Fundamentos de Control Industrial

Práctica 5

Del 24 de abril al 28 de abril de 2017

Javier Rico Azagra

Índice

Objetivo

El objetivo principal de la práctica es conocer las herramientas que ofrece Matlab para el análisis de sistemas de control en el dominio de la frecuencia. En concreto se estudiaran las instrucciones que permiten el trazado de diagramas de Bode y su aplicación en el diseño de sistemas de control. Pueden destacarse los siguientes objetivos secundarios:

- Recordar el uso del entorno de programación Matlab.
- Recordar instrucciones utilizadas para definir funciones de transferencia en sus distintos formatos.
- Recordar las instrucciones empleadas para simular la respuesta temporal de sistemas lineales.
- Recordar el uso del entorno *sisotool*.
- Aprender las instrucciones referentes al trazado de diagramas de Bode.

Instrucciones

En esta práctica se introducen las instrucciones empleadas para trazar los diagramas de Bode. Estos pueden ser trazados empleando comandos Matlab, o empleando la herramienta *sisotool*. Además se introducen o repasan algunas instrucciones secundarias que pueden ser interesantes cuando se trabaja en el dominio de la frecuencia (*mag2db*, *abs*, etc.)

```
s=tf('s');
p1=1/(s+1);
p2=2/(s+1)/(s+2);
bode(p1);        % Traza el diagrama de Bode de la planta p1
bode(p1,p2);     % Traza el diagrama de Bode de la planta p1 y p2

w=logspace(-1,2,100); % Genera un vector espaciado logarítmicamente
bode(p1,w);      % Traza el diagrama de Bode de la planta p1 para las
                 % frecuencias marcadas por w
[Mag, Phase]=bode(p1,w); % Almacena  las magnitudes (Mag) y fases (Phase) de p1
                         % para los puntos definidos en w
[Mag, Phase, w]=bode(p1);% Almacena  las magnitudes (Mag), fases (Phase)
                         % y frecuencias  (w)

% Instrucciones complementarias
num=freqresp(p,w);   % Obtiene el valor de p(j\omega) en las frecuencias marcadas
                     % por w (números complejos)
num2=squeeze(num);   % Almacena en num2 los valores de  num reduciendo las
                     % dimensiones innecesarias

mag=abs(num2);       % Si num2 es un número complejo, calcula el módulo de num2
arg=angle(num2);     % Calcula el argumento en radianes de num2

magdb=mag2db(num2);  % Convierte a dBs
mag2=db2mag(magdb);  % Convierte de dBs a magnitud
```

Ejercicios propuestos

Ejercicio 1: Fundamentos de la respuesta frecuencial

Se desea analizar los conceptos básicos referentes a la respuesta frecuencial de los sistemas lineales. Para ello, se emplea un sistema de primer orden $p(s)$ caracterizado por

$$p(s) = \frac{5}{0.1s+1}.$$

Se pide:

a. Trazar la respuesta temporal que presenta la planta $p(s)$ si es excitada con una señal de entrada $u(t) = sin(\omega t)$ con frecuencias

$$f = [0.1,\ 0.5,\ 1,\ 5]\text{Hz}.$$

En las figuras se deben representar los 20 primeros segundos, tomando muestras cada 0.001 segundos.

```
%% a) Respuesta temporal para acciones de control senoidales
close all
s=tf('s');
p=5/(0.2*s+1); % Planta

Ts=0.001; % Tntervalo de muestreo
t=0:Ts:6; % Tiempo de simulación
f=[0.1 0.5 1 5]; % Frecuencias a analizar
for i=1:length(f)
    u=
    y=
    figure,plot(t,u,t,y);
    texto=strcat('Respuesta para señal senoidal de frecuencia',...
        {' '},num2str(f(i)),'Hz');
    title(texto)
end
```

b. Representa las respuestas anteriores de forma que solo se muestre el último periodo. Obtén los datos característicos de la respuesta frecuencial para cada una de las figuras.

Cuadro 1: Datos de la respuesta frecuencial.

	Frecuencia Hz			
	0.1	0.5	1	5
Magnitud				
Magnitud [dB]				
Fase				

```
%% b) Respuesta temporal del último periodo de la señal senoidal
close all
for i=1:length(f)
    u=
    y=
    n=
    t_rp=
    u_rp=
```

```
    y_rp=
    figure,plot(t_rp,u_rp,t_rp,y_rp);
    texto=strcat('Respuesta frecuencial en régimen permanente f =',...
        {' '},num2str(f(i)),'Hz');
    title(texto)
end
```

c. Obtén el valor de la respuesta frecuencial de $p(s)$ en las frecuencias analizadas en el apartado a). Compara los resultados con los obtenidos en el apartado a).

```
%% c) Calculo teórico de los valores de la respuesta frecuencial
for i=1:length(f)
    resp_frecuencial=
    magnitud=
    magnituddB=
    fase=           %Angulo pasado a grados sexagesimales
    textoM=['Magnitud para ',num2str(f(i)),'Hz: ',num2str(magnitud),' ...
      , en dBs: ',num2str(magnituddB)];
    disp(textoM);
    textoF=['Desfase para ',num2str(f(i)),'Hz: ',num2str(fase),'grados'];
    disp(textoF);
end
```

d. Tradicionalmente, el cálculo experimental de los parámetros que determinan la respuesta frecuencial de los sistema se realiza empleando las figuras de Lissajous (muy empleadas cuando se trabaja con osciloscopios). Estas figuras consisten en una representación gráfica en la que en el eje de abscisas «x» se representa la acción de control

$$u(t) = U \sin(\omega t),$$

y en el de ordenadas «y», la respuesta del sistema

$$y(t) = Y \sin(\omega t + \phi).$$

En régimen permanente, las figuras presentan un aspecto similar al mostrado en la Figura 1. A partir de estas figuras puede obtenerse la magnitud y fase de $p(j\omega)$ según

$$|p(j\omega_1)| = \frac{Y}{U}, \qquad \angle p(j\omega_1) = \arcsin\left(\frac{a}{Y}\right).$$

Obtener aplicando el procecimiento anterior la respuesta frecuencial de $p(j\omega)$ para las frecuencias estudiadas en el apartado a).

```
%% d) Calculo con figuras de Lissajous
close all
Ts=0.001;
t=0:Ts:20;
f=[0.1 0.5 1 5];
for i=1:length(f)
    u=
    y=;
    n=
    u2=
    y2=
    figure,plot(u2,y2);
```

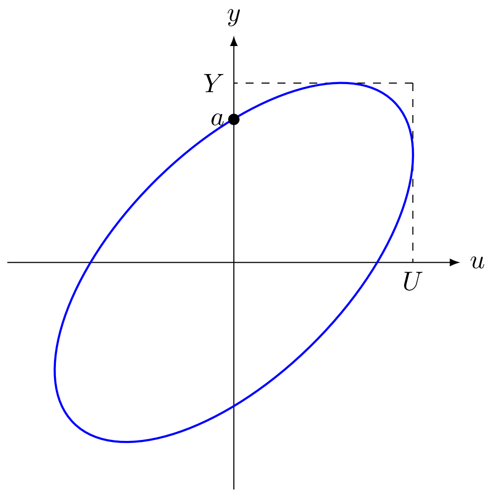

Figura 1: Esquema para el calculo de parámetros característicos de la respuesta frecuencial.

```
    texto=['Respuesta (u-y)',{' '},num2str(f(i))];
    %texto=strcat('Respuesta (u-y)',{' '},num2str(f(i)));
    title(texto)
end

% Datos extraidos de las figuras generadas
a=[
b=[
magnitud=mag2db(b);
fase=
disp('Magnitudes [dBs]:');
disp(magnitud);
disp('Desfase :');
disp(fase);
```

e. Traza en una misma figura el diagrama de bode la planta $p(s)$ y los puntos calculados anteriormente.

```
%% e) Bode trazado por matlab y datos obtenidos
close all
bode(p)

[M,Phs,w]=
%w=log10(w);
M=mag2db(squeeze(M));
%M=mag2db(M);
Phs=squeeze(Phs);

wp=(2*pi*f);
subplot(2,1,1), semilogx(
title('Diagrama de Bode de magnitud');
ylabel('Magnitud[dB]');
xlabel('Frecuencia [rad/s]');
subplot(2,1,2), semilogx(
title('Diagrama de Bode de fase');
ylabel('Desfase[grados]');
```

```
xlabel('Frecuencia [rad/s]')
```

Ejercicio 2: Diagramas de bode

El objetivo del segundo ejercicio es analizar de forma gráfica los diagramas de bode de los elementos fundamentales, para poder analizar las diferencias con los diagramas de bode asintóticos (trazados en teoría).

Se pide:

a. Representa en una misma figura, el diagrama de bode de una planta $p(s)$ caracterizada por

$$p(s) = \frac{1}{\frac{s}{\omega_p} + 1},$$

para los siguientes valores de ω_p

$$\omega_p = [0.1,\ 0.2,\ 1,\ 2,\ 10].$$

Representa en una segunda figura el diagrama de bode de la planta

$$p_2(s) = \frac{1}{s + \omega_p},$$

para el mismo vector de valores ω_p. Analiza los resultados y observa por que es importante expresar $p(s)$ en el formato adecuado antes de trazar el correspondiente diagrama de bode.

```
%% a) Bode de un polo real.
clear; clc; close all
s=tf('s');
wp=[0.1 0.2 1 5 10];
figure
hold on
for i=1:length(wp)
    p=
    legendInfo {i} = ['wp = ', num2str(wp(i))];
    bode(p)
end
hold off
legend(legendInfo)


figure
hold on
for i=1:length(wp)
    p1=
    legendInfo {i} = ['wp = ', num2str(wp(i))];
    bode(p1)
end
hold off
legend(legendInfo)
```

b. Efecto del coeficiente de amortiguamiento relativo en el diagrama de bode de un sistema con polos complejo-conjugados. Muestra en una misma figura el diagrama de bode de un sistema $p(s)$ caracterizado por

$$p(s) = \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\times\delta}{\omega_n}s + 1}$$

donde $\omega_n = 1$, y cuyos amortiguamientos relativos toman los valores

$$\delta = [0.1,\ 0.3,\ 0.5,\ 0.7,\ 0.9].$$

Analiza gráficamente la pulsación y magnitud de resonancia y compara los resultados alcanzados con los valores teóricos.

```
%% b) Bode de un sistema con polos complejo-conjugados
clc; close all
wn=1;
d=[0.1 0.3 0.5 0.7 0.9];
figure
hold on
for i=1:length(wp)
    p=
    legendInfo {i} = ['delta = ', num2str(d(i))];
    bode(p)
end
hold off
legend(legendInfo)
```

c. Tomando la planta del apartado *b*, realiza un *script* que permita detectar para que valores de δ el diagrama de Bode presenta pulsación de resonancia.

```
%% c) Estudio de la pulsación de resonancia
close all
wn=1;
d=1;
Ad=0.001;
maximo=1;
inicial=1;
while maximo<=inicial
    d=d-Ad;
    p=1/(s^2/wn^2+2*d*s/wn+1);

    [Mag,Phase]=bode(p);
    maximo=
    inicial=

end
bode(p)
disp('Pulsación a partir de la que existe resonancia');
disp(d)
```

d. Representa en un misma figura, el diagrama de bode de la planta $p(s)$ del apartado b) particularizada para $w_n = 1$, $\delta = 0.5$, junto la planta

$$p_2(s) = p(s)e^{-0.5s},$$

que corresponde con la misma planta pero con un retardo de 0.5 segundos. analiza el efecto que produce el retardo en el diagrama de bode.

```
%% d) Efecto del retardo
close all
wn=1;
```

```
d=0.5;
p=1/(s^2/wn^2+2*d*s/wn+1);
p2=
bode(p,p2)
legend
```

Ejercicio 3: Diagramas de bode en la herramienta sisotool

Se desea analizar empleando la respuesta freecuencial, el sistema de control de velocidad analizado en prácticas anteriores. Recuérdese que la maqueta de laboratorio *Feedback 33-100* presenta una función de transferencia aproximada

$$p(s) = \frac{350}{0.16s+1}. \tag{1}$$

Se pide:

a. Importa la planta $p(s)$ en la herramienta *sisotool* y configura el entorno de diseño para que se muestre la respuesta frecuencial de lazo cerrado.

```
%% a) Importar planta en sisotool.
clear; clc; close all
s=tf('s');
p=350/(0.16*s+1);
sisotool(p)
```

b. Añade un integrador en el controlador

$$c(s) = \frac{k}{s}.$$

A continuación modifica el valor de la ganancia del sistema, observa el efecto que estos cambios producen en los tres diagramas (lugar de las raíces, bode de lazo abierto y bode de lazo cerrado).

c. Añade un cero en el controlador, de forma que este presente la siguiente estructura

$$c(s) = \frac{k(\tau s+1)}{s}.$$

Sitúa el cero de forma manual a la izquierda del polo de la planta. Analiza como se modifica el diagrama de Bode de lazo abierto cuando el cero se aleja del polo. ¿Que ocurre en el diagrama de fases?¿Corresponde el comportamiento con el estudiado en clase con los diagramas asintóticos?

d. Fija el cero para que se sitúe en $s = -10$. A continuación modifica la ganancia para que se obtengan polos críticamente amortiguados. Selecciona la opción que da lugar a un comportamiento dinámico más rápido. A continuación analiza el diagrama de bode de lazo cerrado. ¿ Se observa pico de resonancia? ¿Se observa un comportamiento sub-amortiguado en la respuesta temporal?¿A que es debido este comportamiento?

e. Añade un polo en el prefiltro $f(s)$. Desplaza dicho polo de derecha a izquierda hasta que desaparezca el rebasamiento máximo en la respuesta de lazo cerrado. ¿Que ha ocurrido con el pico de resonancia?

Analiza la respuesta temporal del prefiltro $f(s)$ y analiza el efecto que produce sobre el bucle cerrado. ¿Como ha conseguido eliminar el prefiltro el rebasamiento máximo?