

Click to show or hide the Graph tools.

7. Scale to Fit

Automatically scale the axes to fit all data from the selected run within the plot area.

8. Cursor Mode

Click to toggle the function of the cursor.

- Switch to **Move Mode** to use the cursor to move the plot area.
- Switch to **Select Mode** to highlight an area on the plot for data analysis.

9. SPARKvue provides two types of coordinates tools:

- **Coordinates Tool**
Use to determine the coordinates of a single data point. Use the delta tool to determine the difference between two points of data.
- **Multi-Coordinates Tool**
Use to compare coordinates across multiple runs or measurements.

10. Slope Tool

The slope tool provides the slope of a line tangent to a curve at a single point.

11. Statistics

11. Statistics

Use the statistics tool to find the minimum, maximum, mean, and standard deviation of a range of data.

12. SPARKvue provides two curve fit tools:

- **Linear Fit**
Use the linear fit tool to fit a line to data and determine the slope and y-intercept of the trend line.
- **Curve Fit Tool**
Use the curve fit tool to fit a curve to data and obtain values about the trend line parameters.

13. Annotation Tool

Use the annotation tool to label a data point with a brief note.

14. Use these tools to display multiple y-axes:

- **Add y-axis**
Display multiple measurements on the same plot area by adding additional y-axes to a line graph.
- **Align Origins**
When displaying more than one y-axis, select to align the origins and scales of each axis.
- **Add Plot Area**
Display an additional measurement in a line graph on separate plot area located below the current plot area.

15. Prediction Tool

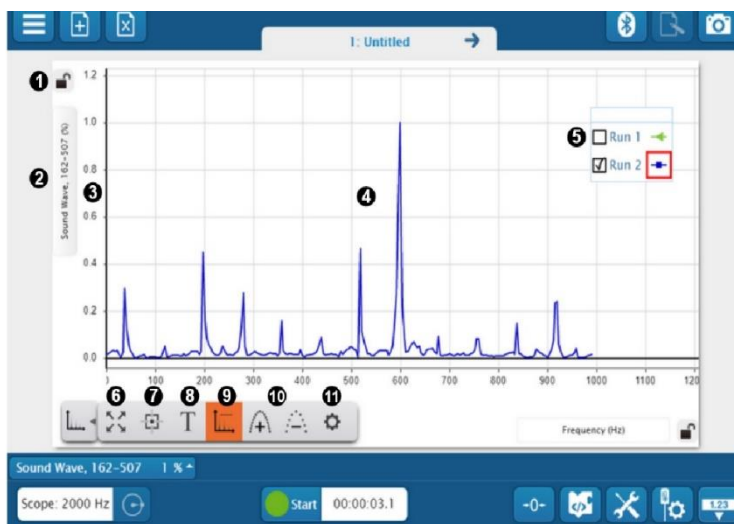
Before collecting data, draw a prediction of the results directly on the graph.

16. Properties

Change the visibility of data points, symbols, and lines connecting data points in a line graph.

Rysunek 2) Wygląd i opis okna programu SPARKvue (opis zaczerpnięty z: <https://help.pasco.com/sparkvue>).

CZĘŚĆ IIB: Program SPARKvue – okno widma częstotliwości



1. Axis Lock

Click to lock or unlock axis scaling.

2. Measurement Selector

Click to change the displayed measurement or units.

3. Axis

Click and drag to scale each axis individually.

4. Plot Area

Click and drag to move the plot area.

5. Legend

Select a run to analyze by clicking the run in the legend. Right-click the run symbol to change the run color and other data set properties.

6. Scale to Fit Tool

Change the scale of a line graph to zoom in on a range of data or to view an entire run of data.

7. Coordinates Tool

Use to determine the coordinates of a single data point. Use the delta tool to determine the difference between two points of data.

7. Coordinates Tool

Use to determine the coordinates of a single data point. Use the delta tool to determine the difference between two points of data.

8. T Annotation Tool

Use the annotation tool to label a data point in a graph with a brief note.

9. Normalize Data

Select to change the vertical scale to make 1 the maximum value.

10. Change Sample Rate

Click these tools to increase or decrease the sample rate.

Tip

Set a sample rate that is approximately twice the frequency range displayed on the FFT.

11. Properties

Change the visibility of data points, symbols, and lines connecting data points in a line graph.

Rysunek 3) Wygląd i opis okna FFT programu SPARKvue (opis zaczerpnięty z: <https://help.pasco.com/sparkvue>).

CZĘŚĆ III: Przygotowanie układu pomiarowego

1. Podłącz generator akustyczny do sieci. Ustaw wzmacniacz sumujący (SUMMING AMPLIFIER) znajdujący się po prawej stronie generatora tak, aby wyjścia z obu generatorów były połączone z potencjometrem głośności (VOLUME). W tym celu włączamy dwa przełączniki środkowe, a wyłączamy skrajne.
2. Końcówki przewodów od czujnika napięcia należy podłączyć do gniazd wyjściowych generatora oznaczonych napisem 8 Ω OUT oraz GND.
3. Równolegle do czujnika podłącz głośnik (końcówki głośnika włóż do gniazd wtyczek czujnika).
4. Wyłącz regulację modulacji na każdym z generatorów, (przełączniki MODULATION ustaw na OFF).
5. Wybierz na generatorze Nr 1 falę sinusoidalną, mnożnik częstotliwości na 100 oraz wartość amplitudy w połowie zakresu.
6. Ustaw generator Nr 2 tak, jak generator Nr 1.
7. Włącz generator i dobierz odpowiednią głośność za pomocą pokrętła VOLUME. Pokrętło odpowiada również za wartość rejestrowanej amplitudy przez oprogramowanie. Gdy jest skrócone wartość amplitudy rejestrowanego sygnału wynosi $\sim 0V$!

CZEŚĆ IV. Wykonanie pomiarów

1. W celu uzyskania danych pomiarowych naciśnij przycisk **Start**. W oknie „Interference – Beats” powinien pokazać się przebieg falowy.
2. **Przechodzimy na zakładkę z oknem „Frequency spectrum” (strzałka z prawej strony podpisu okna). Następnie klikamy w ikony „Change sample rate - Fig.3 numer 10” jednokrotnie raz w „+”, a następnie jednokrotnie w „-”. Zmieniamy zakładkę na okno „Interference – Beats”.**
3. Ustawiamy najpierw generatory równo na 100 Hz, a następnie zmieniamy częstotliwość generatora tak by otrzymać na wykresie przynajmniej 3 dudnienia.
4. Po ustawieniu pomiaru naciśnij przycisk **Stop**.
5. Pod wykresem klikamy na ikonkę „Tools drawer - Fig.2 numer 6” i wybieramy z niej narzędzie „Add coordinate tool – Fig.2 numer 9” (opisy narzędzi pokazują się po najejchaniu na nie myszką). W celu znalezienia częstotliwości dudnienia wskazujemy najpierw na początek pierwszego pełnego cyklu zmiany amplitudy i zapisujemy odpowiadający temu punktowi czas pokazany przez użyte narzędzie. Następnie znowu klikamy w to samo narzędzie i szukamy podobnie ulokowanego punktu końcowego ostatniego pełnego cyklu i też zapisujemy odpowiadający mu czas (patrz Fig.1).
6. Odczytujemy liczbę pełnych cykli zawartych pomiędzy tymi punktami i zapisujemy ją.
7. Zmieniamy zakładkę z oknami na okno „Frequency spectrum” (strzałka z prawej strony podpisu okna). Dokonujemy odczytu częstości fal składowych z zarejestrowanego widma.
8. Do odczytu używamy także narzędzia „Add coordinate tool”, którym wskazujemy na dwa najwyższe piki, które odpowiadają dwóm częstotliwościom składowym dudnień. Notujemy odczytane częstotliwości.
9. Zmieniamy ustawienia generatorów na 200Hz, a następnie na 300 Hz i powtarzamy pomiary zgodnie z punktami 2-6.

Analiza danych

1. Oblicz częstotliwość dudnienia,
$$f_d = \frac{N}{t_2 - t_1},$$

gdzie N oznacza liczbę pełnych cykli zmiany amplitudy pomiędzy chwilami t_1 i t_2 .

2. Oblicz różnicę obu częstotliwości składowych mierzonych bezpośrednio i porównaj wynik z częstotliwością dudnienia.
3. Oblicz procentową różnicę pomiędzy wartością teoretyczną i doświadczalną,

$$B_p = \frac{|f_t - f_d|}{f_t} \cdot 100\%.$$

4. Jakie czynniki mogły wpłynąć na różnicę pomiędzy wynikiem teoretycznym a doświadczalnym?