

Primer ejercicio

Las fuentes conmutadas son equipos de la Electrónica de Potencia que se alimentan de corriente continua a un determinado nivel de tensión y entregan a la carga también corriente continua con otro nivel de tensión (cc/cc). El esquema que se presenta en la figura muestra un reductor, por que la tensión de entrada, V_1 , es mayor que la salida. En este caso la entrada es a 20V y la salida es a 5V. El control sobre este sistema depende del ciclo de trabajo del interruptor, al que se le denomina d (*duty cycle*). Este valor es la relación entre el tiempo de encendido del interruptor y el periodo de trabajo de la fuente conmutada. La regulación del sistema se hace a través de la modulación por ancho del pulso (*Pulse Width Modulation*, PWM), que ataca al interruptor, garantizando que la tensión en la carga sea siempre constante. Aunque el sistema es altamente no lineal, se ha linealizado y se ha determinado su FDT a partir de la potencia nominal que se entrega a la carga, en este caso 50W:

$$G_p(s) = \frac{u_s(s)}{d(s)} = V_1 \frac{(1 + R_1 \cdot C_1 \cdot s)}{\left(1 + \left(R_1 \cdot C_1 + \frac{L_1}{R_c}\right)s + \left(1 + \frac{R_1}{R_c}\right)L_1 \cdot C_1 \cdot s^2\right)} = 20 \frac{(1 + 3.75 \cdot 10^{-6} s)}{(1 + 113.8 \cdot 10^{-6} s + 3.16 \cdot 10^{-9} s^2)}$$

1. Obtener la ganancia estática del regulador, $G_c(0)$, de manera que se cumpla la especificación del $5V \pm 1\%$ de variación en la tensión de salida.
2. Representar el diagrama de Bode de la cadena abierta con la ganancia estática del compensador, $G_c(0)G_p(j\omega)$.
3. Calcular la frecuencia de cruce y el margen de fase.
4. La frecuencia de trabajo del PWM y por tanto de la fuente conmutada es de 120kHz, lo que supone una discretización de la salida del compensador. Para hacer cumplir el teorema del muestreo se desea conseguir que la nueva frecuencia de cruce del sistema sea una 1/20 parte de la frecuencia de trabajo de la fuente conmutada. Determinar cuánto vale la fase y la ganancia de $G_c(0)G_p(j\omega'_g)$ a esta nueva frecuencia.
5. Si se le exige un margen de fase de alrededor de 60° a 6kHz, ubicar el compensador que haga cumplir esta especificación.
6. Discretizar el regulador y obtener la ecuación en diferencias de éste.

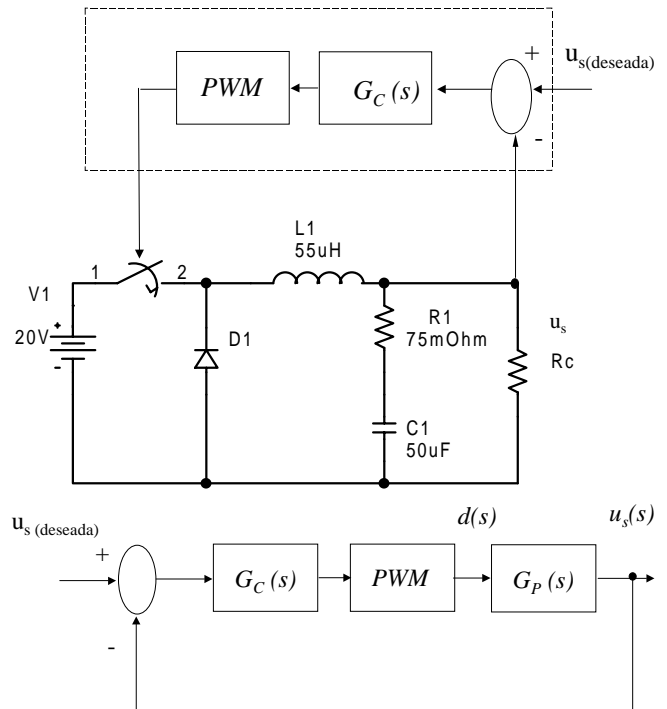


Figura 1. a) Esquema de un reductor, b) diagrama a bloques del control sobre la fuente



Resolución**Primer ejercicio**

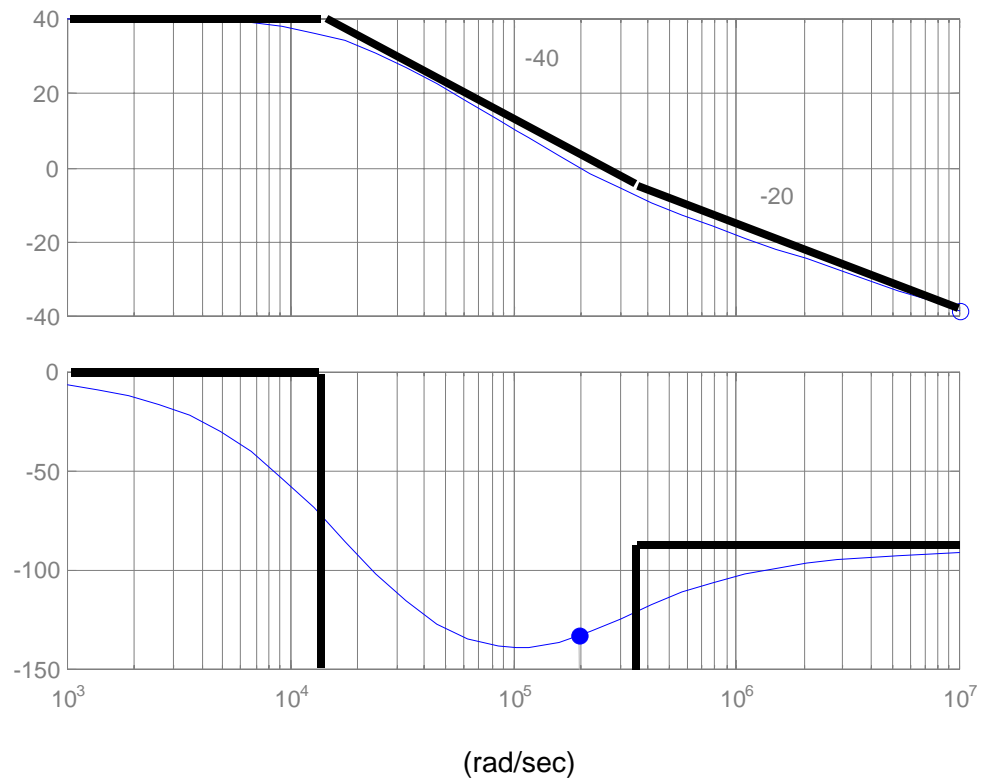
1. Una variación del 1% en la salida del valor nominal de la fuente corresponde con el error al escalón definido en la asignatura. De esta especificación se obtendrá la ganancia estática del regulador:

$$e_p = \frac{1}{1 + k_p} = 0.01 \rightarrow k_p \cong 100 \quad k_p = \lim_{s \rightarrow 0} (G_c(s) \cdot G_p(s)) = G_c(0) \cdot V1 \rightarrow G_c(0) \cong 5$$

Obsérvese de la FDT de la fuente que la ganancia estática depende sólo del nivel de tensión de la entrada, V1.

2. La FDT de la fuente está constituida por un cero a la frecuencia de 266.666 [rad/s] y por un polo de segundo orden, cuya frecuencia natural, $\omega_{n,p}$, es de 17.789 [rad/s] y un coeficiente de amortiguamiento, ξ_p , de 1. De otro lado, la ganancia estática, teniendo en cuenta también la del compensador, será de 100.

De estos valores se observa que el polo domina sobre el cero, la asíntota a baja frecuencia empieza a 40dB hasta la frecuencia natural del polo, 17.789[rad/s], luego bajará con una pendiente de -40 [dB/década] hasta alcanzar los 266.666 [rad/s], pasando a una pendiente de -20 [dB/década].



3. Para determinar la frecuencia de cruce de ganancia habrá de igualar el módulo de $G_c(0)G_p(j\omega_g)$ a la unidad:

$$1 = \frac{5 \cdot 20 \sqrt{1 + (3.75 \cdot 10^{-6} \omega_g)^2}}{\sqrt{(1 - 3.16 \cdot 10^{-9} \omega_g^2)^2 + (113.8 \cdot 10^{-6} \omega_g)^2}} \rightarrow 9.985 \cdot 10^{-18} \omega_g^4 - 1.4695 \cdot 10^{-7} \omega_g^2 - 9999 = 0$$

Resolviendo esta ecuación de cuarto grado mediante un cambio de variables, la frecuencia de cruce es de 199.620[rad/s].

En cuanto al margen de fase corresponderá a:



$$\gamma = 180 + \arg(G_C(0)G_P(j\omega_g)) = 180 + \arctg(3.75 \cdot 10^{-6} \omega_g) - \arctg\left(\frac{113.8 \cdot 10^{-6} \omega_g}{1 - 3.16 \cdot 10^{-9} \omega_g^2}\right) = 47.12^\circ$$

4. La nueva frecuencia de cruce será:

$$\omega'_g = \frac{2\pi \cdot 120 \cdot 10^3}{20} = 37699 [\text{rad/s}]$$

El módulo y argumento a esta nueva frecuencia valdrá:

$$|G_C(0)G_P(j\omega'_g)| = \frac{5 \cdot 20 \sqrt{1 + (3.75 \cdot 10^{-6} \omega'_g)^2}}{\sqrt{(1 - 3.16 \cdot 10^{-9} \omega'^2_g)^2 + (113.8 \cdot 10^{-6} \omega'_g)^2}} = 18.26$$

$$\arg(G_C(0)G_P(j\omega'_g)) = \arctg(3.75 \cdot 10^{-6} \omega'_g) - \arctg\left(\frac{113.8 \cdot 10^{-6} \omega'_g}{1 - 3.16 \cdot 10^{-9} \omega'^2_g}\right) = -121.13^\circ$$

5. Al desear un margen de fase de alrededor de 60° a la frecuencia de 37699 [rad/s], se calculará cuánto vale a partir de los datos extraídos del apartado anterior:

$$\gamma' = 180 + \arg(G_C(0)G_P(j\omega'_g)) = 180 - 121.13 = 58.87^\circ$$

De este resultado se concluye que una primera solución se encuentra en la red de retraso de fase, pues ya se tiene conseguido, de forma aproximada, el margen de fase deseado, sólo falta cumplir que la nueva frecuencia de cruce seleccionada se convierta en ella, para eso necesitará una atenuación de $1/18.26$. Seleccionando el parámetro β de la red de retraso de fase con 18.26 y ubicando el cero a una década anterior a la nueva frecuencia de cruce, el compensador quedará definido:

$$G_{C,1}(s) = \frac{G_C(0)}{\beta} \frac{s + \frac{\omega'_g}{10}}{s + \frac{\omega'_g}{10} \cdot \frac{1}{\beta}} = 0.274 \frac{s + 3770}{s + 206.5}$$

También es posible emplear una red de adelanto retraso de fase que garantice el margen de fase especificado. La forma de actuar es emplear la subred de adelanto para aumentar el margen de fase y la subred de retraso para provocar la atenuación necesaria, con el objetivo de convertir a los 37699 [rad/s] en la nueva frecuencia de cruce. Por consiguiente, se empezará con el diseño de la compensación de adelanto. Obsérvese que sólo es necesario aportar un poco más de 1° , ya que el argumento que se tiene es de -121.13° . Sin embargo, al considerar el margen de seguridad se puede cubrir las descompensaciones que van a efectuarse al introducirse el compensador; concluyendo:

$$\phi_{\max} = \gamma_{\text{deseado}} - \gamma' + (\text{margen de seguridad}) = 10^\circ \rightarrow \alpha = 0.7$$

Mientras que la atenuación a realizar será:

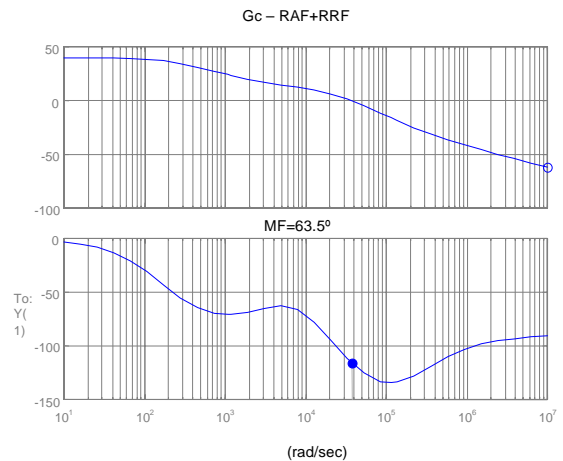
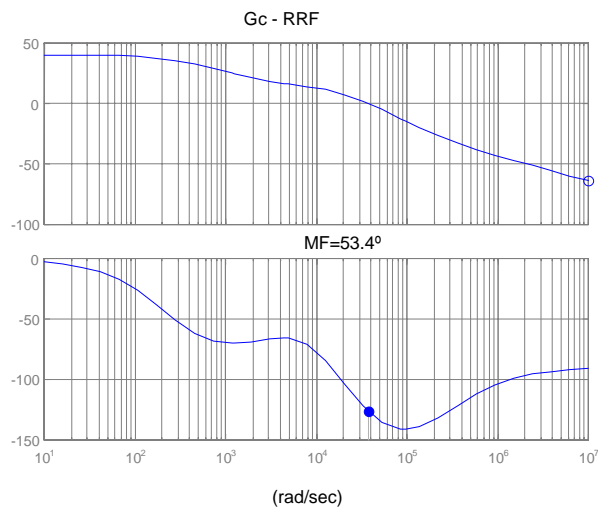
$$\beta' = |G_C(0)G_P(j\omega'_g)| \cdot \frac{1}{\sqrt{\alpha}} = 21.82$$

Ubicando el cero de la subred de retraso a una década anterior a la nueva frecuencia de cruce, el compensador quedará definido:

$$G_{C,2}(s) = \frac{G_C(0)}{\beta' \alpha} \frac{s + \omega'_g \sqrt{\alpha}}{s + \frac{\omega'_g}{\sqrt{\alpha}}} \frac{s + \frac{\omega'_g}{10}}{s + \frac{\omega'_g}{10} \cdot \frac{1}{\beta'}} = 0.3274 \frac{s + 31541}{s + 45059} \frac{s + 3770}{s + 172.77}$$

Los resultados de la simulación muestran un mayor margen de fase en el compensador de adelanto-retraso de fase, pero quizás, la propia implementación recomendaría emplear la red de retraso de fase.





6. Al aplicar la transformada bilineal con un periodo de $8.33\mu s$, los compensadores quedarán como:

$$G_{C,1}(z) = 0.278 \frac{(z - 0.97)}{(z - 0.99)} \quad G_{C,2}(z) = 0.316 \frac{(z - 0.97)(z - 0.77)}{(z - 0.99)(z - 0.68)}$$

Las ecuaciones en diferencias quedarán para la RRF como:

$$y_k = 0.278x_k - 0.27x_{k-1} + 0.99y_{k-1}$$

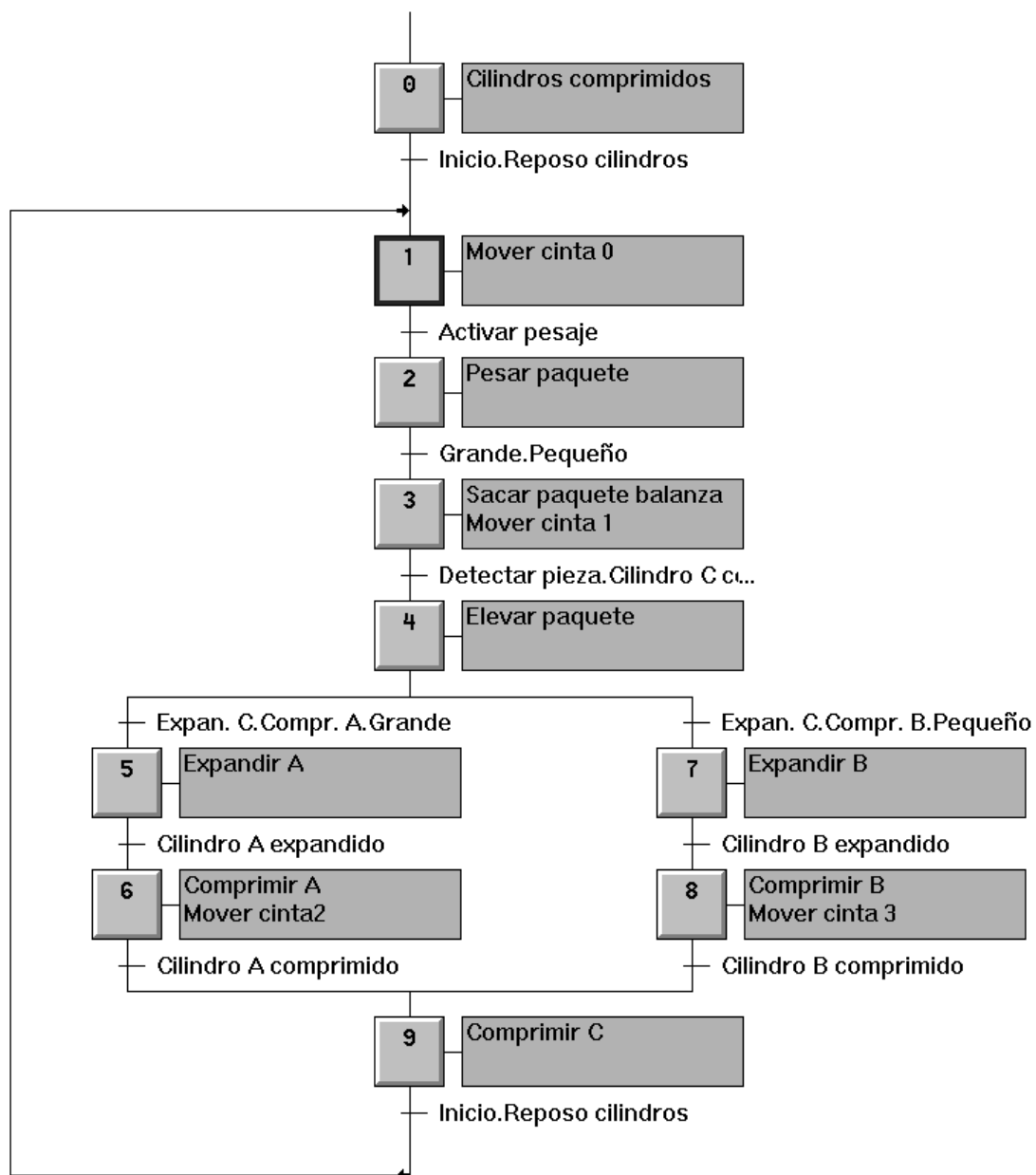
mientras que en el compensador RAF-RRF será:

$$y_k = 0.316x_k - 0.55x_{k-1} + 0.236x_{k-2} + 1.67y_{k-1} - 0.673y_{k-2}$$

Segundo ejercicio

1. El GRAFCET de nivel 1 quedará como:





2. Los cilindros neumáticos serán de simple efecto, ya que sólo hay potencia mecánica en la expansión de éstos. En cuanto a las electroválvulas serán de tres vías y dos posiciones. Por cuestiones de seguridad se emplearán un control biestable, su fundamento se encuentra en que si el automatismo pierde el fluido eléctrico, el sistema se quedará en la última posición controlada.

3.

ASIGNACION DE ENTRADAS

NIVEL2NIVEL1

MAPEO S5

A0	Cilindro A comprimido	E32.0
A1	Cilindro A expandido	E32.1
B0	Cilindro B comprimido	E32.2
B1	Cilindro B expandido	E32.3
C0	Cilindro C comprimido	E32.4
C1	Cilindro C expandido	E32.5
DP	Detectar pieza	E32.6
P1	Grande	E32.7
P2	Pequeño	E33.0



S1	Inicio	E33.1
S2	Activar pesaje	E33.2

ASIGNACION DE SALIDAS

NIVEL2NIVEL1 MAPEO S5

E_A1	Expandir A	A32.0
E_A2	Comprimir A	A32.1
E_B1	Expandir B	A32.2
E_B2	Comprimir B	A32.3
E_C1	Elevar paquete	A32.4
E_C2	Comprimir C	A32.5
Motor0	Mover cinta 0	A32.6
Motor1	Mover cinta 1	A32.7
Motor2	Mover cinta2	A33.0
Motor3	Mover cinta 3	A33.1
PB	Pesar paquete	A33.2
RB	Sacar paquete balanza	A33.3

4.

