

## Taller 2: Respuesta de frecuencia y diagramas de BODE.

### OBJETIVOS

1. Utilizar datos, indicios e información para formular las ecuaciones de un sistema (CDIO 2.1.1).
2. Describir las abstracciones necesarias para definir y modelar un sistema. (CDIO 2.3.2)
3. Describir propiedades funcionales y de comportamiento que surgen de un sistema (CDIO 2.3.2)
4. Identificar sistemas propios según una disciplina y sistemas con interacción entre áreas (CDIO 2.3.2)

### CONTENIDO:

1. Plantear funciones de transferencia.
2. Graficar la respuesta de frecuencia empleando MATLAB

### Funciones de MATLAB (Nota 1)

En Matlab existe un conjunto de funciones para resolver las ecuaciones de estado de sistemas lineales e invariantes con el tiempo.

Función	Descripción	
<a href="#">tf</a>	Construye un modelo de función de transferencia desde un polinomio $N$ y $D$ del numerador y denominador de la función de transferencia	$sys = tf(N, D)$
<a href="#">ss2tf</a>	Convierte la representación de estado a función de transferencia.	$[b, a] = ss2tf(A, B, C, D)$
<a href="#">zpk</a>	Crear el mapa de polos y ceros. Es una representación de la función de transferencia en su forma factorizada. Se puede ingresar un sistema en variables de estado como en términos de los valores de cero, polos y la ganancia	$sys = zpk(sys)$ $sys = zpk(ceros, polos, ganancia)$
<a href="#">bode</a>	Respuesta de frecuencia grafica o datos de magnitud y fase vs frecuencia	$bode(sys); bode(____, w)$ $[mag, phase, wout] = bode(sys)$ $[mag, phase, wout] = bode(sys, w)$

---

### Problemas de aplicación

1. Un sistema de segundo orden tiene la función de transferencia (Nota 2)

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + 0,5s + 1}$$

- ¿Cuáles son los parámetros del sistema,  $\omega_0$  y  $\zeta$ ?
- Del diagrama de Bode de magnitud obtener el ancho de banda 3 dB.
- Graficar la respuesta del sistema si la entrada es de la forma:

$$u(t) = \text{sen}(\omega t)$$

La frecuencia de la entrada tiene tres valores de interés:

$$\omega = 0,2\omega_0; \omega = \omega_0; \omega = 2\omega_0$$

Para cada caso graficar la señal de salida, compararla con la entrada en términos de amplitud y fase de la señal seno de salida.

2. Un sensor de presión tiene una función de transferencia de la forma (Nota 3)

$$H(s) = \frac{\omega_o^2}{s^2 + (2\zeta\omega_o)s + \omega_o^2}$$

Medidas de laboratorio dan como resultado:

$$f_o = 5000\text{Hz y } \zeta = 0,4$$

- Calcular la frecuencia de resonancia.
- Graficar el diagrama de Bode de magnitud y fase
- ¿Si la entrada es una señal seno de amplitud unitaria y frecuencia 2000 Hz cual es la amplitud y corrimiento de fase de la señal de salida? Calcularlo
- Obtener la respuesta a partir del diagrama de Bode. Comparar resultados.
- ¿Cuál es el porcentaje de error en la salida?

$$e(\%) = \frac{\text{Valor}_{\text{medido}} - \text{Valor}_{\text{ideal}}}{\text{Valor}_{\text{ideal}}} \times 100\%$$

- Si el máximo error permitido es del  $\pm 1\%$ , cual es la máxima frecuencia de entrada aceptable?

3. **De datos experimentales a función de transferencia propuesta** (Nota 4)

La respuesta de frecuencia de un circuito, tomada en el laboratorio es:

Frequency response

$f$ [Hz]	In [V]	Out [V]	Out/In [dB]	time lag [ms]	phase [deg]
100	9.938	0.75	-22.44475458	2.1	75.6
200	9.812	1.369	-17.10708183	0.94	67.68
400	9.812	2.328	-12.49549127	0.38	54.72
800	9.812	3.422	-9.149550687	0.128	36.864
1000	9.75	3.703	-8.409018073	0.09	32.4
1200	9.688	3.906	-7.890037824	0.066	28.512
1400	9.688	4.062	-7.549884221	0.049	24.696
1600	9.688	4.156	-7.351171825	0.038	21.888
1800	9.75	4.25	-7.212313713	0.03	19.44
2000	9.75	4.281	-7.149187757	0.0232	16.704
2400	9.75	4.438	-6.836346356	0.016	13.824
3000	9.812	4.5	-6.770900515	0.0092	9.936
4000	9.812	4.56	-6.655853937	0.0032	4.608
5000	9.812	4.562	-6.652045172	0	0
8000	9.812	4.5	-6.770900515	-0.0022	-6.336
12000	9.812	4.406	-6.954260934	-0.0035	-15.12
16000	9.688	4.188	-7.284549143	-0.0035	-20.16
20000	9.688	4	-7.683482776	-0.0035	-25.2
24000	9.688	3.812	-8.101624763	-0.0035	-30.24
30000	9.688	3.5	-8.843321716	-0.0035	-37.8
40000	9.625	3.062	-9.947911036	-0.0032	-46.08
80000	9.625	1.875	-14.20798932	-0.0022	-63.36
160000	9.688	1.037	-19.40910747	-0.0013	-74.88

Observar las unidades de las variables.

- Graficar BODE de magnitud y fase. Emplear MATLAB
- Proponer la mejor función de transferencia y graficar el Bode.
- Comparar los resultados de la función propuesta vs los datos experimentales, medir el error cuadrático medio de la aproximación

#### 4. Respuesta filtro "Butterworth" (Nota 5)

La función de transferencia de un filtro LP tipo Butterworth (Respuesta máximamente plana en banda de paso) es de la forma:

$$H(s) = \frac{1}{s^5 + 3,236s^4 + 5,236s^3 + 5,236s^2 + 3,236s + 1}$$

Esta función esta normalizada para una frecuencia de corte de  $\omega_o = 1$ .

Si se desea calcular el filtro para otra frecuencia de corte simplemente se “desnormaliza” reemplazando:

$$s \rightarrow \frac{s}{\omega_{onueva}}$$

Donde  $\omega_{onueva}$  es la frecuencia de corte deseada, en rps.

- Calcular la función de transferencia para un filtro LP con corte en 4000 Hz.
- Graficar el diagrama de Bode. Verificar la frecuencia de corte
- ¿Cuál es la salida para una señal seno de amplitud unitaria y frecuencia 2000Hz? ¿Para frecuencia 5000Hz?
- Graficar la respuesta para entrada paso.

## NOTAS

- [https://www.mathworks.com/help/control/referencelist.html?type=function&category=response-plots-and-data&s\\_tid=CRUX\\_topnav](https://www.mathworks.com/help/control/referencelist.html?type=function&category=response-plots-and-data&s_tid=CRUX_topnav)
- <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/freq/freq.html>
- J.P.Holman. Experimental methods for engineers. 7<sup>th</sup> edition. McGraw Hill International Edition 2001
- <http://www.eecis.udel.edu/~murakows/eleg309/report.pdf>
- Lacanette K. A Basic Introduction to filters. NS. Application Note 779. 2010
- Talleres: mismos grupos de laboratorio
- COPIA DETECTADA DURANTE LA CALIFICACIÓN SE SANCIONARÁ CON LA ANULACIÓN DEL EXPERIMENTO Y LA CORRESPONDIENTE SANCIÓN ESTABLECIDA EN EL REGLAMENTO.
- Realización: semana 4
- Entrega: semana 5. 24 febrero antes de la 11.59 PM. Después de esta hora no se recibe. Subir a BS

## REVISIONES

Revisión 1	Febrero 2023	CCB /CCS/
------------	--------------	-----------