

Práctica 1-1. Altavoces

Laboratorio de Sistemas Electroacústicos

Javier Rodrigo López - javier.rlopez@alumnos.upm.es

21 de septiembre de 2023

- 1 Usando el cursor de la gráfica de función de transferencia H_1 del *woofer*, obtener su valor de módulo y fase a la frecuencia de 500 Hz. Proporcionar dicho módulo $|H_1|$ en dB re. $20 \mu\text{Pa V}^{-1}$ y en dB re. 1 Pa V^{-1} usando las propiedades de la gráfica. Comprobar la equivalencia de ambos valores.

Posicionando el cursor en la gráfica de la función de transferencia a la frecuencia de 500 Hz, se lee el módulo y la fase de esta. Para cambiar la presión de referencia, se hace clic derecho en la gráfica, se selecciona la opción *Properties* y, en la pestaña *Functions*, se cambia el valor de *DB Reference* de 20.0000u a 1.0000. Los valores leídos son los siguientes:

$$\begin{aligned} |H_1| &= 82.169 \text{ dB re. } 20 \frac{\mu\text{Pa}}{\text{V}} & |H_1| &= -11.810 \text{ dB re. } 1 \frac{\text{Pa}}{\text{V}} \\ \angle H_1 &= 19.146^\circ & \angle H_1 &= 19.146^\circ \end{aligned}$$

Se puede demostrar que ambos valores son equivalentes siguiendo los siguientes pasos:

$$\begin{aligned} |H_1| &= 20 \log \left(\frac{|h_1|}{p_{\text{ref}}} \right) \\ \Rightarrow |h_1| &= 20 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{\frac{82.169}{20}} = 2.567 \cdot 10^{-1} \text{ Pa} \\ \Rightarrow |H_1| &= 20 \log \left(\frac{2.567 \cdot 10^{-1}}{1} \right) \approx \boxed{-11.81 \text{ dB re. } 1 \frac{\text{Pa}}{\text{V}}} \end{aligned}$$

- 2 A partir de los resultados del laboratorio y tomando el valor de H_1 del apartado anterior, obtener la sensibilidad del *woofer* usando estas tres expresiones:

$$S \left[\frac{\text{dB}}{\text{W}} \right] = SPL_{\Delta}(r) + 20 \log \left(\frac{2.83}{V_{\Delta}} \right) + 20 \log(r) \quad (1)$$

$$S \left[\frac{\text{dB}}{\text{W}} \right] = H_1(r) \left[\text{dB re. } 20 \frac{\mu\text{Pa}}{\text{V}} \right] + 20 \log \left(\frac{2.83}{1} \right) + 20 \log(r) \quad (2)$$

$$S \left[\frac{\text{dB}}{\text{W}} \right] = H_1(r) \left[\text{dB re. } 1 \frac{\text{Pa}}{\text{V}} \right] + 20 \log \left(\frac{2.83}{1} \right) + 20 \log(r) - \underbrace{20 \log(p_{\text{ref}})}_{94 \text{ dB}} \quad (3)$$

En primer lugar, se debe establecer el **rango útil del altavoz** a partir de la gráfica de la función de transferencia. En este caso se ha escogido que sea **entre 126.5 Hz y 2.563 kHz**.

Utilizando la [Ecuación 1](#), donde SPL_{Δ} es el nivel de presión sonora medido con el micrófono en la banda útil, V_{Δ}

es la tensión de entrada en la banda útil y r es la distancia entre el altavoz y el micrófono, se obtiene el valor de S :

$$\begin{aligned}
 S \left[\frac{\text{dB}}{\text{W}} \right] &= SPL_{\Delta}(r) + 20 \log \left(\frac{2.83}{V_{\Delta}} \right) + 20 \log(r) \\
 &= 67.790 + 20 \log \left(\frac{2.83}{0.191} \right) + 20 \log(2) \\
 &= 67.790 + 23.415 + 6.021 \\
 &\approx \boxed{97.2 \frac{\text{dB}}{\text{W}}}
 \end{aligned}$$

Ahora se procede a utilizar la [Ecuación 2](#), donde $H_1(r)$ es el valor de la función de transferencia promediado a lo largo del rango útil y a la distancia $r = 2$ m. El valor medio de la función de transferencia se calcula en Excel y es:

$$H_1(r = 2) = 81.75 \text{ dB re. } 20 \frac{\mu\text{Pa}}{\text{V}}$$

Y se obtiene el valor de S :

$$\begin{aligned}
 S \left[\frac{\text{dB}}{\text{W}} \right] &= H_1(r = 2) \left[\text{dB re. } 20 \frac{\mu\text{Pa}}{\text{V}} \right] + 20 \log \left(\frac{2.83}{1} \right) + 20 \log(r) \\
 &= 81.75 + 9.036 + 6.020 \\
 &\approx \boxed{96.8 \frac{\text{dB}}{\text{W}}}
 \end{aligned}$$

Para utilizar la [Ecuación 3](#) se debe cambiar el valor de referencia en las propiedades de la gráfica. Una vez hecho esto, se calcula el valor medio de la función de transferencia en Excel:

$$H_1(r = 2) = -12.22 \text{ dB re. } 1 \frac{\text{Pa}}{\text{V}}$$

Y se obtiene el valor de S :

$$\begin{aligned}
 S \left[\frac{\text{dB}}{\text{W}} \right] &= H_1(r = 2) \left[\text{dB re. } 1 \frac{\text{Pa}}{\text{V}} \right] + 20 \log \left(\frac{2.83}{1} \right) + 20 \log(r) - 20 \log(p_{\text{ref}}) \\
 &= -12.22 + 9.036 + 6.020 - 20 \log(20 \cdot 10^{-6}) \\
 &\quad \underbrace{\hspace{10em} -94 \hspace{10em}}_{+94} \\
 &\approx \boxed{96.8 \frac{\text{dB}}{\text{W}}}
 \end{aligned}$$

Se aprecia que los tres resultados son coherentes entre sí, ya que las variaciones en el resultado son mínimas, y que por tanto las diferentes expresiones para calcular la sensibilidad son equivalentes.

3 Calcular en Excel el valor SPL_{Δ} mediante las gráficas de la práctica.

El procedimiento para calcular el valor de SPL_{Δ} en Excel es el siguiente:

1. Se copian los datos de la gráfica del nivel de presión sonora del micrófono y se pegan en una zona de la hoja de Excel.
2. Se calcula una columna auxiliar de la presión cuadrática, corregida por el factor de corrección de la ventana que utiliza Pulse. En este caso, este valor es $\sqrt{1.5}$. La fórmula de la i -ésima celda seguirá la siguiente fórmula:

$$p_i^2 = \frac{1}{(w_{\text{RMS}})^2} p_{\text{ref}}^2 \cdot 10^{\frac{L_i}{10}} = \frac{1}{(\sqrt{1.5})^2} (20 \mu\text{Pa})^2 \cdot 10^{\frac{L_i}{10}}$$

3. El nivel de presión sonora se calcula entonces como:

$$SPL_{\Delta} = 10 \log \left(\frac{\sum_i p_i^2}{p_{\text{ref}}^2} \right) \approx \boxed{67.79 \text{ dB re. } 20 \mu\text{Pa}} \quad \text{Siendo } p_i \text{ cada presión medida en el rango útil}$$

4 Mediante la fase de H_1 a 600 Hz, estimar la distancia r a la que estaba el micrófono. Suponer que a esa frecuencia el altavoz tiene fase nula y la única fase captada es la fase acústica, $\varphi_a = -kr = \frac{-2\pi fr}{c}$.

Colocando el cursor a 600 Hz, se obtiene un valor de fase $\varphi_a = 156.48^\circ$, que en radianes es $\varphi_a = 2.731 \text{ rad}$. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la fase está limitada en la gráfica a $\pm\pi \text{ rad}$, por lo que si se haya por debajo de $-\pi \text{ rad}$ se le sumará $2\pi \text{ rad}$ y aparecerá representada como una fase positiva. Esto se manifiesta como una línea vertical de pendiente muy agresiva. A 600 Hz se han observado hasta 4 de esos saltos, por lo que la fase que se usará en la fórmula será $\varphi_a = 2.731 - 4 \cdot 2\pi = -22.402 \text{ rad}$. Asumiendo que la velocidad del sonido en el aire es de 343 m s^{-1} , se obtiene la distancia de la siguiente forma:

$$\varphi_a = \frac{-2\pi fr}{c} = \frac{-2\pi \cdot 600 \cdot r}{343} \quad \implies \quad r = \frac{-c\varphi_a}{2\pi f} = \frac{-343 \cdot (-22.402)}{2\pi \cdot 600} \approx \boxed{2.04 \text{ m}}$$

Este resultado es coherente con la distancia a la que se colocó el micrófono, por lo que se puede asumir que el cálculo es correcto.