

Nazwisko

Data

Nr na liście

Imię

Wydział

Dzień tyg.

Godzina

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
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

POTRZEBNE WYPOSAŻENIE	
• Interfejs „Science Workshop 500”	• Generator dwukanałowy
• Czujnik napięcia	• Głośnik

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 częstotliwościami 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



$$f_d = N/(t_2 - t_1), \quad N=3$$

Wykonanie ćwiczenia

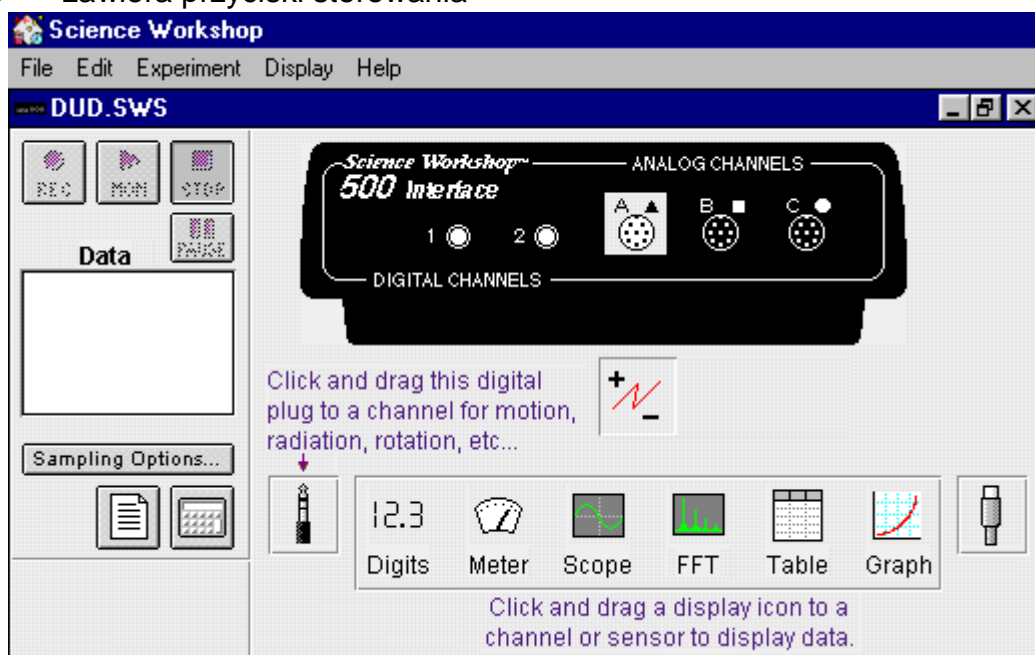
Do wytwarzania dwóch fal dźwiękowych o nieco różnych częstotliwościach służy dwukanałowy generator. Amplituda fali wypadkowej w postaci impulsu elektrycznego rejestrowana jest przez czujnik napięcia, który przekazuje mierzone wartości do interfejsu połączonego z komputerem. Przebieg tej amplitudy w czasie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

CZĘŚĆ I: Przygotowanie komputera

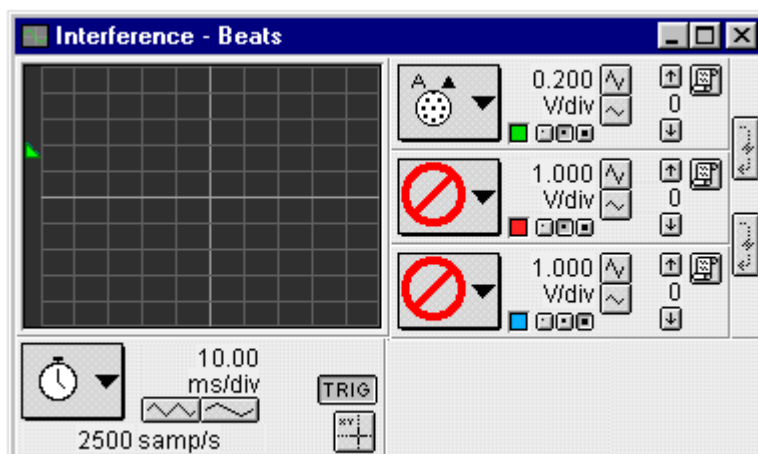
1. Włącz zasilanie stołu (patrz deska rozdzielcza stołu – przy Twojej lewej nodze gdy siedzisz na wprost komputera) – przekręć czerwoną „gałkę” w kierunku strzałek (powinna wyskoczyć), przekręć kluczyk jak w samochodzie i puść. Automatycznie włączy się interfejs i komputer.
2. Automatycznie uruchomi się system operacyjny *Windows* i program *Science Workshop*. Otwórz (File, Open) w katalogu *Library\Physics* dokument P33_BEAT.SWE.
 - ◆ Na ekranie pojawi się okno podstawowe P33_BEAT.SWE oraz okna pomocnicze: Interference-beats, Frequency Spectrum i Experiment Notes.
 - ◆ Okienko Experiment Notes zawiera instrukcję wykonania ćwiczenia i jest miejscem do notowania wyników pomiarów. Przy wykonywaniu pomiarów należy to okno zamknąć.
 - ◆ Okno P33_BEAT zawiera przyciski sterowania. Jeden z nich, Sampling Options, służy do ustawienia sposobu przeprowadzenia pomiaru. Jest tu jeszcze notatnik i kalkulator do podręcznych obliczeń. Na obrazie interfejsu powinno być podświetlone wejście analogowe A (jeśli nie jest, należy wskazać myszą ikonę wtyczki analogowej, przeciągnąć ją i „upuścić” na tym wejściu).
 - ◆ Okno Interference Beats, to ekran oscyloskopu wraz ze sterowaniem. To tutaj będziemy obserwowali wynik superpozycji. Z prawej strony ekranu powinno być zaznaczone, że używane jest wejście analogowe A, a na skali pionowej na podziałkę przypada 0,2 V (można to zmienić przyciskami obok). Zwróć uwagę także na skalę podstawy czasu — 10,00 ms/div.
 - ◆ Okno Frequency Spectrum pokazuje widmo częstotliwości i umożliwia pomiar częstotliwości.

Okna programu do ćwiczenia 133

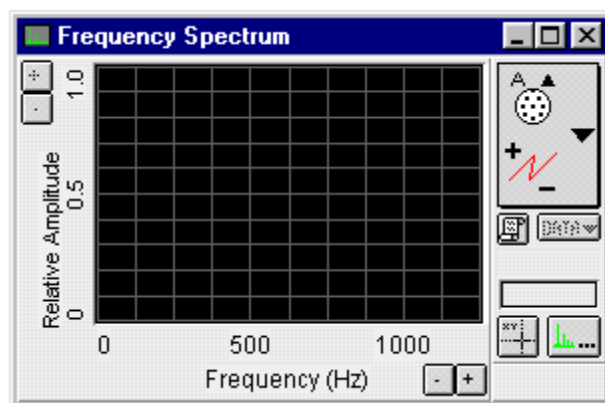
Okno podstawowe — zawiera przyciski sterowania



Okno „Interference Beats” —
do obserwacji dudnienia



Okno „Frequency spectrum” —
do obserwacji widma częstotliwości





CZĘŚĆ II: 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.

- Końcówki przewodów od czujnika napięcia należy podłączyć do gniazd wyjściowych generatora oznaczonych napisem 8Ω OUT oraz GND.
- Równolegle do czujnika podłącz głośnik (końcówki głośnika włóż do gniazd wtyczek czujnika).
- Wyłącz regulację modulacji na każdym z generatorów, (przełączniki MODULATION ustaw na OFF).
- Wybierz na generatorze Nr 1 falę sinusoidalną, mnożnik częstotliwości na 100 oraz wartość amplitudy w połowie zakresu. Ustaw częstotliwość ok. 250 Hz.
- Ustaw generator Nr 2 tak, jak generator Nr 1 i częstotliwość ok. 230 Hz.
- Włącz generator i dobierz odpowiednią głośność za pomocą pokrętła VOLUME.

CZĘŚĆ III. Wykonanie pomiarów

- W celu uzyskania danych pomiarowych naciśnij przycisk **TRIG** (w oknie oscyloskopu) oraz **MON** (w oknie podstawowym). W oknie Interference - Beats powinien pokazać się przebieg falowy.
- W celu zatrzymania pomiaru naciśnij przycisk **STOP**.
- Naciskając w oknie oscyloskopu na przycisk z zaznaczonymi na nim osiami współrzędnych  (Smart Cursor) wywołujemy kursor precyzyjny, który pozwoli na określenie położenia punktów na ekranie. W celu znalezienia częstotliwości dudnienia wskazujemy najpierw na początek pierwszego pełnego cyklu zmiany amplitudy i zapisujemy odpowiadający temu punktowi czas pokazany tuż pod ramką. Następnie szukamy podobnie ułożonego punktu końcowego ostatniego pełnego cyklu i też zapisujemy odpowiadający mu czas (patrz rysunek na str. 2).
- Odczytujemy liczbę pełnych cykli zawartych pomiędzy tymi punktami i zapisujemy ją.
- ❖ W dalszej części pomiarów mierzymy częstotści fal składowych. Pomiar kursorem precyzyjnym wykonujemy teraz w oknie Frequency Spectrum.
- Naciśnij przycisk kursora precyzyjnego  i ustaw wskaźnik na maksimum pierwszej częstotliwości składowej i odczytaj na osi poziomej jej wartość. Zanotuj pokazaną częstotliwość.
- Przesuń kursor precyzyjny na maksimum drugiej częstotliwości składowej. Odczytaj jej wartość.

Opracowanie wyników pomiarów

- 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 .

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

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

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