Ondas de ultrasonido
"Óptica física" con ultrasonido
Análisis de Fourier

Objetivo

Realizar un estudio experimental de ondas sonoras de alta frecuencia. Fenómenos de reflexión, transmisión, interferencia y difracción. También se estudiará la respuesta de un sistema emisor–receptor de ultrasonido en función de la frecuencia. Análisis de Fourier de señales periódicas.

Experimento

Se dispone de un emisor acústico que puede emitir ondas puras de alta frecuencia (ultrasonido, $f \geq 20$ kHz) y de un receptor de estas ondas. Ambos dispositivos están en un circuito como el de la Fig. 1, de modo tal de poder comparar las señales de emisión y recepción tanto en sus formas de onda, amplitudes y fases relativas.

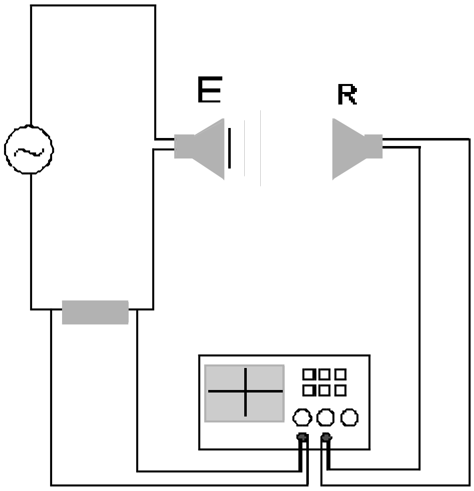

Figura 1. Dispositivo experimental para estudiar la propagación de ondas de ultrasonido. El mismo consiste en un emisor de ultrasonido excitado por un generador de funciones (GF), una resistencia que permite medir la corriente que pasa por el mismo. Esta señal se conecta a uno de los canales de un osciloscopio. El otro canal del mismo se conecta a la salida del receptor de ultrasonido.

Actividad 1

Respuesta en frecuencia del sistema

Colocar el receptor enfrentado al emisor a una distancia de unos pocos centímetros. Obtener la curva de respuesta del par emisor–receptor en función de la frecuencia de excitación del emisor, cuando se lo excita con un voltaje alterno sinusoidal.

- Mida con el osciloscopio la amplitud de la señal recibida por el receptor, $V_{r,}$ y la amplitud de la excitación del emisor, V_e. Represente gráficamente V_r/V_e en función de la frecuencia f de excitación. Determine las frecuencias de resonancias (si hubiese más de una) y el semiancho de dichas curvas. Determine el factor de mérito (o factor de calidad) del sistema definido como $Q = f_0 / Df$, donde f_0 es la frecuencia de resonancia y Df es el semiancho de la curva de transferencia de potencia del sistema. Evalúe Q para cada frecuencia de resonancia. ¿Puede decir si este factor de calidad es una propiedad del emisor, del receptor o de ambos elementos?

- Estudie la variación de fases relativas alrededor de las frecuencias de resonancia. Usando el osciloscopio en el modo *XY*, mida la diferencia de fase de las señales y discuta como varían estas figuras cuando las señales están en fase o desfasadas en $\pi/2$.

Determinación de la velocidad del sonido

- Trabajando en una frecuencia de resonancia, la más conspicua que encuentre, estudie la variación de las fases al variar la distancia emisor–receptor. ¿Qué observa? ¿Cómo explica sus resultados? Represente en un gráfico la distancia entre emisor y receptor para las que se verifica que ambas señales están en fase, en función del orden n (= 1,2,3, …) a las que se cumple tal condición. ¿Cómo puede determinar la longitud de onda, l, de la onda de ultrasonido a partir de este gráfico? Explique sus argumentos.

- Usando este resultado determine la velocidad de propagación de las ondas en estudio. Estime las incertidumbres de estas determinaciones. Discuta de qué factores (cantidades de influencia) pueden depender estos resultados.

- Diseñe un experimento para medir la velocidad del sonido en un gas distinto del aire y estudiar el problema en función de la temperatura y presión del gas.

Dependencia de la intensidad con la distancia

- Varíe la distancia emisor−receptor, d, y mida V_r en función de d. ¿Qué ley obtiene para la función $V_r(d)$? ¿Puede aproximar $V_r(d)$ por una función potencial, es decir $V_r \propto d^n$? ¿Qué exponente n encuentra? Analice el resultado obtenido.

Actividad 2

Análisis de Fourier

Del primer estudio se deduce que los transductores de ultrasonido tienen resonancias muy agudas, siendo por lo tanto excelentes filtros de frecuencia fija. Utilizando una señal cuadrada de frecuencia f_0 (una de las frecuencias de resonancia encontradas) aplicada al emisor, haga un barrido de frecuencia (en sentido descendente, discuta la razón de variar la frecuencia en sentido decreciente y no ascendente) y observe para cuáles frecuencias se observa máxima amplitud en el receptor. ¿Que relación encuentra entre sus resultados y el desarrollo de Fourier de una onda cuadrada? Realice lo mismo con un voltaje de excitación triangular. ¿Qué puede concluir de este estudio experimental acerca del teorema de Fourier? ¿Puede reconstruir las ondas cuadrada y triangular a partir de los datos obtenidos? Ver Apéndice.

Actividad 3

Óptica física con ultrasonido

Reflexión

Ubique el receptor enfrentado a una pantalla plana y del mismo lado del emisor y mida la onda reflejada. Estudie como varía el ángulo de reflexión en función del ángulo de incidencia. ¿Qué puede concluir acera de la reflexión de ondas de ultrasonido?

Difracción

Coloque entre el emisor y el receptor una pantalla con una ranura de ancho a comparable a la longitud de onda l de las ondas en estudio. Desplace el receptor perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda (ver Fig. 2). Para obtener un patrón de difracción del tipo de Fraunhofer los frentes de ondas incidentes deben ser planos. ¿Se cumple esta condición en su experimento? Téngalo en cuenta cuando analice sus resultados. ¿Cómo se comparan sus resultados con las preediciones teóricas?

Repita el experimento anterior colocando una pantalla con varias rendijas. Realice el experimento usando distintos números de rendijas. ¿Qué conclusión obtiene del análisis de todos estos resultados?

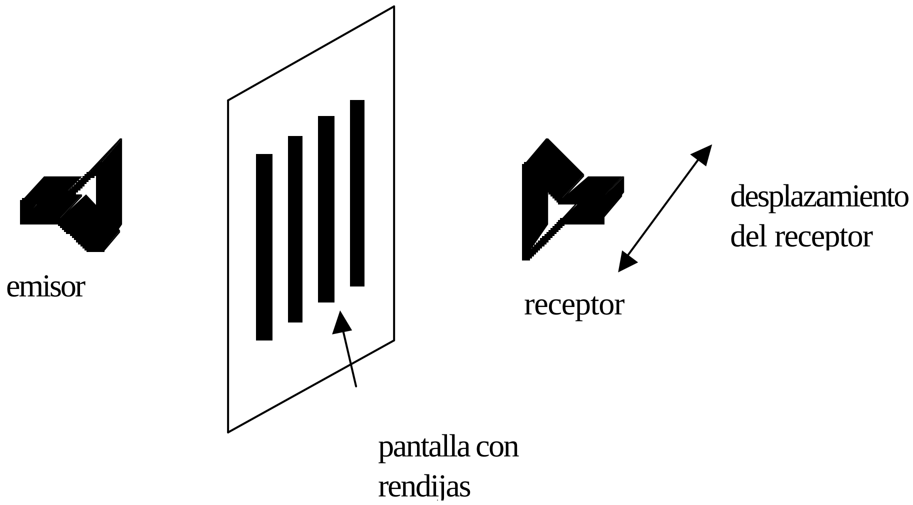

Figura 2 Esquema del sistema para estudiar la difracción de ondas ultrasónicas.

🕮 Bibliografía

1. T.B.Greenslade Jr., *Experiment with Ultrasonic Transducers*, Phys. Teach. **32**, 392-298 (1994).

2. T.B.Greenslade Jr., *Ultrasonic Transducers for Fourier Analysis*, Phys. Teach. **33**, 514-515 (1995).

3. E. Hecht, *Optics* (Addison–Wesley Pub. Co., New York, 1990).

4. H.P. Hsu, *Análisis de Fourier* (Addison–Wesley Iberoamericana, 1987).

Apéndice

El desarrollo de Fourier para una función cuadrada de período $T = 2\pi/\omega_0$ y amplitud A_0 viene dada por:

$$f(t) = A_0 \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2 \cdot n - 1)} \cdot Sin\left[(2 \cdot n - 1) \cdot \omega_0 \cdot t\right] \qquad \text{(A1)}$$

Para el caso de una función periódica triangular de iguales características tenemos:

$$f(t) = A_0 \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n - 1)^2} \cdot Cos\,[(2n - 1) \cdot \omega_0 \cdot t] \qquad \text{(A2)}$$