

SEGUNDO PARCIAL**Primer ejercicio (CONTROL LTI)**

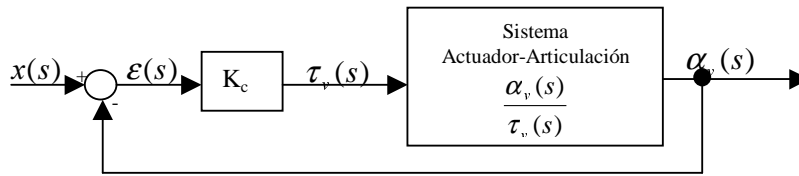
Se desea realizar un control de posición de la segunda articulación del manipulador de la figura. Para ello se dispone de un motor de corriente continua y de un potenciómetro acoplado a la articulación que permite medir su posición angular.

Experimentalmente se ha realizado un modelo simplificado de la articulación que incluye el efecto inercial del brazo, cuantificado por su momento de inercia M , y el efecto del rozamiento dinámico mediante un par que se opone al movimiento proporcional a la velocidad angular y de constante B . La ecuación que relaciona el par ejercido por el motor $\tau(t)$, con la posición angular de la articulación $\alpha(t)$, es la siguiente:

$$\tau(t) = M \cdot \frac{d^2\alpha(t)}{dt^2} + B \cdot \frac{d\alpha(t)}{dt} \quad M = 0,25 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \quad B = 0,5 \frac{\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{rad}}$$

El motor posee un control propio de par, de tal forma que si se le suministra una señal de 1 Voltio, ejercerá un par de 1 Nm, $K_{\text{par}} = 1 \text{ Nm/V}$. La medida de la posición angular es lineal y regida por una constante $K_{\text{pot}} = 1 \text{ voltio/rad}$, de forma que un movimiento angular de 1 radian, provocará una variación de tensión de un voltio.

Inicialmente se desarrolla sobre el conjunto un control proporcional al error respecto de una señal de referencia que indica la posición angular que se desea alcanzar. Si $\tau_v(t)$ es la señal en voltios que entra al control de par y $\alpha_v(t)$ es la señal en voltios de la posición angular, el sistema de control quedaría como sigue:



- 1.- Obtener la función de transferencia $G_p(s) = \frac{\alpha_v(s)}{\tau_v(s)}$ del conjunto actuador- articulación.
- 2.- Calcular el valor que debe tomar la acción proporcional K_c para asegurar que para una entrada en rampa de pendiente 1 V/s, equivalente a 1 rad/s, el error de posición es de 0,05 voltios, que equivale a 0,05 radianes. Es decir $e_v = 0,05 \text{ s}$.
- 3.- Dibujar el diagrama de Bode asintótico (fase y amplitud) del sistema regulado.
- 4.- Calcular el margen de fase γ y la frecuencia de cruce de ganancia ω_g .
- 5.- Se desea mejorar el comportamiento dinámico del sistema mediante una red de adelanto de fase que sustituya al regulador proporcional. Dicha red deberá conseguir las mismas especificaciones estáticas logradas con la regulación proporcional. Además se quiere pasar del γ calculado a un nuevo margen de fase de 50° , lo que consigue un sistema más rápido (t_s pasa de 2,5 segundos a 0,5 segundos) y menos oscilatorio (M_p pasa del 60% al 22%). Calcular la función de transferencia de dicha red de adelanto tomando un margen de seguridad de 5° .
- 6.- Se desea implantar este regulador mediante un sistema digital. Dicho sistema trabaja a una frecuencia lo suficientemente alta como para suponer que es razonable la igualdad del regulador continuo y el regulador resultante de la discretización mediante la aproximación trapezoidal (transformada bilineal). Determinar la $G_c(z)$ de la red de adelanto si el sistema digital trabaja a una frecuencia de 100 Hz.

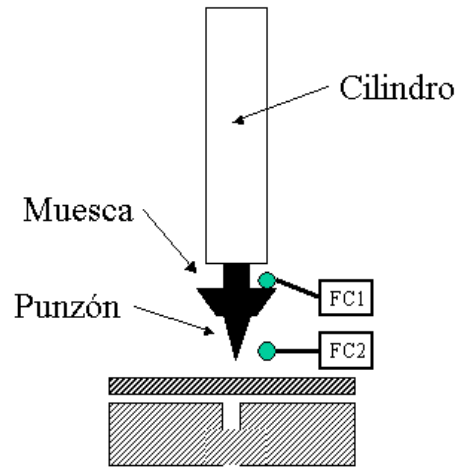
$$s = \frac{2}{T} \cdot \frac{(z-1)}{(z+1)}$$

- 7.- Dibujar el diagrama de bloques completo del sistema diferenciando las variables físicas de las eléctricas e incluyendo los elementos del sistema discreto de control.

(50min)**Segundo ejercicio (AUTOMATIZACIÓN)**

La punzonadora semiautomática de la figura se compone de un cilindro neumático donde se ha ubicado solidariamente al vástago de éste, un punzón y una muesca capaz de desplazar los finales de carrera. El usuario tiene un pulsador de MARCHA. Al actuar sobre el pulsador la punzonadora pasa de la situación de reposo al de desplazamiento máximo. Los finales de carrera 1 y 2, FC1 y FC2, marcan las posiciones anteriores respectivamente. Cuando el punzón alcanza la situación de FC2 retornará a la de reposo, marcada por el FC1, siempre y cuando, el pulsador de MARCHA no esté todavía activo.

1. Elegir razonadamente los elementos neumáticos necesarios para implementar la punzonadora, así como representar el esquema neumático de montaje.
2. Sin utilizar el método de Huffman, obtener el esquema eléctrico de contactos del automatismo.
3. Escribir el código en AWL sobre STEP-5 que realice la lógica de control.
4. Obtener el GRAFET de nivel I y II del automatismo.



(40 min)

Resolución**Primer ejercicio**

1.- Obtener la función de transferencia $G(s) = \frac{\alpha_v(s)}{\tau_v(s)}$ del conjunto actuador- articulación.

$$\tau(t) = M \cdot \frac{d^2 \alpha(t)}{dt^2} + B \cdot \frac{d \alpha(t)}{dt}$$

$$\tau(s) = Ms^2 \alpha(s) + Bs \alpha(s)$$

$$\frac{\alpha(s)}{\tau(s)} = G(s) = \frac{1}{s \left(s + \frac{B}{M} \right)} = \frac{4}{s(s+2)}$$

2.- Calcular el valor que debe tomar la acción proporcional K_c para asegurar que para una entrada en rampa de pendiente 1 V/s, equivalente a 1 rad/s, el error de posición es de 0,05 voltios, que equivale a 0,05 radianes. Es decir $e_v = 0,05$ s.

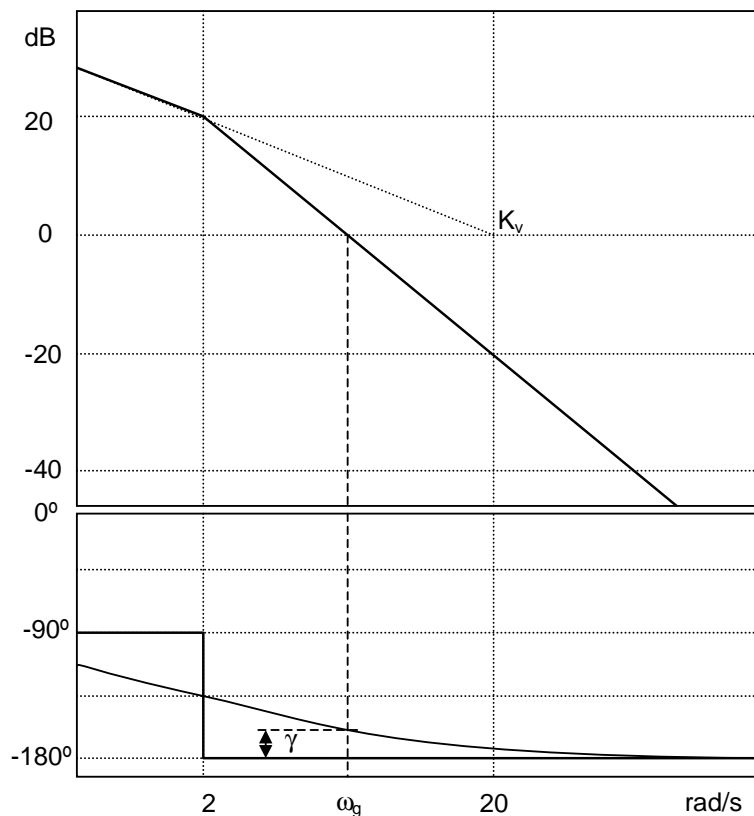
$$e_v = 0.05 \text{ s} \Rightarrow k_v = \frac{1}{e_v} = 20 \text{ s}^{-1}$$

$$k_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{4K_c}{s(s+2)} = 2K_c \Rightarrow K_c = 10$$



3.- Dibujar el diagrama de Bode asintótico (fase y amplitud) del sistema regulado.

Tenemos un polo en el origen y otro polo en -2 . Por tanto el diagrama de bode sufrirá un cambio de pendiente en amplitud a una frecuencia de $f_2 = 2 \text{ rad/s} \cdot \frac{1}{2\pi \text{ rad}} = 0.3183 \text{ Hz}$.

**4.- Calcular el margen de fase γ y la frecuencia de cruce de ganancia ω_g .**

Cálculo de ω_g :

$$|G'(j\omega_g)| = 1 \Rightarrow \frac{\sqrt{40^2}}{|-\omega_g^2 + 2\omega_g j|} = 1 \Rightarrow \omega_g = 6.16 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Cálculo de γ :

$$\gamma = \angle G'(\omega_g) + 180^\circ = -\arctg \frac{2\omega_g}{-\omega_g^2} \Rightarrow \gamma = 17^\circ$$

5.-Se desea mejorar el comportamiento dinámico del sistema mediante una red de adelanto de fase que sustituya al regulador proporcional. Dicha red deberá conseguir las mismas especificaciones estáticas logradas con la regulación proporcional. Además se quiere pasar del γ calculado a un nuevo margen de fase de 50° , lo que consigue un sistema más rápido (t_s pasa de 2,5 segundos a 0,5 segundos) y menos oscilatorio (M_p pasa del 60% al 22%). Calcular la función de transferencia de dicha red de adelanto tomando un margen de seguridad de 5° .

La forma general de una red de adelanto de fase es:



$G_c(s) = K \cdot \alpha \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1}$ en donde $K \cdot \alpha$ coincide con el valor del regulador proporcional anteriormente calculado.

Calculamos en primer lugar la cantidad de fase que hay que aportar para lograr el margen de fase deseado, utilizando un margen de seguridad de 5° , y para el sistema con la acción proporcional anterior (pues es la misma).

$$\Phi_m = \gamma_{deseado} - \gamma_{actual} + \gamma_{seguridad} = 50^\circ - 17^\circ + 5^\circ = 38^\circ$$

Calculamos el valor de α que genera este aporte de fase:

$$\text{sen} \Phi_m = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \Rightarrow \alpha = 0.24$$

Determinamos ahora cual será la nueva frecuencia de cruce de ganancia, debido al aporte de la red cuando la fase de la misma es máxima:

$$10 \log \alpha = -6.2 \text{ dB} = 20 \log |G'(j\omega'_g)| \Rightarrow \sqrt{\alpha} = |G'(j\omega'_g)| = 0.49$$

$$\frac{\sqrt{40^2}}{|-\omega'^2_g + 2j\omega'_g|} = 0.49 \Rightarrow \omega'_g = 9 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Centramos el aporte máximo de la red en ese punto:

$$\frac{1}{T\sqrt{\alpha}} = \omega'_g \Rightarrow T = 0.226$$

Sustituyendo valores en la expresión de la red:

$$G_c(s) = K \cdot \alpha \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} = 10 \frac{0.226s+1}{0.054s+1} = 41.7 \frac{s+4.41}{s+18.4}$$

6.- Se desea implantar este regulador mediante un sistema digital. Dicho sistema trabaja a una frecuencia lo suficientemente alta como para suponer que es razonable la igualdad del regulador continuo y el regulador resultante de la discretización mediante la aproximación trapezoidal (transformada bilineal). Determinar la $G_c(z)$ de la red de adelanto si el sistema digital trabaja a una frecuencia de 100 Hz.

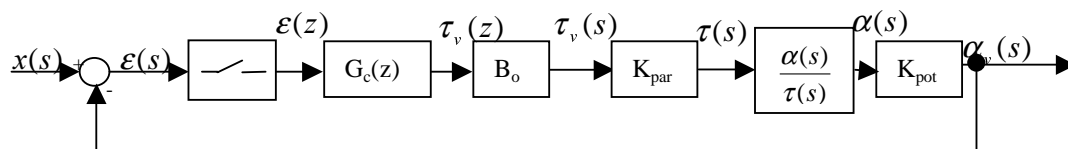
$$s = \frac{2}{T} \cdot \frac{(z-1)}{(z+1)} = 200 \frac{(z-1)}{(z+1)}$$

sustituyendo s por esta equivalencia, tendremos el regulador discreto:

$$G_c(z) = 39 \frac{z-0.956}{z-0.8315}$$

7.- Dibujar el diagrama de bloques completo del sistema diferenciando las variables físicas de las eléctricas e incluyendo los elementos del sistema discreto de control.

Existen varias opciones, siendo importante la situación del muestreador y el bloqueador. Aquí se muestra un esquema en el que se considera que la señal de referencia es una señal de tensión analógica externa, y que el sumador está realizado también de forma analógica.



Segundo ejercicio

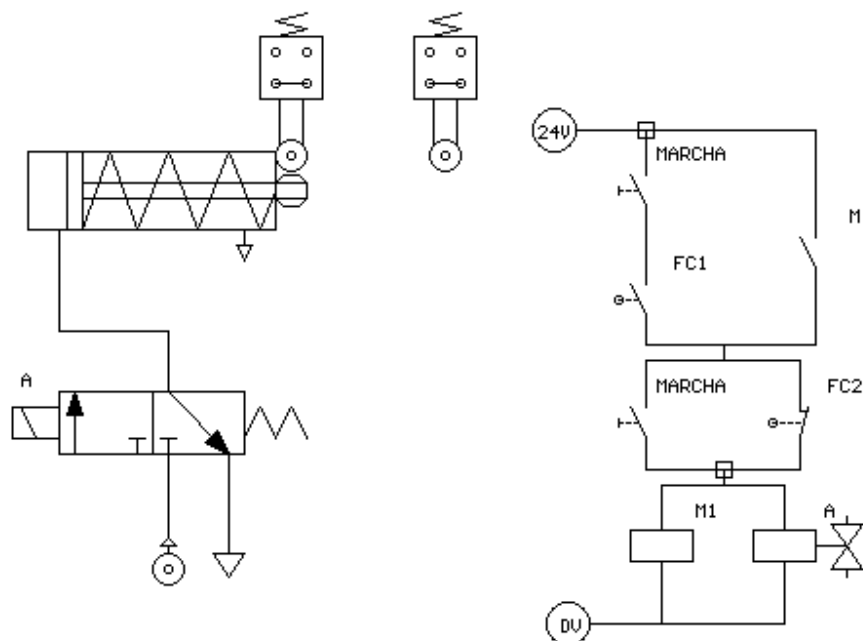
- Debido a que el esfuerzo mecánico debe darse en el proceso de expansión del cilindro neumático y la recogida no existe una fuerza de oposición, se empleará un cilindro neumático de simple efecto con resorte en el lado del vátago. Por tanto, también se empleará una electroválvula monoestable 3/2 (ver figura de esquema electroneumático).
- La lógica del automatismo requiere de una sola marca. Para activarse se requerirá que la punzonadora esté en posición de reposo, esto es, activado el FC1. Si se da esta condición y se pulsa MARCHA se activará la válvula monoestable, manteniéndose en esta posición hasta no ser reseteada. La condición de desactivación será que la punzonadora haya alcanzado el FC2 y no siga pulsado MARCHA. Esta acción se continuará hasta no alcanzar la posición inicial. La lógica de la marca será implementada por un biestable con reset preferente, cuyas ecuaciones estarán definidas por:

$$3. \quad M1 \begin{cases} S = MARCHA * FC1 \\ R_p = \overline{MARCHA} * FC2 \end{cases}$$

Nótese que al utilizar esquemas de contactos en su puesta en estructura física la lógica de reset es negada teniendo entonces que:

$$4. \quad \overline{R_p} = \overline{MARCHA} + FC2$$

Antes de mostrar el esquema electroneumático obsérvese que el contactor necesario para la implementación de la marca está en paralelo con la electroválvula. Recuérdese la necesidad de utilizar el relé ya que las electroválvulas no tienen contactos.



3.

U -MARCHA
 U -FC1
 S -M1
 UN -MARCHA
 U -FC2
 R -M1
 A = M1

En donde -MARCHA es E32.0, FC1 es E32.1, FC2 es E32.2, A = A33.0 y M1 es M1.0.



4. Los GRAFET de nivel I y II serán

