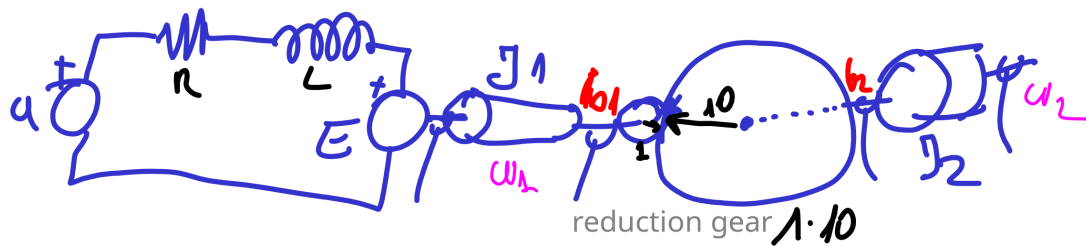


Control de velocidad de motor DC y carga

1) Preliminares, especificaciones, control bucle abierto



© 2026, Antonio Sala Piqueras, Universitat Politècnica de València. All rights reserved.

Presentación en vídeo: <https://personales.upv.es/asala/YT/V/mothin1.html>

Tabla de Contenidos

Control de velocidad de motor DC y carga.....	1
1) Preliminares, especificaciones, control bucle abierto.....	1
1. Modelado.....	1
Respuesta temporal y en frecuencia en bucle abierto.....	2
Análisis en equilibrio (CC).....	4
2. Especificaciones.....	4
Límites de tensión y corriente.....	4
Amplitud de incrementos de referencia deseados.....	5
3. Control en bucle abierto "manual".....	5

1. Modelado

Física:

$$L \frac{dI}{dt} = U - R \cdot I - k \cdot \omega, \quad J \frac{d\omega}{dt} = k \cdot I - b \cdot \omega + T_{carga}$$

```
R=.3; L=20e-3; %electric circuit parameters [INVENTED!]  
k=0.36; %Motor constant  
J1=.45; b1=0.13; %motor (fast) side mechanical parameters  
N=10; %gear ratio  
J2=5; b2=0.6; %slow side mechanical parameters  
J=(J1+J2/N^2); b=b1+b2/N^2; %Equivalent inertia and friction  
coefficients on motor (fast) side
```

Ecuación de estado (matricial): $\dot{x} = Ax + Bu$

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} I \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-R}{L} & \frac{-K}{L} \\ \frac{k}{J} & \frac{-b}{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ \omega \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U \\ T_{\text{carga}} \end{pmatrix}$$

```
A=[-R/L -k/L;  
    +k/J -b/J];  
B=[1/L 0; 0 1/J];
```

Ecuación de salida: $y = Cx + Du$; escogemos corriente y velocidad de giro.

```
C=[1 0; 0 1]; D=zeros(2,2);
```

Control systems Toolbox para simular:

```
sysFull=ss(A,B,C,D); %state-space object  
sysFull.OutputName={'I','w'};  
sysFull.InputName={'U','Tload'};
```

*Por el momento, no consideramos perturbación de carga (sólo "seguimiento de referencia").

```
G=sysFull(:,1);  
zpk(G) %factorized fractions (zeros, poles, gains)
```

```
ans =
```

```
From input "U" to output...
```

```
50 (s+0.272)
```

```
I: -----  
    (s+14.06) (s+1.212)
```

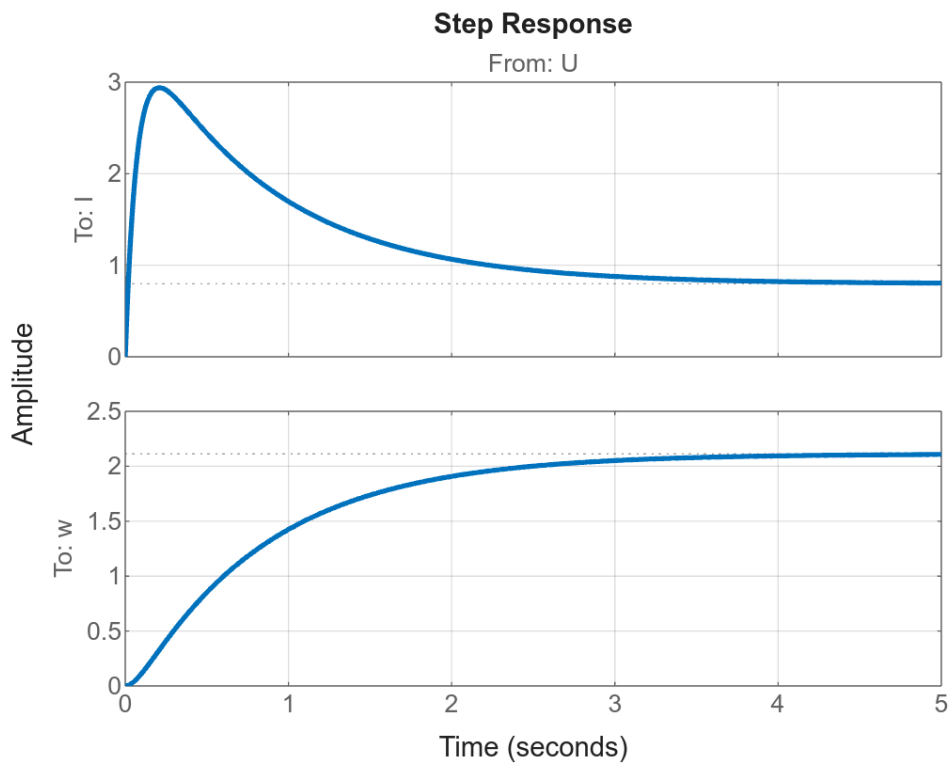
```
36
```

```
w: -----  
    (s+14.06) (s+1.212)
```

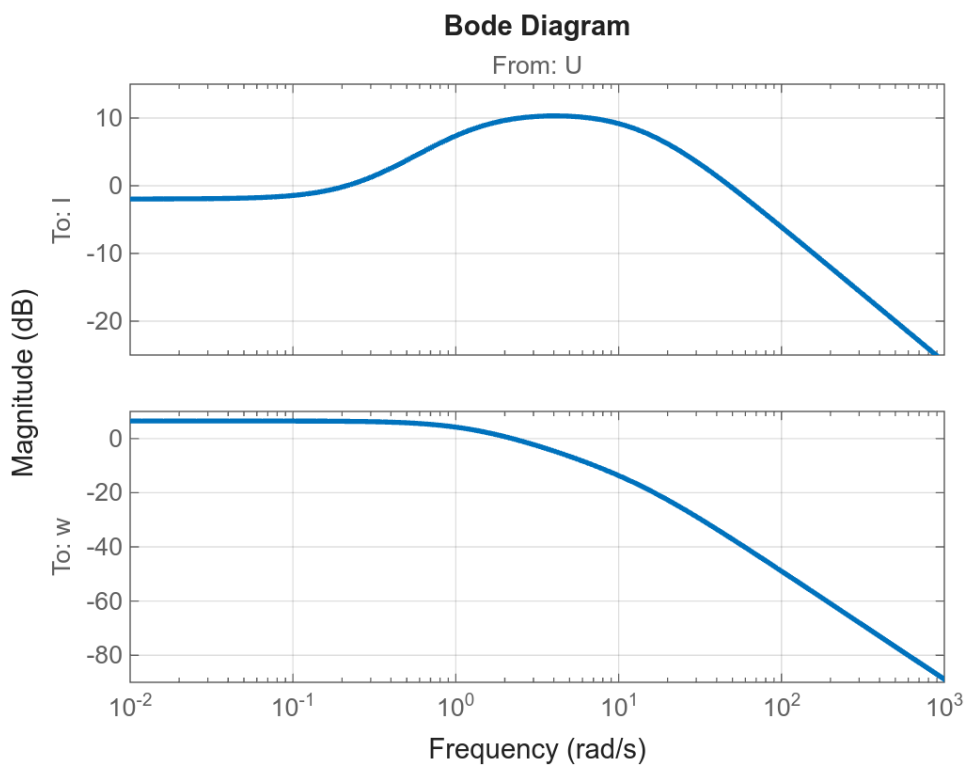
```
Continuous-time zero/pole/gain model.  
Model Properties
```

Respuesta temporal y en frecuencia en bucle abierto

```
step(G), grid on; h=gca; h.Responses(1).LineWidth=2;
```



```
2.94/0.86 %peak current versus DC current
bodemag(G), grid on; h=gca; h.Responses(1).LineWidth=2;
```



```
[val, frq]=norm(G(1),inf)
```

```
val =
3.2811
frq =
4.0265
```

```
val/dcgain(G(1)) %En la peor frecuencia, es 4 veces más amplitud de corriente
```

Análisis en equilibrio (CC)

```
DCG=dcgain(G)
```

```
DCG = 2×1  
    0.7981  
    2.1127
```

```
gainUtoI=DCG(1) %Amperios por Voltio
```

```
gainUtoI =  
    0.7981
```

```
gainUtoW=DCG(2) %rad/s por Voltio
```

```
gainUtoW =  
    2.1127
```

Si se quiere conseguir w_{ref} , entonces $U = \frac{1}{gainUtoW} w_{ref}$, y la corriente será:

$$\frac{gainUtoI}{gainUtoW} w_{ref}$$

```
1/gainUtoW
```

```
ans =  
    0.4733
```

```
gainUtoI/gainUtoW
```

```
ans =  
    0.3778
```

2. Especificaciones

Límites de tensión y corriente

```
MaxI=75; %A  
MaxU=120; %V
```

Realmente, al menos en continua, la corriente impone un límite más estricto a la tensión:

```
MaxUforMaxI_steadystate=MaxI/DCG(1)
```

```
MaxUforMaxI_steadystate =  
    93.9706
```

Máxima velocidad angular estacionaria:

```
MaxWforMaxI_steadystate=DCG(2)*MaxUforMaxI_steadystate
```

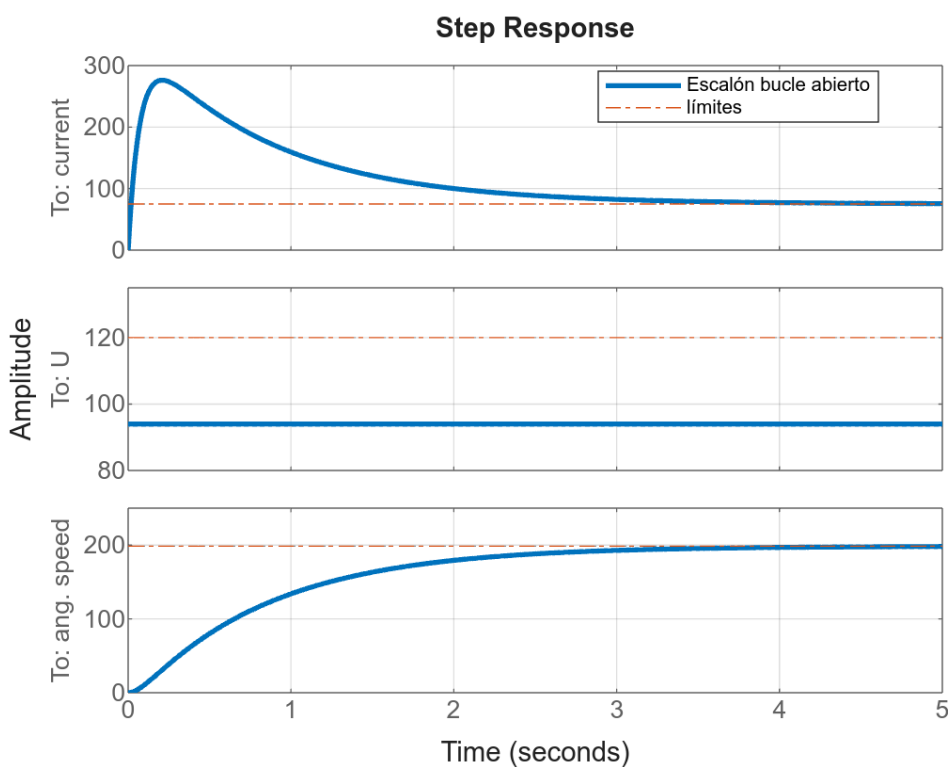
```
MaxWforMaxI_steadystate =  
198.5294
```

```
MaxWforMaxI_steadystate*60/2/pi %RPM
```

```
ans =  
1.8958e+03
```

Simulamos

```
Gaug=[G(1,:);1;G(2,:)];  
Gaug.OutputName={'current','U','ang. speed'};  
step(Gaug*MaxUforMaxI_steadystate,tf([MaxI;MaxU;MaxWforMaxI_steadystate])), grid on  
h=gca;h.Responses(1).LineWidth=2;h.Responses(2).LineStyle="-.";  
legend("Escalón bucle abierto","límites",location="best")
```



Amplitud de incrementos de referencia deseados

Mantenerse por debajo de MaxI , MaxU en el transitorio ante referencia máxima

```
Wref=90;
```

*Bueno, $\mathcal{H}_\infty$ se referirá a límites "en frecuencia", no en "tiempo", como discutiremos enseguida.

3. Control en bucle abierto "manual"

```
opcion=2
```

```
opcion =  
2
```

```
if opcion==1  
  
    UforWref=Wref*1/gainUtoW %escalon referencia -> escalon U  
else  
    bwol=1.68;s=tf('s');  
    UforWref=Wref*1/gainUtoW*bwol/(s+bwol) %filtro 1er orden  
    adicional, U suavizado  
end
```

```
UforWref =
```

```
    71.57  
-----  
s + 1.68
```

```
Continuous-time transfer function.  
Model Properties
```

Absorbe una corriente

```
IforWref=UforWref*gainUtoI
```

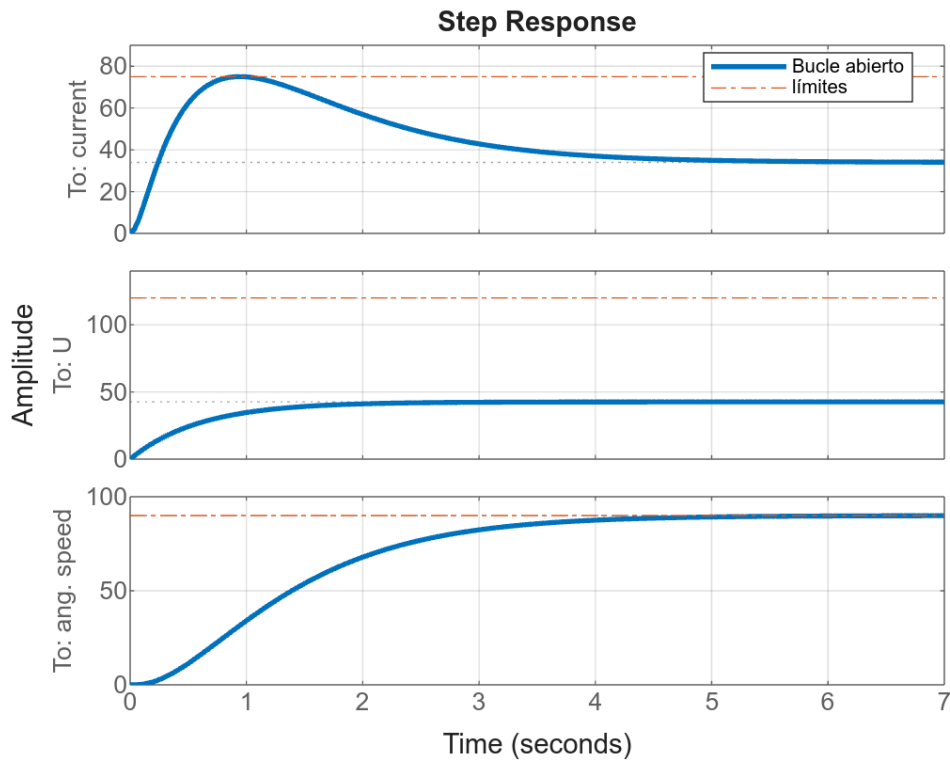
```
IforWref =
```

```
    57.12  
-----  
s + 1.68
```

```
Continuous-time transfer function.  
Model Properties
```

Los valores son, por tanto, admisibles en equilibrio, pero no en transitorio

```
step(Gaug*UforWref,tf([MaxI;MaxU;Wref])), grid on  
h=gca; h.Responses(1).LineWidth=2; h.Responses(2).LineStyle="-.";  
legend("Bucle abierto","límites",location="best")
```



Por tanto, necesitamos "suavizar" y hacer "más lento" el transitorio, y que escalón en referencia no sea escalón en tensión, como es usual en el arrancado de motores eléctricos, que necesitan limitar las corrientes iniciales, no necesariamente con control $\mathcal{H}_\infty$, claro.