

Práctica 2.A: (22-25/Febrero/2022)

Introducción a la “Control System Toolbox” de Matlab (I)

El objetivo de esta práctica es introducir algunos de los comandos de la “Control System Toolbox”, para modelar sistemas de control y obtener sus respuestas dinámicas, comparando aspectos tales como seguimiento de consignas y rechazo de perturbaciones. Dado que la Toolbox tiene más del centenar de funciones y la asignatura acaba de comenzar, se persigue solamente una primera toma de contacto. Para ello, se desarrollan unos ejemplos en el que se muestran los comandos básicos y a continuación se pide al alumno que complete una serie de cálculos y simulaciones.

TRABAJO (1) PREVIO A LA SESIÓN DE LABORATORIO: EJEMPLOS COMANDOS

- Formatos de sistemas, operaciones con sistemas, realización mínima y transformaciones: comandos *tf*, *zpk*, *ss*, *minreal*, *tf2ss*, *tf2zpk*.
- Realimentación: comando *feedback*.
- Composición de señales de entrada y visualización: consigna (referencia) y perturbación. Comando *plot*.
- Respuesta dinámica: comandos *step*, *lsim*

-PROGRAMAR EN LA VENTANA DE COMANDOS DE MATLAB Y VER RESULTADOS-

```
% Las constantes físicas:
R = 2.0;           % Ohms
L = 0.5;           % Henrys
Km = 0.1; Kb = 0.1; % torque and back emf constants
Kf = 0.2;          % Nms
J = 0.02;          % kg.m^2/s^2

% Ejemplos-Formatos FT/VE, FT<->VE con g=Km/(L*s+R)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Los modelos, tanto en formato 'tf' (y zpk), 'ss', son:
n = Km
d = [L R]
g = tf(n,d) % Definición 1 en función de transferencia
g = zpk(g)  % Definición en formato cero/polo/ganancia

s = tf('s'); % Definición 2 en función de transferencia
gg = Km/(L*s+R)
gg = zpk(gg)
[nn,dd] = tfdata(gg,'v') % Acceso a datos del numerador y denominador

h = ss(g) % Definición en espacio de estados
ggg = tf(h)

% Realización mínima
gt = (L*s+R)/s
gs = g*gt % Funciones en serie
gs = minreal(g*gt) % Simplifica elementos iguales en el num y den
gpar = g+gt % Funciones en paralelo

%Cambios formatos
[A,B,C,D] = tf2ss(n,d) % De función de transferencia a espacio de estados
[nnn,ddd] = ss2tf(A,B,C,D) % De espacio de estados a FT
[z,p,k] = tf2zpk(n,d) % De función de transferencia a cero/polo/ganancia

% Cálculo lazo cerrado. feedback
```

```

h = 1;
g_lc = feedback(g,h)
g_lc1 = feedback(g,h,-1) %Equivalente a la anterior.
                        %Signo de realimentación negativo
g_lc2 = feedback(g,h,1) % Distinta. Realimentación con signo positivo

% Ejemplo - Composición de entradas.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
t1 = (0:0.1:1)'
r1 = ones(size(t1))
t1 >= 0.5
t1 < 0.7
(t1 >= 0.5 & t1 < 0.7)
p1 = 0.3*(t1 >= 0.5 & t1 < 0.7)
u1 = [r1 p1]
figure(1)
plot(t1,u1)

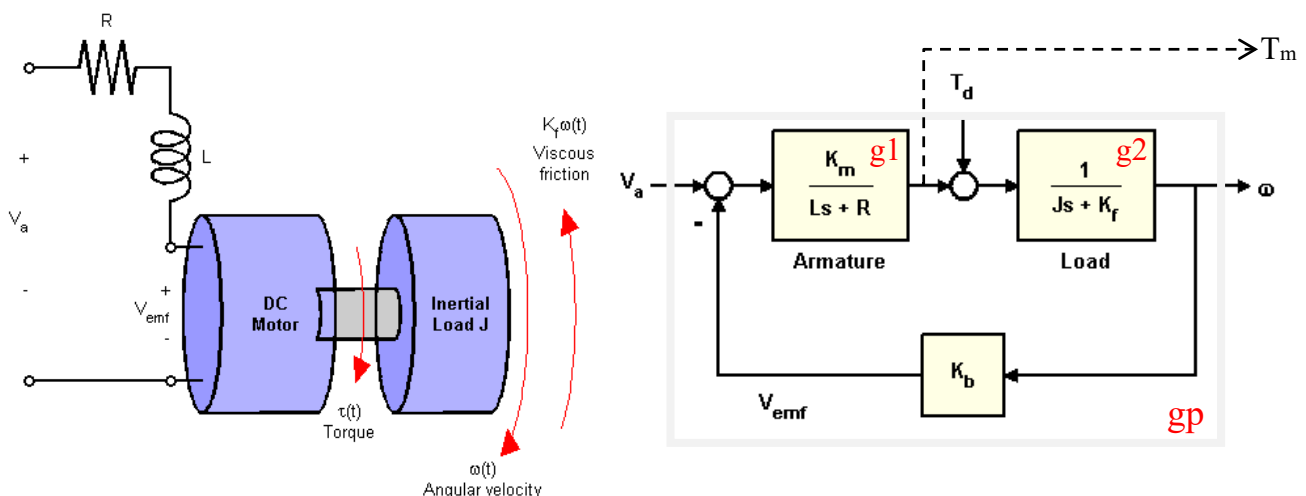
% Ejemplo - Simulación %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure(2)
lsim(g_lc,r1,t1) % Simulación de sistemas lineales

```

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Sistema de Control de un motor de CC

En los motores de CC, se controla la velocidad de giro ω , variando el voltaje aplicado V_a . El modelo en diagrama de bloques de la ‘planta’, formada por el motor y la carga (p.ej., una antena, panel,...de inercia J) es:



Las constantes físicas son:

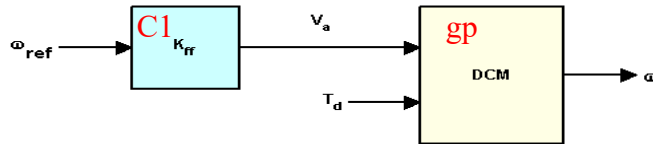
```

R = 2.0;           % Ohms
L = 0.5;           % Henrys
Km = 0.1; Kb = 0.1; % torque y emf constantes
Kf = 0.2;          % Nms
J = 0.02;          % kg.m^2/s^2

```

Control en lazo abierto o por prealimentación (Feedforward)

Se podría pensar que una manera de conseguir la velocidad de referencia deseada sería simplemente implementar un controlador $C1 = K_{ff}$.



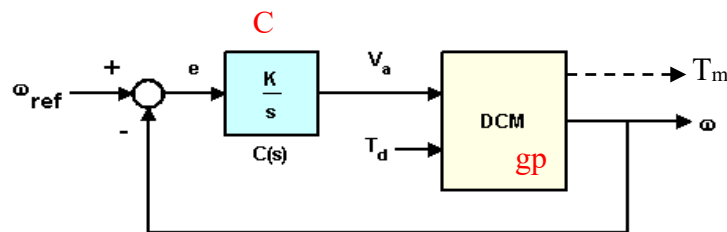
Feedforward Control

Esto es un esquema de control en lazo abierto, obtenido con un bloque de ganancia de prealimentación (feedforward) K_{ff} cuyo ajuste adecuado es $K_{ff} = 4.1$.

Naturalmente, esta idea no funcionará porque cualquier perturbación T_d no nula (par de oposición en la carga) desajusta la velocidad de giro comandada. Se comprobará que el control feedforward tiene una mala respuesta frente a perturbaciones.

Control en lazo cerrado o por realimentación (Feedback)

Ahora, consideremos esta estructura (los motivos por los que es adecuada se explicarán más adelante en la asignatura).



Feedback Control

Para especificar completamente el controlador $C = K/s$ debemos dar un valor a K . Existen métodos de ajuste (sintonía) que se verán más adelante. Se elegirá $K=5$.

El controlador en lazo cerrado tiene una mejor respuesta global si se incluye en esta valoración no sólo el seguimiento o alcance del escalón en la señal de consigna, sino también el rechazo del efecto de perturbaciones.

Modelado de los sistemas de control

El modelado que se definirá para los dos esquemas de control con dos entradas (ω_{ref} , T_d) y una (ω) o dos salidas (ω , T_m), será:

Control en LA (feedforward): 2 entradas/1 salida (ω) $\omega = G_{ff\omega} \cdot \begin{pmatrix} \omega_{ref} \\ T_d \end{pmatrix},, G_{ff\omega} = (G_{ff11} \quad G_{ff12})$

Control en LC (feedback): 2 entradas/1 salida (ω) $\omega = G_{\omega} \cdot \begin{pmatrix} \omega_{ref} \\ T_d \end{pmatrix},, G_{\omega} = (G_{11} \quad G_{12})$

2 entradas/1 salida (T_m) $T_m = G_{Tm} \cdot \begin{pmatrix} \omega_{ref} \\ T_d \end{pmatrix},, G_{Tm} = (G_{21} \quad G_{22})$

2 entradas/2 salidas (ω, T_m) $\begin{pmatrix} \omega \\ T_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \omega_{ref} \\ T_d \end{pmatrix}$

Donde las funciones de transferencia en ambos esquemas se obtienen para:

$$G_{ij}(s) = \left. \frac{\text{salida } i}{\text{entrada } j} \right]_{(\text{entrada } \neq j)=0}$$

Por ejemplo $G_{12}(s) = \left. \frac{\omega(s)}{T_d(s)} \right]_{\omega_{ref}=0}$

TRABAJO (2) PREVIO A LA SESIÓN DE LABORATORIO

Obtener los diagramas de bloques necesarios para el cálculo de las funciones de transferencia Gff₁₁, Gff₁₂, G₁₁, G₁₂, G₂₁, G₂₂ reorganizando los bloques (g₁, g₂, C o C₁, K_b) y el flujo de las señales, para que en cada caso, la entrada no nula correspondiente esté a la izquierda, y la salida a la derecha, como señal libre. Nota: Obtener los diagramas de bloques, no simplificar.

TRABAJO EN EL LABORATORIO

A) Comparación de control feedforward/feedback. Sistema con dos entradas: consigna (ω_{ref}) y perturbación (T_d); y una salida: velocidad ω .

Programar un script de *Matlab* con las siguientes rutinas:

Definir: constantes físicas, g₁, g₂, K_{ff}, K, C₁, C, dni, rng(dni)

Calcular Gff₁₁, Gff₁₂, Gffw. (Control feedforward con controlador C₁).

Calcular G₁₁, G₁₂, Gw. (Control feedback con controlador C).

Componer un vector u con las dos entradas definidas para 15 segundos (con incrementos de 0.1): escalón en wref=1 y perturbación $T_d = -0.1 + 0.1 * (\text{rand} - 0.5)$ Nm entre t=5 y t=10.

Figura 1: Simular las respuestas de ambos sistemas ante las dos entradas. (*lsim*)

B1) Sistema de control por realimentación (feedback) con salida T_m. Sistema con dos entradas: consigna (ω_{ref}) y perturbación (T_d); y una salida: par motor T_m.

Calcular G₂₁, G₂₂, GT_m. (Control feedback con controlador C).

Figura 2: Simular la respuesta del sistema cuando se aplica la entrada u definida en el apartado anterior. (*lsim*)

B2) Sistema de control por realimentación (feedback) con dos salidas: ω , T_m

Calcular G.

Figura 3: Simulación con las dos entradas actuando en las dos salidas (G) (*lsim*)

B3) Medir en la gráfica anterior los valores finales de las salidas ω , T_m:

- para entrada ω_{ref}
- para entradas ω_{ref} y T_d