

Práctica 3. DIRECTIVIDAD DE UN BAFLE

1.- Objetivos

- Determinar la sensibilidad y la respuesta en frecuencia del sistema formado por un altavoz en una caja acústica.
- Obtener el diagrama polar de radiación y del índice de directividad en la dirección de máxima radiación.

2.- Introducción teórica

La sensibilidad de un altavoz, S , es el nivel de presión sonora que provoca a un metro de distancia cuando se excita con un vatio de potencia eléctrica. Es una medida del rendimiento del altavoz.

La función de directividad $D(\theta)$, de una fuente se define como:

$$D(\theta) = \frac{I(\theta)}{I(\theta_0)} = \left(\frac{P(\theta)}{P(\theta_0)} \right)^2$$

donde θ_0 es la dirección en la que se produce la máxima radiación, que suele coincidir con la dirección de un eje de simetría de la fuente. Expresada en decibelios

$$D(\theta)_{dB} = 20 \log \frac{P(\theta)}{P(\theta_0)} = LP(\theta_0) - LP(\theta) = LP_{max} - LP(\theta)$$

La representación de la directividad, bien en escala lineal o logarítmica conduce a los diagramas direccionales de las fuentes, de uso muy extendido.

Se define el factor de directividad, Q , de una fuente en una dirección determinada, como la relación entre la intensidad acústica que esa dirección emite la fuente en estudio y la intensidad que produciría una fuente isotrópica (puntual y omnidireccional) que radiara la misma potencia que la fuente que se está tratando.

Se puede demostrar que si se consideran fuentes sonoras con simetría de revolución, y tomando el eje OZ como eje de simetría, el factor de directividad en la dirección θ_0 se puede obtener de la siguiente expresión simplificada:

$$Q(\theta_0) = \frac{4\pi I(\theta_0)}{\int_0^\pi I(\theta) \sin \theta d\theta \int_0^{2\pi} d\psi} = \frac{2I(\theta_0)}{\int_0^\pi I(\theta) \sin \theta d\theta}$$

Para el caso de la dirección de máxima radiación se recuerda:

$$Q_{\max} = \frac{2}{\int_0^\pi D(\theta) \sin \theta d\theta}$$

El índice de directividad, DI, es el factor de directividad expresado en decibelios, es decir:

$$DI(\theta_0) = 10 \log Q(\theta_0)$$

Se puede obtener el valor en función del máximo:

$$DI(\theta) = DI_{\max} + D_{\text{dB}}(\theta)$$

Y en el caso de una serie de medidas discretas la integral del denominador se convierte en un sumatorio:

$$Q(\theta_0) = \frac{2I(\theta_0)}{\sum_{i=1}^n I(\theta_i) \sin \theta_i \Delta \theta_i}$$

donde $I(\theta_i)$ es la intensidad acústica para cada posición angular, n el número de medidas, $\Delta \theta_i$ el intervalo angular entre mediciones. Por tanto, $n = \pi / \Delta i$. Para el caso máximo:

$$Q_{\max} = \frac{2}{\sum_{i=1}^n D(\theta_i) \sin \theta_i \Delta \theta_i}$$

3.- Equipo a utilizar

- Sonómetros para la medida de la respuesta en frecuencia
- Mesa giratoria
- Etapa de potencia y fuente de ruido rosa
- Cajas de altavoces montadas por los alumnos
- (Cámara anecoica o campo libre)

4.- Desarrollo de la práctica

Si se deja el micrófono de medida fijo y se hace girar la mesa estamos analizando el diagrama polar de la caja acústica. Es muy importante no variar la frecuencia en el proceso de medida. Si no se dispone de mesa giratoria se realizarán medidas con un intervalo angular de 10° .

Para realizar esta medida, se ha de tener en cuenta la posición de los controles del registrador.

Elegir cuatro o más frecuencias de trabajo de forma que se obtenga una medida representativa del diagrama polar de la caja (por ejemplo, octavas desde 125 Hz a 4kHz).

Contenido de la memoria:

- Diagramas de directividad de octavas desde 125 Hz a 4kHz
- Factor e índice de directividad máximo por octavas
- Respuesta en frecuencia en la dirección de máxima radiación
- ¿Cómo se obtiene la sensibilidad?

PRACTICA 1: CARACTERIZACIÓN DE UN TRANSDUCTOR DINÁMICO (MÉTODO DIRECTO)

1.- Objetivos.

- Obtener la curva de impedancia de un altavoz mediante el método de corriente constante.
- Determinar las características mecánicas de un altavoz de tipo dinámico: La resistencia mecánica, R_{MS} ; la masa mecánica M_{MS} y la compliancia mecánica, C_{MS} de la suspensión (diafragma) del altavoz; y las eléctricas: la resistencia eléctrica, R_E , y la autoinducción de la bobina, L_E .

Para caracterizar un altavoz, se pueden seguir diferentes ortodoxias, que dependen del tipo de transductor electromecánico, de su campo de aplicación, etc. Se citan: a) Método directo (que se experimenta en esta práctica), b) Método de A.N. Thiele, c) A partir de la impedancia del movimiento, d) Método de J Christophorou e) Método de O. Jacopsen, etc.

2.- Introducción teórica.

Las ecuaciones canónicas para un transductor dinámico, que relacionan las variables eléctricas y mecánicas, adoptan la forma:

$$\begin{aligned} V &= B l u + Z_E I \\ F &= -B l I + Z_M u \end{aligned}$$

por lo que se deduce que es de tipo antirrecíproco y que su factor de transformación es:

$$\Phi_a = B l$$

siendo B la densidad de flujo magnético en el entrehierro y l la longitud de la bobina.

La figura 1 muestra la sección transversal de un altavoz dinámico, en la que se han señalado las diferentes partes.

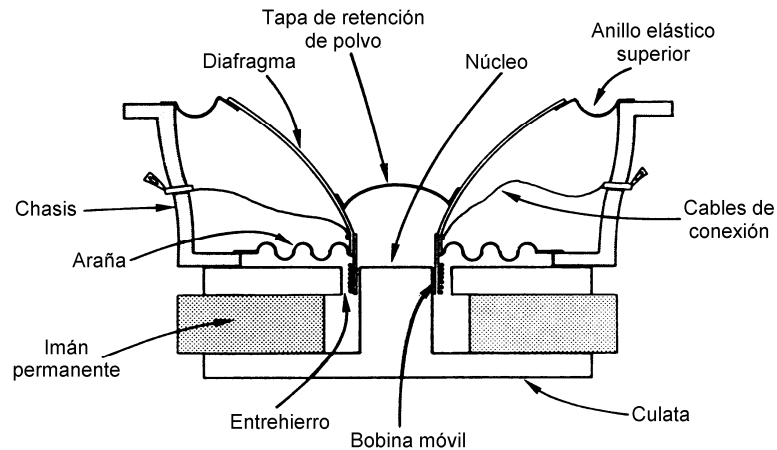


Figura 1

La impedancia eléctrica pura viene dada por:

$$Z_E = R_E + j\omega L_E$$

siendo R_E la resistencia eléctrica y L_E autoinducción de la bobina.

La impedancia mecánica de la suspensión del altavoz, Z_{MS} , es:

$$Z_{MS} = R_{MS} + j(\omega M_{MS} - 1/\omega C_{MS})$$

La impedancia mecánica total, Z_M , coincide con Z_{MS} si se desprecia la parte de radiación.

La impedancia eléctrica total, Z_{ET} , es:

$$Z_{ET} = Z_E + \frac{(Bl)^2}{Z_{MS} + Z_{ML}} = Z_E + Z_{MOV}$$

Z_{MOV} es la llamada impedancia del movimiento que cuantifica el efecto de la parte mecánica sobre la eléctrica.

Z_{ML} es la impedancia mecánica de carga. En los casos que nos ocupan es la impedancia mecánica de radiación, Z_{MR} . Para evaluar su contribución se recurre bien

al modelo de pistón en pantalla infinita, bien al del pistón radiando en el extremo de un tubo:

$$Z_{ML} = Z_{MR} = R_{MR} + jX_{MR}$$

siendo X_{MR} en el caso de pantalla infinita $2M_{MR}$ (para más detalles ver bibliografía recomendada al final del libro).

3.- Desarrollo de la práctica.

A continuación se describen las experiencias a realizar para determinar los parámetros característicos del altavoz.

Trazado de la curva de impedancia: En la figura 2 se indica el circuito para medir la impedancia con el método llamado de "corriente constante". El altavoz se coloca en un baffle plano infinito. El amplificador empleado como fuente de prueba conectado en serie a una resistencia de 300 a 1000 Ohmios (R_{ccx100}) funciona como un generador de corriente constante.

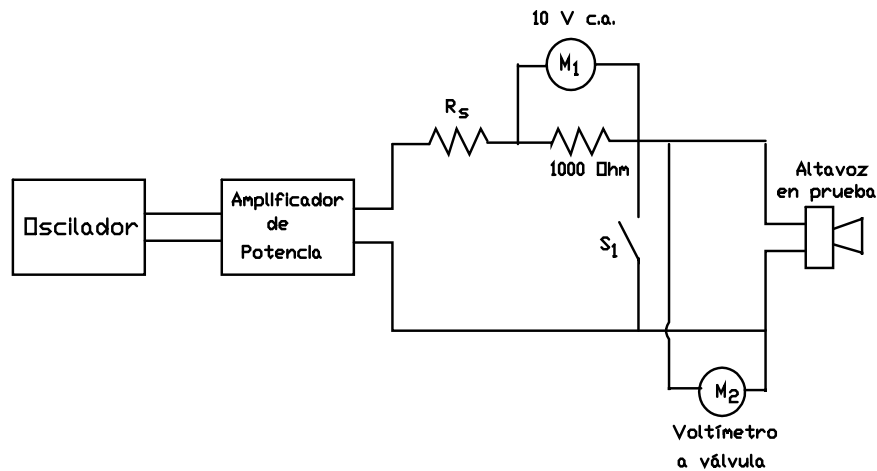


Figura 2

A veces se utiliza un registrador gráfico en lugar de M_2 y obtienen automáticamente gráficos de impedancia.

En nuestro caso, se prescindirá del interruptor S_1 y todas las medidas de tensión se realizarán con el osciloscopio.

Resistencia eléctrica, R_e : Se medirá directamente con un óhmetro.

Autoinducción de la bobina, L_E : Se puede determinar de manera aproximada suponiendo que la impedancia eléctrica total, Z_{ET} , a muy alta frecuencia, que es prácticamente inductiva, verifica:

$$|Z_{ET}| \cong |X_{ET}| = \omega L_E$$

Factor Bl . Se hace pasar una corriente continua por la bobina, que produce un desplazamiento del equipo móvil. Este desplazamiento es anulado por un peso colocado sobre la membrana (equilibrado). En esta situación se verifica

$$Bli = mg \Rightarrow Bl = \frac{mg}{I}$$

Frecuencia de resonancia mecánica, f_o : Como sabemos corresponde al máximo valor del módulo de la impedancia.

Masa mecánica. A la masa del equipo móvil se le añade una masa adicional m conocida. Se anota la nueva frecuencia de resonancia, f_o' . La masa móvil incorpora la masa de aire que carga las dos caras de la membrana del transductor considerado, montado sobre baffle infinito.

$$M_{ms} = \frac{m}{\left(\frac{f_o}{f_o'}\right)^2 - 1}$$

donde m =masa adicional, f_o = frecuencia de resonancia en el aire libre, f_o' la frecuencia de resonancia con la masa adicional.

Compliance mecánica, C_{ms} . Se obtiene con la relación de la frecuencia de resonancia en aire libre.

$$C_{ms} = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 M_{ms}}$$

Parámetros de Thiele-Small.

Del trazado de la curva de impedancia, se mide la impedancia máxima, así como la resistencia en corriente continua

$$r_o = \frac{Z_{max}}{R_{cc}}$$

A continuación se buscan las frecuencias f_1 y f_2 que tengan una posición perfectamente simétrica en la curva de impedancia a ambos lados de la frecuencia de resonancia. Estas frecuencias, se sitúan en un valor de módulo de impedancia igual a:

$$Zf_1f_2 = \sqrt{r_o} \times R_{cc}$$

La frecuencia de resonancia es $f_o = \sqrt{f_1f_2}$

Los coeficientes de sobretensión mecánico, eléctrico y total, respectivamente, se obtienen a partir de las expresiones:

$$Q_m = \frac{f_r \times \sqrt{r_o}}{f_2 - f_1}$$

$$Q_e = \frac{Q_m}{r_o - 1}$$

$$Q_t = \frac{Q_m}{r_o}$$

Volumen de aire equivalente a la elasticidad de la suspensión del altavoz, V_{as} : Se carga el altavoz contra un volumen perfectamente cerrado. Los parámetros se trazan por segunda vez. Si V es el volumen de la carga, f_{rc} , la frecuencia de resonancia con el altavoz cargado, y Q_{ec} el coeficiente de sobretensión eléctrica con el altavoz cargado, se tiene:

$$V_{as} = V \left(\frac{f_{rc} \times Q_{ec}}{f_r \times Q_e} - 1 \right)$$

La resistencia mecánica, R_{ms} .

$$R_{ms} = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 Q_{ms} C_{ms}}$$

4.- Equipo utilizado.

- Generador de Baja Frecuencia.
- Amplificador.
- Resistencia de 1 K Ω .
- Altavoz en estudio.
- Bafle plano infinito.
- Voltímetro.

5.- Desarrollo de la práctica.

1.-A partir del montaje experimental propuesto, se rellenará la tabla 1. (Rango de frecuencias alrededor de la resonancia y datos de alta frecuencia).

FREC (Hz)	V	I	Z

Tabla 1

2.-Represente gráficamente la impedancia en función de la frecuencia en el margen de frecuencia considerado.

3.-Calcule el factor de calidad, Q, del sistema. (Si la corriente es constante, la curva $V=V(f)$ tiene la misma forma que la de potencia).

4.-Determine los parámetros de Thiele-Small (tabla 2)

fs	Re	Le	Bl	Rms	Mms	Cms	Qms	Qes	Qts	Vas	Modelo

Tabla 2