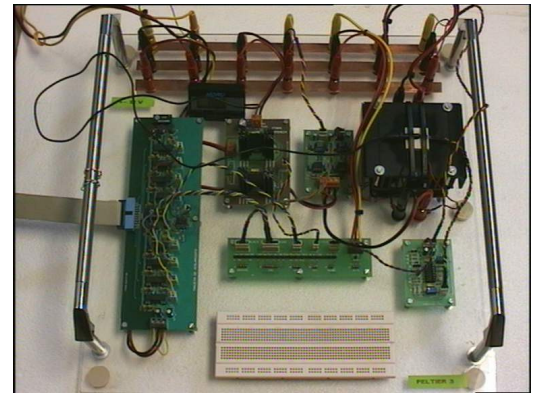
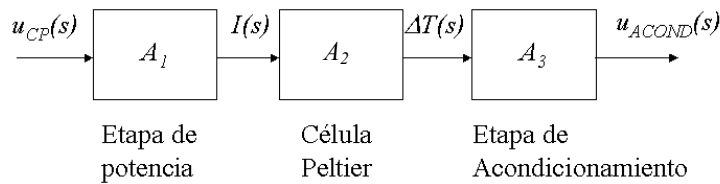


Problema 1 (5 puntos - 60 minutos)

En el equipo Peltier de prácticas se ha realizado un ensayo de Ziegler-Nichols, obteniendo el siguiente modelo con aproximación de Pade:

$$G_p(s) = \frac{u_{ACOND}(s)}{u_{CP}(s)} \cong -\frac{s-0.5}{s+0.5} \frac{0.09}{s+0.073}$$



Determinar:

1. Los valores de ganancia estática, tiempo de retardo y constante de tiempo de la planta. ¿Cuánto vale el tiempo de establecimiento ante una entrada en escalón?
2. Para el control se emplea una estructura de realimentación unitaria, dibujar el lugar de las raíces para el trazado directo e inverso.
3. ¿Cuánto debería valer la ganancia del regulador para situar la planta ante una estabilidad crítica? ¿a que frecuencia oscilaría?
4. Si el compensador tiene una ganancia de 3, determinar la respuesta temporal al escalón unitario del conjunto total (utilícese un equivalente reducido).

Problema 2 (5 puntos - 60 minutos)

Una nueva generación de motores de alta precisión denominados Motores de Onda Elástica (EWM) se han desarrollado con el uso de unos materiales especiales con propiedades magnetostrictivas (Figura 1). Su gran fuerza y precisión han permitido su aplicación con éxito en el control del grosor del papel en la industria papelera.

El sistema funciona de la forma siguiente: la acción de control se realiza por medio de la regulación de la fuerza que por medio del EWM ejercen los rodillos sobre la pasta de papel saliente de forma que a más acción de control el espesor es mayor (menos fuerza) y viceversa. Para poder realimentar el espesor logrado se dispone de un sensor laser que obtiene una señal proporcional al grosor obtenido justo después de los rodillos. El valor medido es necesario filtrarlo para eliminar la componente de alta frecuencia debido a las imperfecciones superficiales de la lámina saliente. Finalmente la señal obtenida se compara con una referencia, y el error se utiliza para actuar según una acción proporcional ($K=0.25$) sobre el sistema. En la figura siguiente se muestra el diagrama de bloques correspondiente.

Se pide:

- 1.- Calcular los errores de posición, velocidad y aceleración del sistema.
- 2.- Pintar la respuesta en frecuencia del sistema en cadena abierta trazando el diagrama de bode asintótico y el diagrama polar.
- 3.- Obtener el Margen de fase y el Margen de ganancia para las condiciones anteriores. Demostrar que la frecuencia de cruce de ganancia es de 0.035 Hz y que la frecuencia de cruce de fase es de 0.16 Hz .

Publicación de las notas: 10-9-08 Revisión: 11-9-08

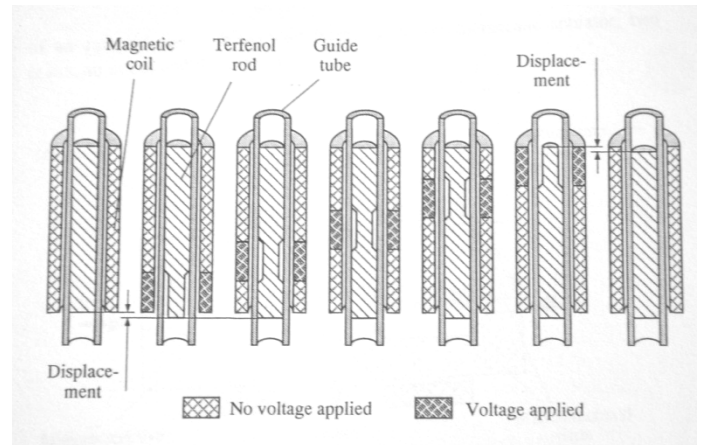
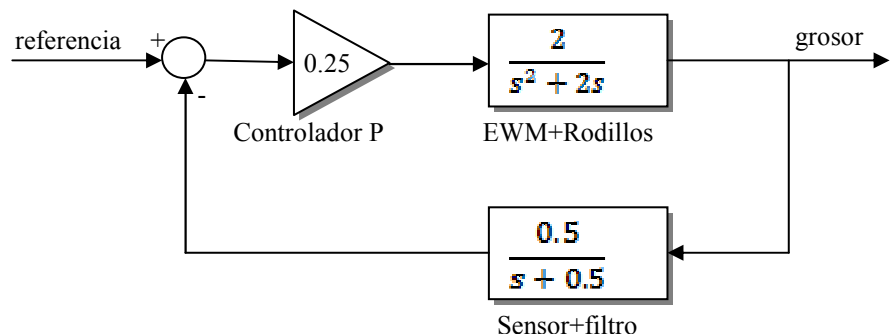


Figura 1 Funcionamiento esquemático del EWM



Problema 1

1.

$$k=1.23 \quad T_d=4s \quad T=13.7s \quad t_s=44s$$

2.

R1: Número ramas $\equiv 2$ R2: $k=0 \quad \{s=-0.5 \quad s=-0.073\} \quad K=\infty \rightarrow \{s=+0.5\}$

R3: Ramas del eje real

R4: Simetría

$$R5: \vartheta_a = \frac{360q}{2-1} = 360$$

$$R6: \sigma_a = \frac{-0.5 - 0.073 - 0.5}{2-1} \quad \sigma_a = -1.0073$$

R7: No se aplica.

$$R8: \text{Punto de dispersión: } \frac{1}{\sigma+0.5} + \frac{1}{\sigma+0.073} = \frac{1}{\sigma-0.5}$$

Para calcular el punto de dispersión se emplea como semilla el valor medio de los extremos y se hace la iteración de:

$$\sigma_d^s = \frac{-0.073 - 0.5}{2} = -0.2865$$

$$\frac{1}{\sigma_d + 0.5} + \frac{1}{\sigma_d + 0.073} = \frac{1}{\sigma_d^s - 0.5}$$

σ_d^s	-0.2865	-0.258	-0.257
--------------	---------	--------	--------

En el punto de confluencia, al tener el cero en el origen, la semilla no es tan fácil de determinar, se empezará por el tipo de LDR en un valor de +1.

$$\sigma_c^s = 1$$

$$\frac{1}{\sigma_c^s + 0.5} + \frac{1}{\sigma_c^s + 0.073} = \frac{1}{\sigma_c^s - 0.5}$$

σ_c^s	1	1.25	1.189	1.22	1.24	1.25	1.25
--------------	---	------	-------	------	------	------	------

$$R9: s^2 + (0.579 - 0.09k)s + 0.0365 + 0.045k$$

$$\begin{array}{c|cc} s^2 & 1 & 0.0365 + 0.045k \\ s^1 & 0.579 - 0.09k & \\ s^0 & 0.0365 + 0.045k & \end{array} \quad k_{cr} = \frac{0.579}{0.09} = 6.36$$

Los polos para la ganancia crítica serán de $\pm j0.57$

3.

A la ganancia crítica la frecuencia de oscilación será 0.09Hz y el periodo de 11s.

4. Para $k=3$, la FDT del conjunto total será:

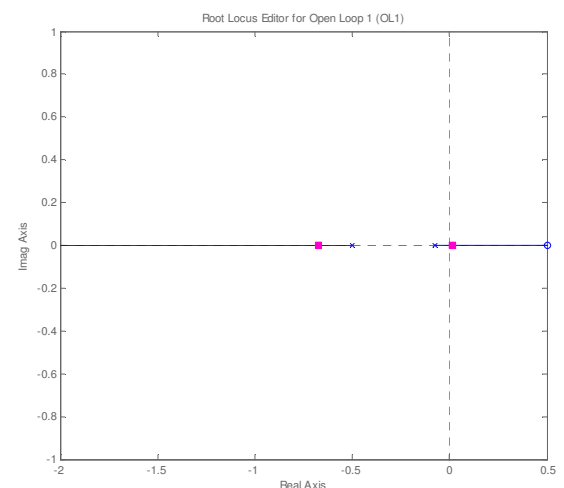
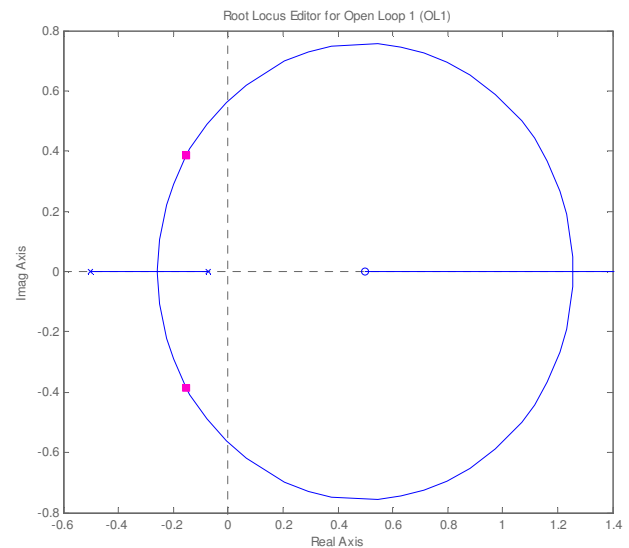
$$M(s) = \frac{-0.27(s-0.5)}{s^2 + 0.3s + 0.17}$$

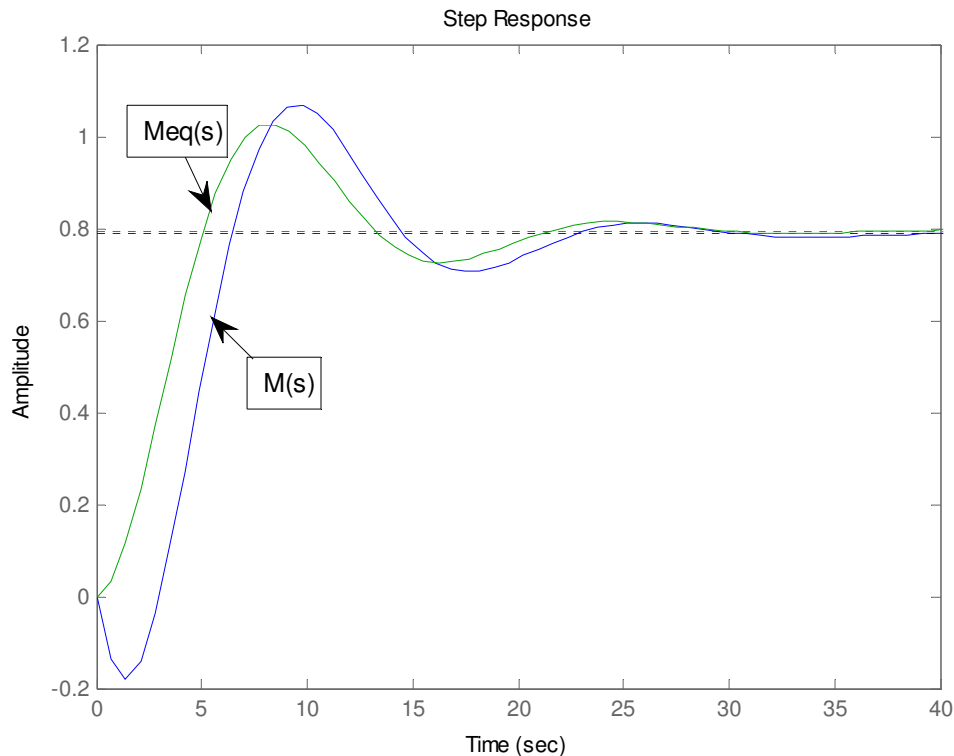
Empleando el equivalente reducido $M_{eq}(s) = \frac{0.137}{s^2 + 0.3s + 0.17}$, se calcula los

valores principales a la respuesta en escalón, sabiendo que el polo dominante es $-0.15 \pm j0.38$:

$$t_s = 20.9s \quad t_p = 8.26s \quad t_r = 5.13s \quad M_p = 28.94\% \quad u_{acond}(\infty) = 0.79V$$

Se representa la comparativa entre el equivalente y el real con la simulación:



**Problema 2**

1.- Calcular los errores de posición, velocidad y aceleración del sistema.

$$e(s) = Y_{deseado}(s) - Y(s) = \frac{X(s)}{K_H} (1 - K_H M(s))$$

$$e_p = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} (1 - M(s)) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(1 - \frac{0.5(s+0.5)}{s(s+2)(s+0.5)+0.25} \right) = 0$$

$$e_v = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s^2} (1 - M(s)) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{s^2 + 2.5s + 0.5}{s^3 + 2.5s^2 + s + 0.25} \right) = 2$$

$$e_a = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s^3} (1 - M(s)) = \infty$$

2.- Pintar la respuesta en frecuencia del sistema en cadena abierta trazando el diagrama de bode asintótico y el diagrama polar.

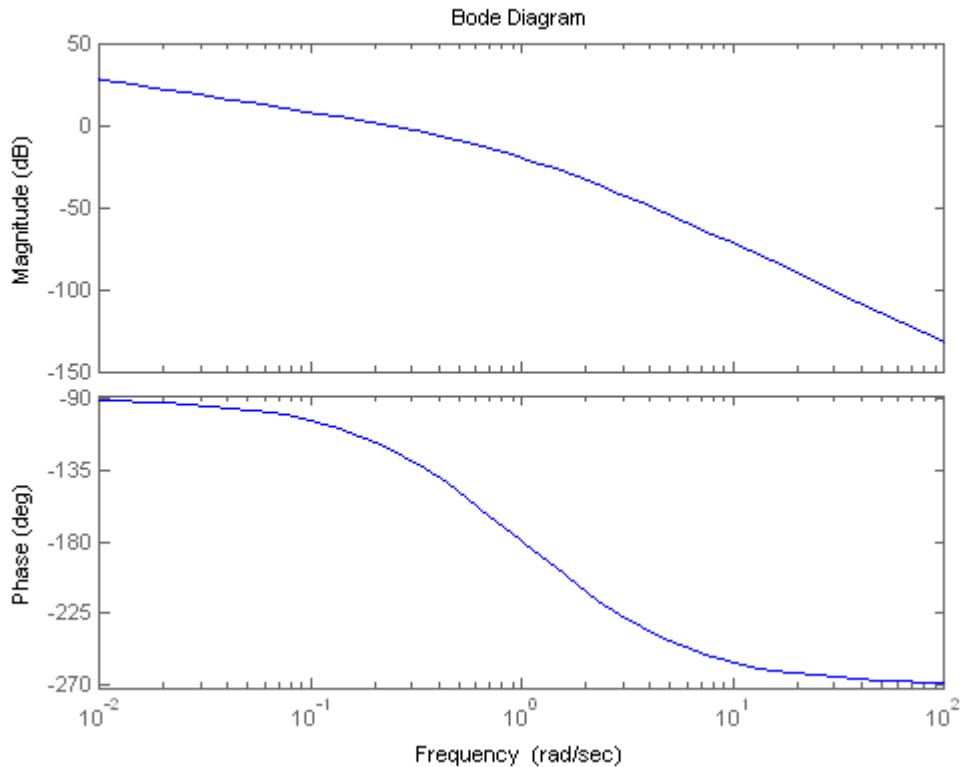
La función de transferencia de la cadena abierta es $G(s)H(s)$, por lo tanto hay que representar el diagrama de BODE de:

$$G(s)H(s) = \frac{0.25}{s(s+2)(s+0.5)}$$

Al ser un sistema de tipo I, es necesario o bien calcular un punto del diagrama asintótico o bien usar el criterio que relaciona el corte de la pendiente de baja frecuencia con el eje de los 0dB en K_v

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s)H(s) = 0.25$$





3.- Obtener el Margen de fase y el Margen de ganancia para las condiciones anteriores. Demostrar que la frecuencia de cruce de ganancia es de **0.035 Hz** y que la frecuencia de cruce de fase es de **0.16 Hz**.

Para demostrar estos puntos basta con comprobar que, para estas frecuencias en radianes se cumple:

Para el cruce de ganancia: $|G(j\omega)H(j\omega)| \Big|_{\omega=2\pi \cdot 0.035} = 1$

Para el cruce de fase: $\angle G(j\omega)H(j\omega) \Big|_{\omega=2\pi \cdot 0.16} = 180^\circ$

El calculo del margen de fase y del margen de ganancia es inmediato:

$$\gamma = 180 + \angle G(j\omega)H(j\omega) \Big|_{\omega=2\pi \cdot 0.035} = 60$$

$$K_g = \frac{1}{|G(j\omega)H(j\omega)| \Big|_{\omega=2\pi \cdot 0.16}} = 10$$

