

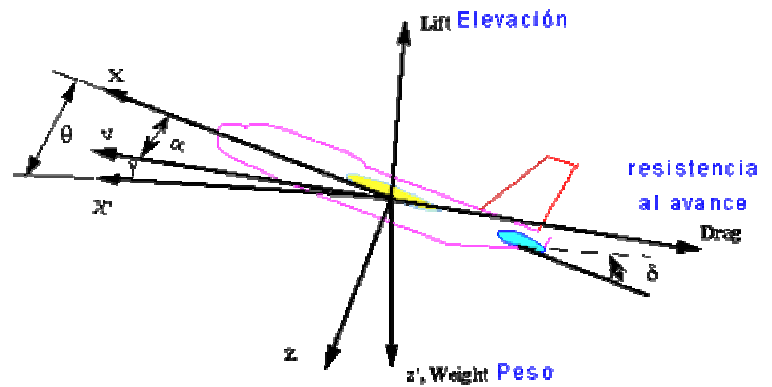
Problema 1

El esquema de la figura muestra el sistema elevación de un avión. Bajo ciertas simplificaciones, la FDT entre el timón de cola y la elevación de la aeronave es:

$$\frac{\theta(s)}{\delta(s)} = \frac{1.151s + 0.1775}{s^3 + 0.739s^2 + 0.921s}$$

Se pide:

1. Dibujar el diagrama de bode.
2. Representar la curva polar.
3. Si se realimenta unitariamente, calcular las frecuencias de cruce de ganancia y fase, junto a los márgenes de fase y ganancia.

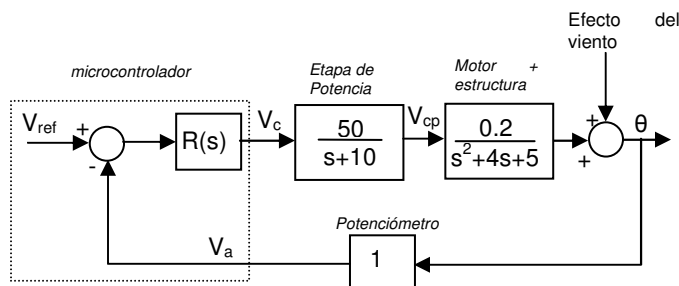


(3 puntos - 50 minutos)

Problema 2

Con la idea de intentar obtener el máximo rendimiento de las pequeñas estaciones de energía fotovoltaica, se están introduciendo en el mercado distintos sistemas de orientación de las estructuras que soportan los paneles solares. En este ejercicio se analizará una posible solución. Un microcontrolador se encarga de corregir cada hora la posición de la plataforma en función del día del año, de esta forma, y sin apenas afectar al máximo rendimiento, el sistema de actuación actúa pocas veces y durante poco tiempo. El microcontrolador genera una señal de tensión (V_c) que es la entrada del sistema de potencia que permite actuar sobre el motor por medio de la tensión (V_{cp}). Evidentemente la estructura está expuesta a la perturbación producida por el viento, por lo que el microcontrolador dispone de una medida de la orientación actual de la estructura (V_a) dada por un potenciómetro solidario al eje. Internamente el microcontrolador implementa un regulador $R(s)$ que se desea diseñar.

Asumiendo muchas simplificaciones, y despreciando inicialmente los efectos debidos a la utilización de un sistema digital, al final todo el sistema puede modelarse mediante el siguiente diagrama de bloques continuo:



Se pide:

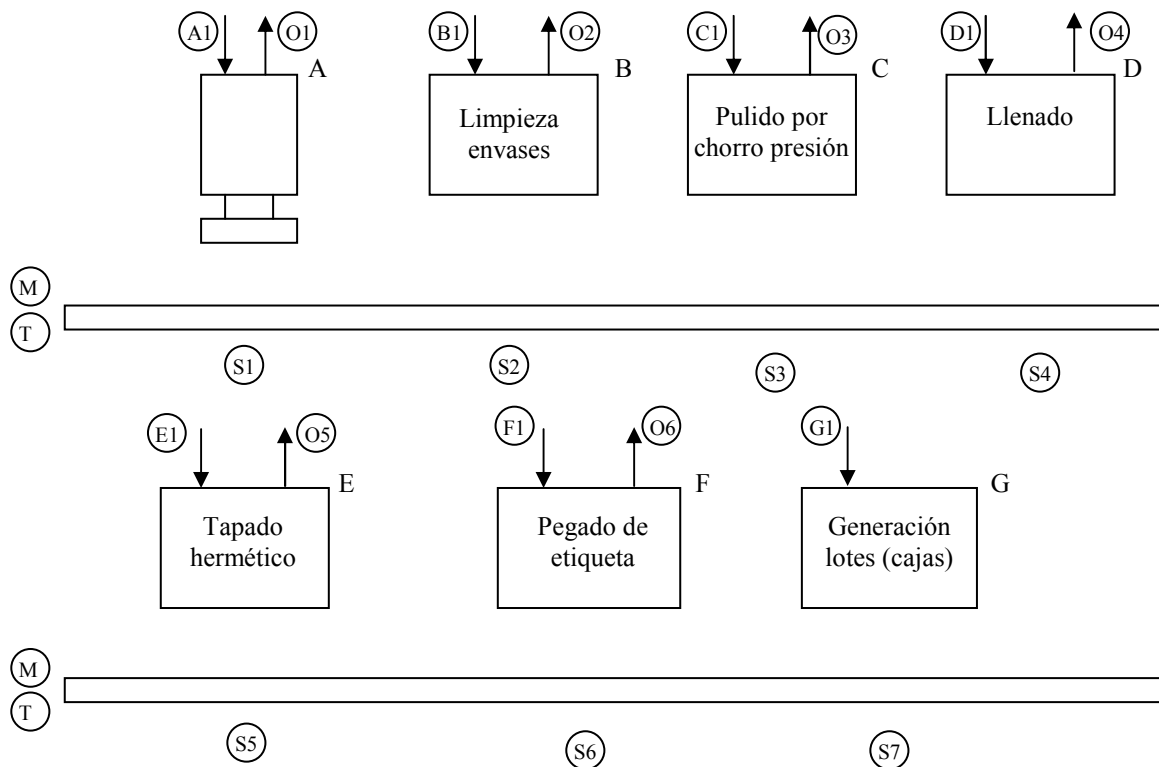
- 1.- Obtener el regulador PI ideal que logre que el sistema tenga un error en régimen permanente nulo, una sobreoscilación inferior al 5% y un tiempo de establecimiento aproximadamente de 3.14 segundos. **(5/3 puntos)**
- 2.- Redibujar el diagrama de bloques de forma que aparezca reflejada tanto la parte digital como la continua. ¿A qué frecuencia deberá actualizar la salida el microcontrolador para que los efectos resultantes de la discretización no sean relevantes? **(2/3 puntos)**
- 3.- Obtener la transformada Z resultante de discretizar el regulador PI calculado mediante la aproximación bilineal. Escribir la ecuación en diferencias que esta transformada representa. **(3/3 puntos)**

(3 puntos - 60 minutos)



Problema 3

El siguiente esquema representa un modelo simplificado de una cadena automática de llenado de botellas de diferentes refrescos. Todo el sistema de transporte es gestionado por la misma unidad motora M. Se supone que el carril de transporte se encuentra parado hasta que todas las operaciones involucradas en la cadena terminan. Cada actuación sobre el carril es sincronizada a través de una señal T proporcionada por un encoder solidario al eje del motor M (T se activa para determinar el final de avance del carril). Las tareas se ejecutan de manera simultánea, por lo que el avance lógicamente de la línea será función de la tarea más lenta en cada caso.



Se realizan siete operaciones simultáneas en el proceso:

- A.- Inspección de envases. Activación inspección: A1, finalización: O1.
- B.- Limpieza de envases. Activación: B1, finalización: O2.
- C.- Pulido. Activación: C1, finalización: O3.
- D.- Llenado. Activación encofrado: D1, finalización: O4.
- E.- Tapado hermético. Activación proceso de soldadura: E1, finalización: O5.
- F.- Pegado etiqueta. Activación: F1, finalización: O6.
- G.- Introducir en cajas. Activación del proceso de curado: G1, finalización en 30 s.

Los sensores S1, S2, S3, S4, S5, S6 y S7 determinarán si existen o no elementos a procesar en la tarea correspondiente.

Se pide:

1. Grafcet de nivel 2 del proceso.
2. Mapeado de E/S y marcas sobre el autómat S5-95U de Siemens.
3. Código AWL del automatismo.

(4 puntos - 60 minutos)

Publicación de las notas: 25/6/07

Revisión: 26/6/07

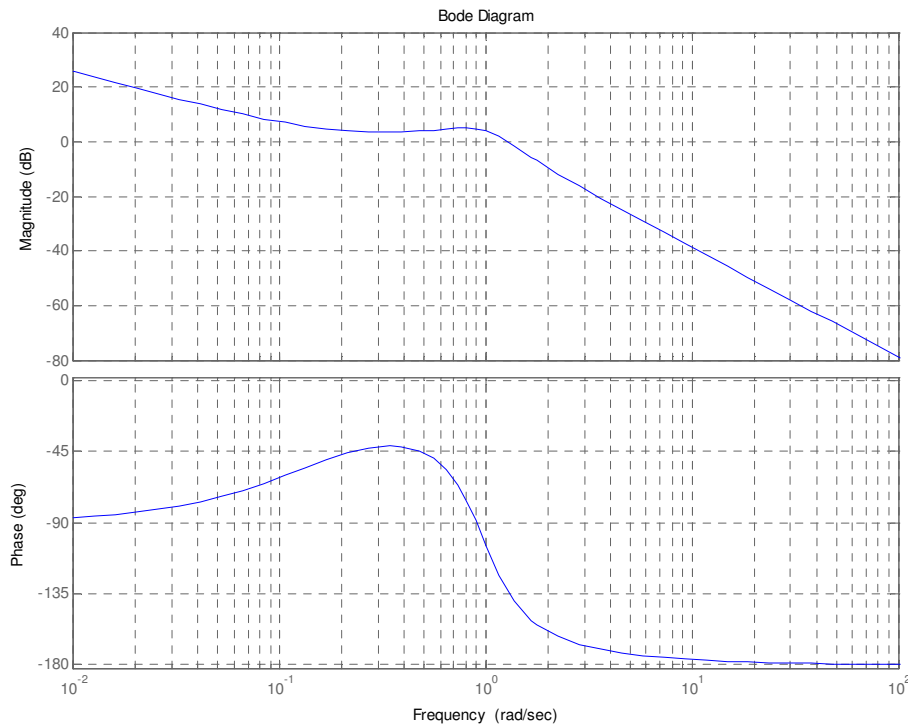


Problema 1

1. Se procede, en primer lugar, a expresar la FDT en términos normalizados de respuesta en frecuencia:

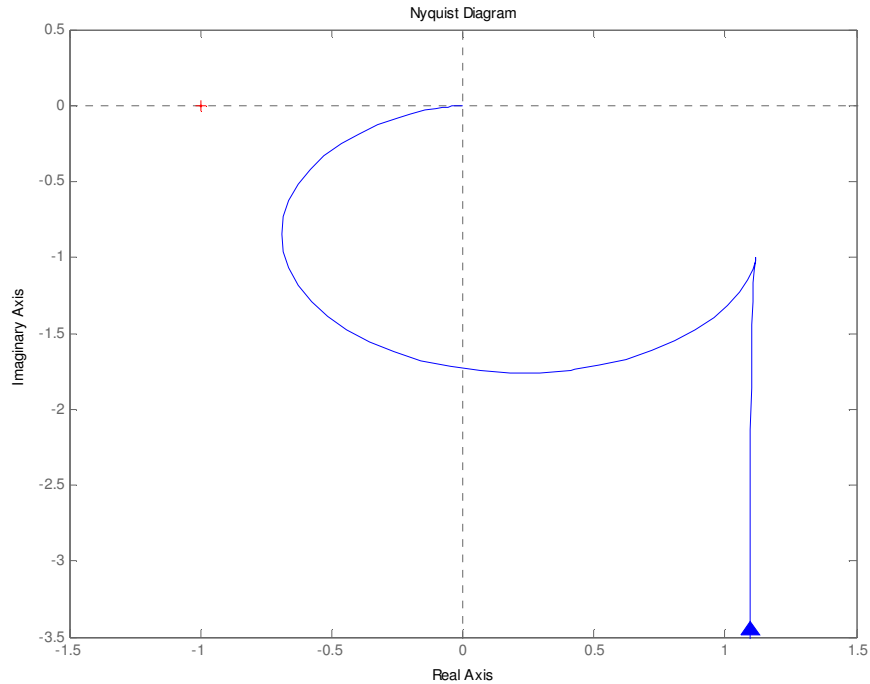
$$\frac{\theta(\omega)}{\delta(\omega)} = \frac{1.151\omega + 0.1775}{\omega^3 + 0.739\omega^2 + 0.921\omega} = \frac{0.1775(1 + j\omega \cdot 6.4845)}{j\omega \cdot 0.921 \left(\left(\frac{j\omega}{0.9597} \right)^2 + 2 \cdot 0.385 \left(\frac{j\omega}{0.9597} \right) + 1 \right)}$$

El sistema está definido por una ganancia estática, un polo en el origen, un cero de primer orden y un polo de segundo orden. La frecuencia del cero está a 0.154 [rad/s] y la frecuencia natural del polo está a 0.96 [rad/s]. Se puede considerar sus trazados de manera independiente por estar separados casi una década. Se empieza a una frecuencia de 10^{-2} [rad/sg], una frecuencia a una década del cero, la contribución del cero y del polo de segundo orden son despreciables; a esta frecuencia el módulo es de 25.7 dB y el argumento prácticamente -90° . Por este punto, se trazará, en el módulo, una recta de pendiente de -20 dB/década. Con la entrada de cero, el trazado asintótico del módulo pasa a una pendiente nula hasta alcanzar la frecuencia natural del polo que pasará a una pendiente de -40dB/década. En cuanto al argumento, pasará de -90° a 0° con el cero y a -180° con el polo de segundo orden.



2. Para el trazado de la curva polar se observa, desde el diagrama de Bode, que la curva pasará por el cuarto y tercer cuadrante. A bajas frecuencias viene desde $-j\infty$ y acaba en las altas frecuencias en $-0+j0$. También se observa que corta con el eje imaginario con un módulo mayor a la unidad.





3. Del diagrama de Bode se observa que la frecuencia de cruce de fase tiende a infinito y por tanto el margen de ganancia también tiende a infinito. En cuanto a la frecuencia de cruce de ganancia está alrededor de 1.5 [rad/s] y el margen de fase alrededor de 45°. La determinación analítica de la frecuencia de cruce de ganancia será:

$$\frac{0.1775\sqrt{1+(\omega_g \cdot 6.4845)^2}}{\omega_g \cdot 0.921 \sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega_g}{0.9597}\right)^2\right) + \left(2 \cdot 0.385 \left(\frac{\omega_g}{0.9597}\right)\right)^2}} = 1 \rightarrow \omega_g = 1.27 [\text{rad} / \text{s}]$$

Y el margen de fase será:

$$\gamma = 180 + \arg(G(\omega_g)) = 180 - 90 + \arctg(6.48 \cdot \omega_g) - \arctg\left(\frac{0.8 \cdot \omega_g}{1 - 1.08 \cdot \omega_g^2}\right) = 46.9^\circ$$

Problema 2

Se pide:

1.- Obtener el regulador PI ideal que logre que el sistema tenga un error en régimen permanente nulo, una sobreoscilación inferior al 5% y un tiempo de establecimiento aproximadamente de 3.14 segundos. (5 puntos)

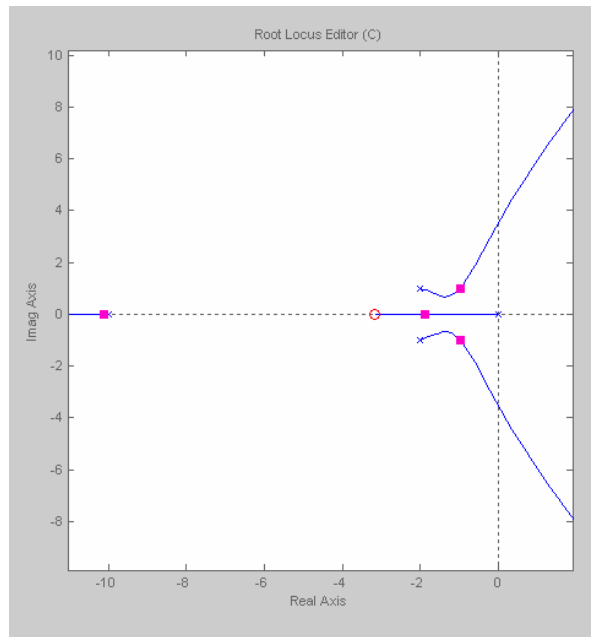
$$M_p \leq 0.05 \Rightarrow \theta \leq 46^\circ$$

$$t_s \leq 3.14s \Rightarrow \sigma \geq 1$$

$$S_\Delta = 1 \pm j$$

La forma del PI ideal es $R(s) = K \frac{s+a}{s}$. El valor de a se obtiene directamente por aplicación del criterio del argumento supuesto el polo en el origen, de forma que el LDR pase por S_Δ





$$\sum \alpha - \sum \beta = 180(2k+1) \Rightarrow \alpha_0 + \alpha_{2+j} + \alpha_{2-j} + \alpha_{10}$$

$$135 + 0 + 63 + 6 - \beta = 180 \Rightarrow \beta = 24^\circ$$

Calculamos a de forma que el cero aporte los 24° calculados:

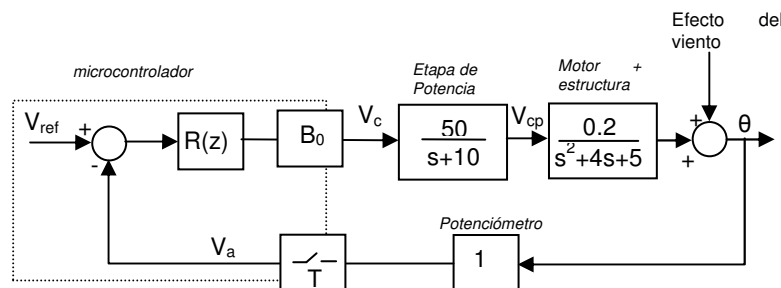
$$a = 1 + 1 \frac{1}{\tan 24} \Rightarrow a = 3.24 \Rightarrow R(s) = K \frac{s + 3.24}{s}$$

Finalmente obtenemos el valor de K mediante el criterio de módulo:

$$K_{LDR} = \frac{\prod dp}{\prod dz} = \frac{dp_0 \cdot dp_{2+j} \cdot dp_{2-j} \cdot dp_{10}}{dz_{3.24}} = \frac{1.41 \cdot 1 \cdot 2.23 \cdot 9.05}{2.45} = 11.61$$

$$K = \frac{K_{LDR}}{50 \cdot 0.2} = 1.16 \Rightarrow R(s) = 1.16 \frac{s + 3.24}{s}$$

2.- Redibujar el diagrama de bloques de forma que aparezca reflejada tanto la parte digital como la continua. ¿A qué frecuencia deberá actualizar la salida el microcontrolador para que los efectos resultantes de la discretización no sean relevantes? (2 puntos)



La frecuencia de muestreo deberá cumplir

$$T \leq \min\left(\frac{t_s}{30}, \frac{2\pi}{10\omega_d}\right) = \min\left(\frac{3.14}{30}, \frac{2\pi}{10}\right) = \min(0.1, 0.628) = 0.1$$



3.- Obtener la transformada Z resultante de discretizar el regulador PI calculado mediante la aproximación bilineal. Escribir la ecuación en diferencias que esta transformada representa.(3 puntos)

Directamente por aplicación de la transformación bilineal, obtenemos:

$$R(z) = \frac{1.348 - 0.9721z^{-1}}{1 - z^{-1}} = \frac{Y(z)}{E(z)} \quad \text{y por tanto representa la ecuación en diferencias siguiente, en la que E es la}$$

secuencia del error e Y la salida del regulador:

$$Y_k = Y_{k-1} + 1.348E_k - 0.921E_{k-1}$$

