LABORATORIO de INGENIERÍA de CONTROL

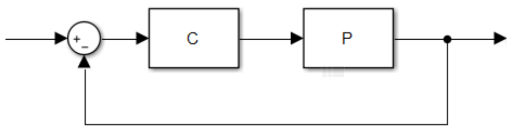
Práctica 10. (10-13/Mayo/2022)

Diseño de Reguladores en el Dominio de la Frecuencia.

El objetivo de esta práctica es el diseño en frecuencia de controladores con la herramienta sisotool de Matlab.

Ejercicio previo (1)

P(s) representa un modelo linealizado en función de transferencia para control del ángulo de balanceo de un avión de empuje vectorial, según el esquema:



$$P(s) = \frac{5,263}{s^2}$$

Diseñar en frecuencia y representar (KP,C,KP*C) en la plantilla de Bode que se adjunta, el controlador implementable más sencillo $C(s)$ para regular el ángulo de balanceo de forma que el lazo de control con realimentación unitaria, cumpla:

i) K_a= 100

ii) MF = 50°

$K_a = \lim_{s\to 0} s^2 \frac{K\cdot 5'263}{s^2} = K\cdot 5'263 = 100 \to \boxed{K=19} \to K\cdot P = \frac{19\cdot 5'263}{s^2} \approx \frac{100}{s^2}$

$MF = 0 \to MF' = 55°$

↓

Red de adelanto (PD_R)

$\Phi_M = 55° - 0 = 55°$

$a = \frac{1+\text{sen}\,55°}{1-\text{sen}\,55°}$

$a = 10'059$

$|KPH(\omega=\omega_c')| = -20\log\sqrt{a} = -10'025\,dB$

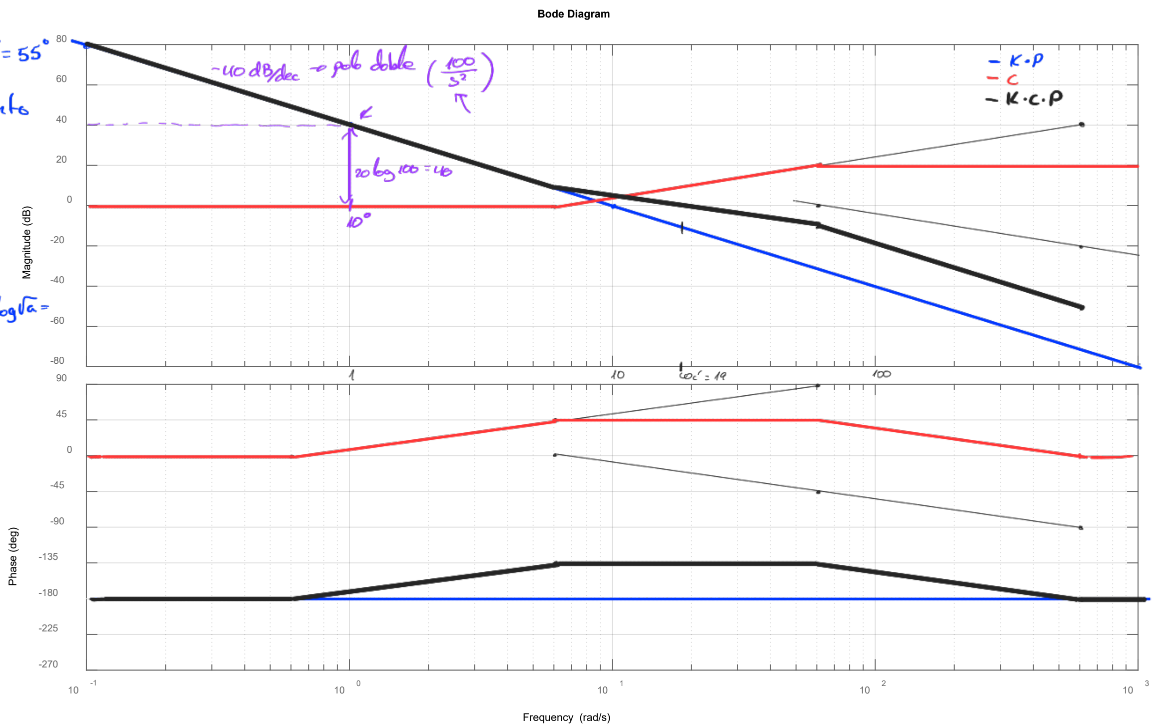
$\omega_c' = 19$ rad/s

$T = \frac{1}{\omega_c'\sqrt{a}} = 0'016$

$\frac{1}{aT} = 6$

$\frac{1}{T} = 60'26$

$\boxed{C = \frac{1+s/6}{1+s/60'26}}$



Ejercicio previo (2)

A partir de la dinámica simple de una maqueta de tren con movimiento longitudinal (unidimensional) en llano, que considera la fuerza aplicada, la fuerza de fricción por rodadura y la fuerza elástica del acoplamiento, se modela la función de transferencia del sistema con entrada la fuerza aplicada y salida la velocidad de la máquina:

$$P(s) = \frac{(s^2+0.2s+2)}{(s+0.2)(s^2+0.2s+3)}$$

Cuyo diagrama de Bode se da en la figura.

a)Se pide diseñar el controlador C(s) más simple que permita cumplir las siguientes especificaciones

i) $e_\infty = 0$ (escalón) → PI ideal

ii) $\omega_c^{'} \cong 0.2$ ≅ Frecuencia de cruce de ganancia de C*P

NOTA: Dado el rango de valores de la curva de fase de la planta, situar el cero del controlador de forma que aporte 45º en la frecuencia de cruce $\omega_c^{'} \cong 0.2$ (en vez de una década antes, regla general menos adecuada en este caso).

$q = 8\,dB \rightarrow K_p = 10^{-8/20} = 0'3981$

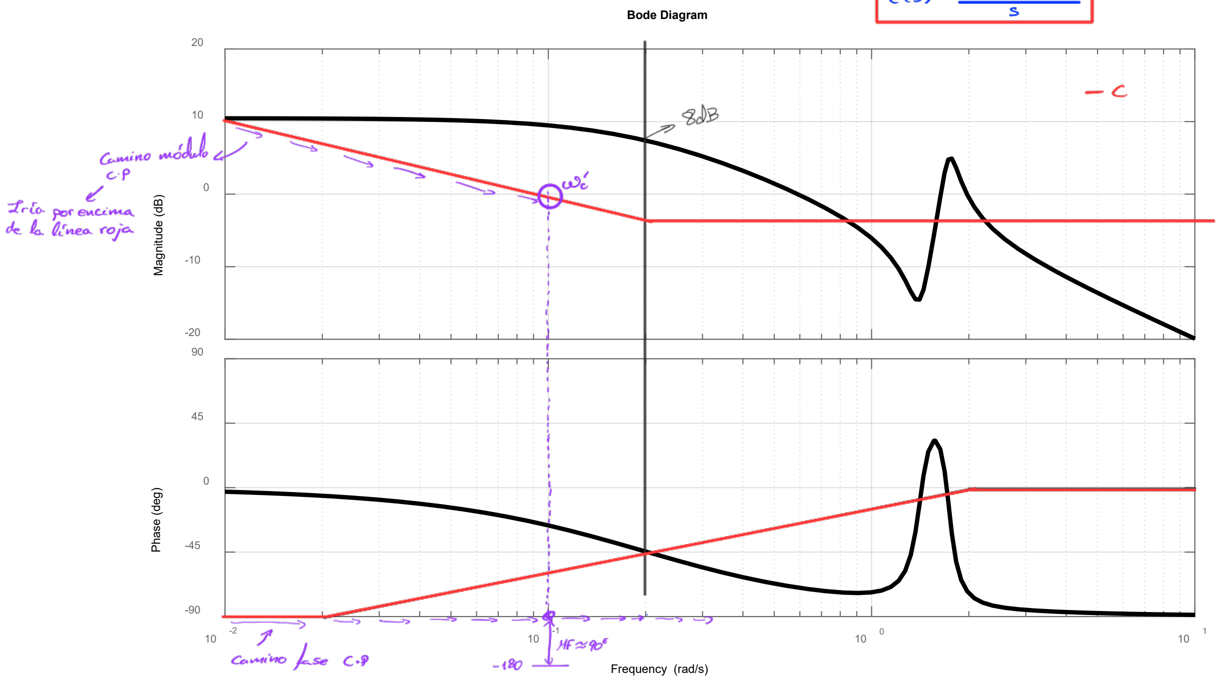
$\omega_{PI} = 0'2\ rad/s$ (DATO)

$K_{PI} = K_{planta} \cdot \omega_{PI} = 0'2$

$\boxed{C(s) = \frac{0'2 \cdot (1 + s/0'2)}{s}}$

$\boxed{MF' \simeq 90^\circ}$

b)¿Cuál sería el MF que se obtendría con el sistema controlado?.

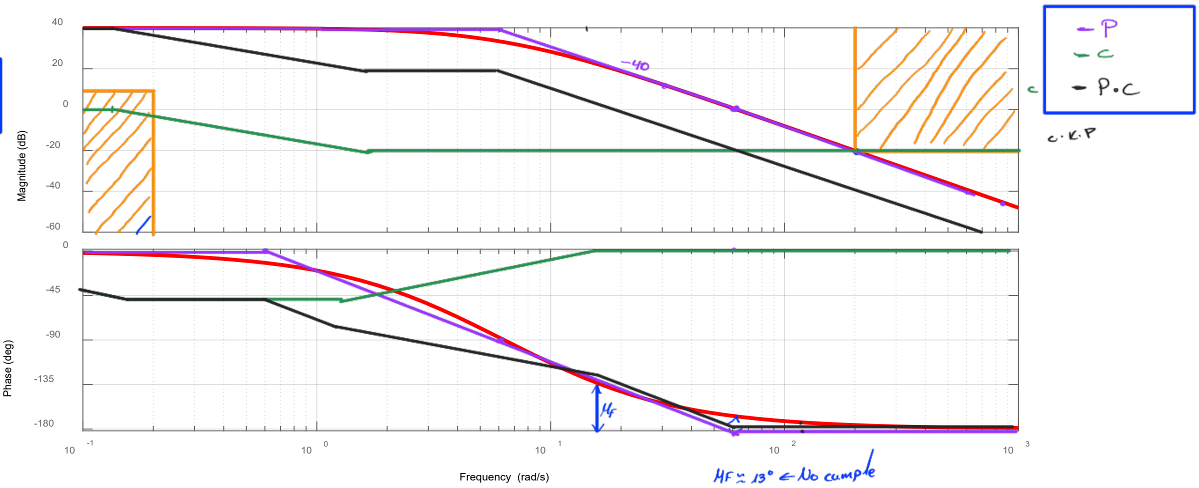


Ejercicio previo (3)

En la figura adjunta se representa el diagrama de Bode de LA de un modelo de motor de continua para control de velocidad, P(s). Diseñar el controlador implementable más sencillo que verifique las condiciones especificadas:

Nota: El ejercicio debe resolverse por los métodos basados en Bode LA aproximados explicados, a partir de la gráfica y algunos datos numéricos proporcionados en la tabla correspondiente. Cálculos y resultados con cuatro decimales.

$\boxed{C(s) = \frac{1 + s/1'6435}{1 + s/0'1349}}$



ω_i	Módulo dB	Fase(°)
0.0010	39.9127	-0.0200
16.4350	21.7100	-135.0002
21.8280	17.4271	-145.0007
46.1260	5.1685	-162.8113
62.4799	0.0000	-167.2437
84.4140	-5.1686	-170.5310

a) Cálculo de MF, MG y e_∞ (escalón) de P

b) Especificaciones diseño controlador implementable más sencillo:

i) $e_\infty \approx 0.01$ (escalón)

ii) MF ≈ 40°

iii) $20\log|KG(j\omega)| \geq 10\ dB$ para $\omega \leq 2.10^{-1}$ rad/seg

$20\log|KG(j\omega)| \leq -20\ dB$ para $\omega \geq 200$ rad/seg → Problema

$MG_p = \infty$

a) $MG_p = \infty$

$MF_p = 12'7563$

$K_p = \lim_{s\to 0} \frac{99}{(1+s/6'24799)^2} \rightarrow K_p = 99 \rightarrow \boxed{e_\infty = 0'01}$

$K_p = \lim_{s\to 0} K \cdot \frac{99}{(1+s/6'24799)^2} = 99K \rightarrow K=1$

b)

PI REAL $\quad K=1$

$MF_{REAL} < MF_{des} + 5°_{seg} \rightarrow$ SI en ω_c'

$\Phi_m = MF_d + 5°_{seg} - MF_{REAL} = 45 - 12'7563 = 32'2437°$

→ Determinamos $\omega_c' = 16'435$ rad/s → $a = 21'71$ dB → $20\log a = 21'71 \rightarrow a = 0'0821$

$\frac{1}{aT} = \frac{\omega_c'}{10} \rightarrow \frac{1}{aT} = 1'6435$

$\frac{1}{T} = 0'1349$

$\boxed{C(s) = \frac{1+s/1'6435}{1+s/0'1349}}$

ω_i	Módulo dB	Fase(º)
0.0010	39.9127	-0.0200
16.4350	21.7100	-135.0002
21.8280	17.4271	-145.0007
46.1260	5.1685	-162.8113
62.4799	0.0000	-167.2437
84.4140	-5.1686	-170.5310

a) Cálculo de MF, MG y e_∞ (escalón) de P

b) Especificaciones diseño controlador implementable más sencillo:

i) $e_\infty \approx 0.01$ (escalón)

ii) MF ≈ 40°

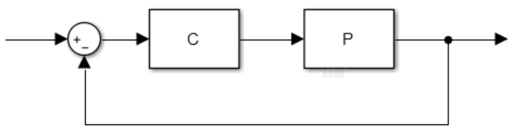
iii) $20\log|KG(j\omega)| \geq 10\ dB$ para $\omega \leq 2.10^{-1}$ rad/seg

$20\log|KG(j\omega)| \leq -20\ dB$ para $\omega \geq 200$ rad/seg

Trabajo del alumno en laboratorio:

Ejercicio 1 en laboratorio:

P(s) representa un modelo linealizado en función de transferencia para control del ángulo de balanceo de un avión de empuje vectorial, según el esquema:



$$P(s) = \frac{5{,}263}{s^2}$$

Diseñar analíticamente en frecuencia la red más sencilla $C(s)$ para regular el ángulo de balanceo, de forma que el lazo de control con realimentación unitaria, cumpla:

i) e(∞)= 0.02+0.02*(rand-0.5)

ii) MF = [50+20*(rand-0.5)]°

iii) ω_c = 100 rad/seg

Se realizará el diseño analítico en un *script* de **Matlab** aplicando el método Diseño analítico de redes simples que se explicó en clase. Deben programarse las fórmulas indicadas para obtener C, comprobar con la instrucción *margin* que se obtienen las especificaciones ii), iii), y obtener a partir de la respuesta a entrada parábola unitaria del sistema en lazo cerrado, la condición i) de error estacionario. Las instrucciones al inicio de dicho *script* deben ser:

```
clear all;
DNI=         ; % números DNI alumno
rng(DNI);
einf=0.02+0.02*(rand-0.5)
MFd=(50+20*(rand-0.5))*pi/180  % MF deseado en radianes
wc=100;
%continuar código
```

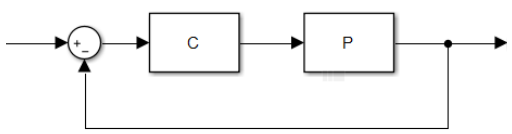
Notas:

1. Funciones de Matlab para la programación: evalfr, real, imag, margin
2. Los ángulos en las funciones trigonométricas de Matlab deben darse en radianes

Una vez programado el ejercicio, anotar los resultados obtenidos de: einf, MFd, K, a b, ω_z, ω_p, C, tipo de red (adelanto o atraso) obtenida y mostrar las figuras generadas al Profesor/a.

Ejercicio 2 en laboratorio:

P(s) representa un modelo de un motor de CC y una carga (p.ej., una antena, de inercia J) en función de transferencia para control de velocidad, según el esquema:



$$P(s) = \frac{b}{s^2 + a_1 s + a_2},$$

Diseñar en frecuencia con la herramienta *sisotool* una red de atraso de forma que el lazo de control con realimentación unitaria, cumpla:

i) $e_\infty \approx$ 0.03+0.04*(rand-0.5) (escalón)
ii) MF $\approx$ 40°

Para ello, programar primero el código siguiente en un *script* de *Matlab* que genere la planta aleatoria P(s), formada por el motor de CC y la carga (p.ej., una antena, de inercia J) y la condición aleatoria de error estacionario. Ejecutar el *script* para tener en la memoria de trabajo de Matlab la función KP, que será la función que se debe importar como G en la sisotool para realizar el diseño.

```
clear all

s  = tf('s');
dni=        ;  % Incluir números DNI alumno
rng(dni);
dv = 0.05;

R = 2.0;
L = 0.5;
Km = 0.1;
Kb = 0.1+2*dv*(rand-0.5);
Kf = 0.2;
J = 0.02;
b =Km/L/J;
a1=(L*Kf+R*J)/L/J;
a2= (R*Kf+Km*Kb)/L/J;

P = b/(s^2+a1*s+a2)

einf = 0.03+0.04*(1-0.5)

Kp = -1+1/einf;
K = Kp/dcgain(P);
KP = K*P;
```

Nota *sisotool*: Para diseño en frecuencia conviene modificar en (Preferences-Options) el formato de C seleccionando “natural frequency”.

Una vez terminado el ejercicio, anotar los resultados obtenidos de: P, einf, MF y frecuencia de cruce de ganancia de KP, q, a, C, MF y frecuencia de cruce de ganancia de KP*C y mostrar al Profesor/a las gráficas de la sisotool que permiten comprobar el cumplimiento de las especificaciones: el Editor de Bode y la respuesta a escalón en LC.