

Problema 1

El diagrama de la figura representa un esquema simplificado de levitación magnética. La fuerza magnética producida por el electroimán intenta compensar la fuerza de gravitación sobre el cuerpo que levita. Sabiendo que la fuerza magnética es proporcional al cuadrado de la corriente de la bobina e inversamente a la posición del cuerpo, $f_m(t) = k_p \frac{i^2(t)}{x(t)}$,

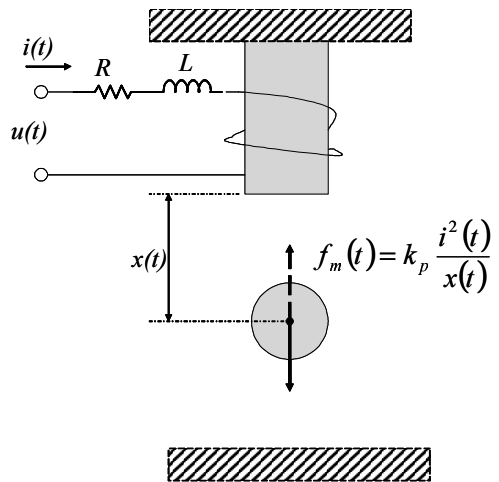
determinar:

1. Conjunto de ecuaciones algebro-diferenciales que describe la dinámica del levitador.
2. Linealización de la planta alrededor del punto de reposo.
3. Diagrama de bloques del sistema.
4. ¿Es estable?
5. Se emplea una estructura de realimentación unitaria con el siguiente compensador $G_c(s) = k(1 + 0.2 \cdot s)$. Determinar los valores de k que hacen al sistema estable.

Datos:

$M = 0.1 \text{ kg}$ $k_p = 25 \cdot 10^{-3} \text{ [N} \cdot \text{m/A}^2\text{]}$ $R = 0.1 \text{ } \Omega$ $L = 5.4 \text{ mH}$ Punto de reposo: $x_0 = 25 \text{ mm}$

(40 minutos)

**Problema 2**

Para mejorar el rendimiento de los motores de explosión, en algunas ocasiones se suele recurrir a la utilización de sobrepresiones en la alimentación (masa de aire en la combustión). Una de las alternativas es el uso de turbo-compresores, formados por un par de turbinas que utilizando la energía residual de los gases de escape consiguen comprimir el aire de admisión.



La posición de los alabes de la turbina puede modificarse mediante un sistema regulado consiguiendo una mejor respuesta del motor en todo el margen de revoluciones.

El sistema dispone de un retardo ante la respuesta ante un golpe de gas (posición del acelerador) denominado turbo-lag de más de 3 s. Un modelo simplificado pudiera ser el siguiente:

$$G(s) = \frac{45}{(s + 1.5)(s + 3)(s + 10)}$$

Para mejorar el comportamiento, y disminuir así, el tiempo de respuesta, se propone la utilización de un regulador cerrando el lazo con realimentación unitaria.

Se pide:

1. Dibujar el esquema de control a utilizar. Obtener el lugar de las raíces y comprobar si para disminuir el tiempo de respuesta hasta 1 s es suficiente con actuar solamente con la ganancia del lazo abierto.
2. Si la acción de un proporcional no fuese suficiente, recurrir a una red de adelanto de fase (cancelación del segundo polo), considerando que la sobreoscilación no puede superar el 3%.
3. Calcular el error ante entrada escalón y en el caso de superar el 10% plantear cómo se podría corregir.

Suponiendo que el regulador obtenido anteriormente fuese $G_c = 10 \frac{s+3}{s+15}$

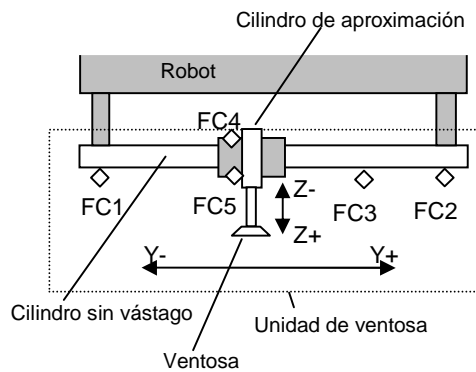
4. Dado que el algoritmo de control deberá ser implementado por uno de los sistemas microprocesador que lleva a bordo el vehículo, deberá obtenerse el regulador discreto correspondiente. Elegir el tiempo de muestreo máximo adecuado si los polos de la cadena cerrada estuvieran situados en el eje real en -20, -10 y -4.
5. Obtener el sistema discreto equivalente (BG(z)). Dibujar el diagrama de bloques resultante.

(45 minutos)



Problema 3

Se ha diseñado en el departamento un robot para la limpieza semiautomática de fachadas. Para lo cual el robot dispone de una serie de automatismos diferenciados y sincronizados por un sistema de control basado en PLC. Entre estos sistemas destacan una serie de patitas con ventosas que van “andando” por la fachada cuando el robot limpia al ser subido por la grúa. De esta forma se asegura que la distancia a la superficie a limpiar es fija y queda determinada por la longitud de estas patitas.



El automatismo de cada “patita” está compuesto de los siguientes elementos:

- Un cilindro sin vástago de doble efecto que permite mover las patitas arriba y abajo del robot por medio de dos válvulas. Para saber en que posición se encuentra el pistón se disponen de tres sensores inductivos **FC1**, **FC2** y **FC3** dispuestos tal y como aparece en la figura. El movimiento del cilindro se realiza por medio de las señales **Y+** e **Y-** de tal forma que cuando se activa **Y+** el pistón sube. Cuando se activa **Y-** baja. Cuando se activan ambas, se bloquea y cuando se desactivan ambas el cilindro queda suelto (frenado exclusivamente por el caudal limitado en el escape).
- Sobre el pistón se encuentra un segundo cilindro de doble efecto en cuyo extremo se encuentra la ventosa. Este cilindro es controlado por una sola señal **Z**. Cuando **Z** está activa el cilindro se extiende, y cuando no está activo se retrae. Tanto la posición retraída como la posición extendida son detectadas por los fines de carrera **FC4** y **FC5** respectivamente.
- La ventosa lleva un sensor para saber si ha logrado hacer vacío y por tanto si se ha pegado a la fachada. La actuación del vacío se logra por medio de la señal **V**, y el sensor de vacío (activo si hay vacío) se obtiene mediante la señal **SV**.

El funcionamiento normal del automatismo es como sigue:

Se desplaza la ventosa retraída hasta la zona más alta (**FC2**). En ese punto se extiende la ventosa y cuando alcanza su posición final se activa el vacío a la vez que se suelta el cilindro principal (desactivando **Y+** e **Y-**). Si tras un segundo no se ha pegado la ventosa entonces se procede a intentar pegar la ventosa en la posición determinada por **FC3** siguiendo el mismo procedimiento. El desplazamiento entre **FC2** y **FC3** debe realizarse con la patita retraída.

Si se consigue pegar la ventosa en cualquiera de los dos casos entonces se mantiene el cilindro suelto hasta alcanzarse la posición **FC1**, momento en el que se retrae la ventosa (desactivando antes el vacío) y se repite el ciclo.

Si por el contrario no se ha conseguido fijar tras el segundo intento la ventosa a la fachada, entonces se recoge inmediatamente la ventosa, se fija la posición del cilindro (activación de **Y+** e **Y-**) se activa la señal de error (**ERROR**) y se espera a recibir la activación de la señal **Restore**, la cual provoca el comienzo normal del ciclo (ir hasta **FC2**...).

Se pide:

1. Esquema neumático (válvulas utilizadas) que permite controlar ambos cilindros con las señales indicadas.
2. Realizar el GRAFCET de NIVEL I del automatismo.
3. Indicar la organización de módulos para un programa que realiza el automatismo sobre un autómata de la serie S5 de Siemens y realizar un mapeado de entradas, salidas y marcas para dicho autómata.
4. Escribir el código AWL para la lógica de estados de un par de etapas, y el código necesario para la temporización utilizada.

(45 minutos)



Resolución**Problema 1**

1.

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

$$M \cdot \ddot{x} = M \cdot g - k_p \frac{i^2(t)}{x(t)}$$

2. Para la linealización habrá que calcular la corriente en el punto de reposo:

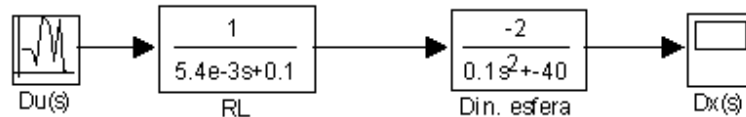
$$i_0^2 = \frac{M \cdot g \cdot x_0}{k_p} \rightarrow i_0 \cong 1A$$

Las ecuaciones linealizadas sobre este punto de reposo quedan establecidas como:

$$\Delta u(t) = R \cdot \Delta i(t) + L \Delta \dot{i}(t)$$

$$M \cdot \Delta \ddot{x} = \left[-k_p \frac{2 \cdot i_0}{x_0} \right] \cdot \Delta i(t) + \left[k_p \frac{i_0^2}{x_0^2} \right] \cdot \Delta i(t)$$

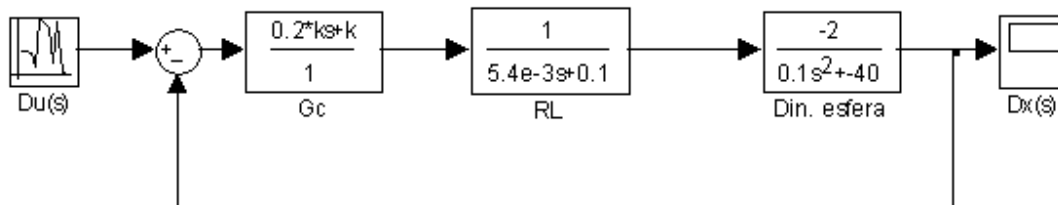
3.



4. La FDT contiene un polo en el semiplano positivo, por tanto, el sistema es inestable:

$$\frac{\Delta x(s)}{\Delta u(s)} = \frac{-3703.7}{(s+20)(s-20)(s+18.52)}$$

5. El polinomio característico está definido por:



$$D(s) = s^3 + 18.52s^2 - (400 + 740.74 \cdot k)s - (7408 + 3703.7 \cdot k)$$

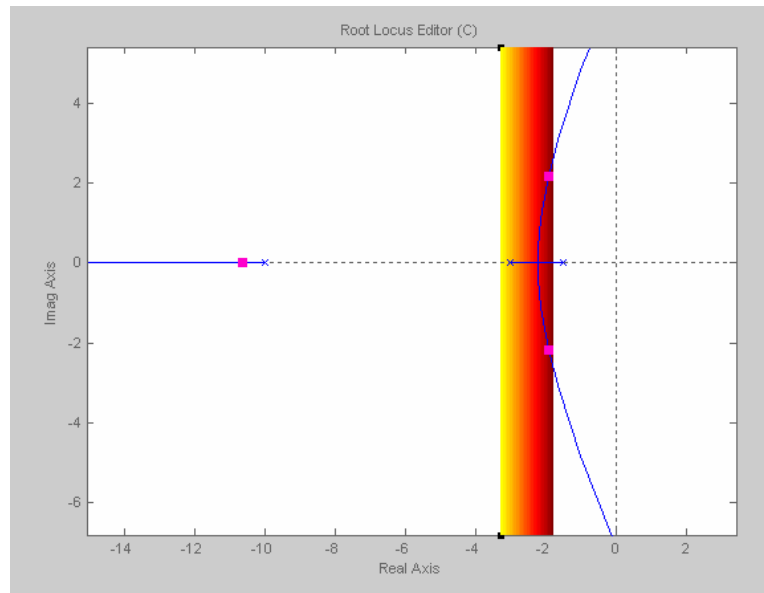
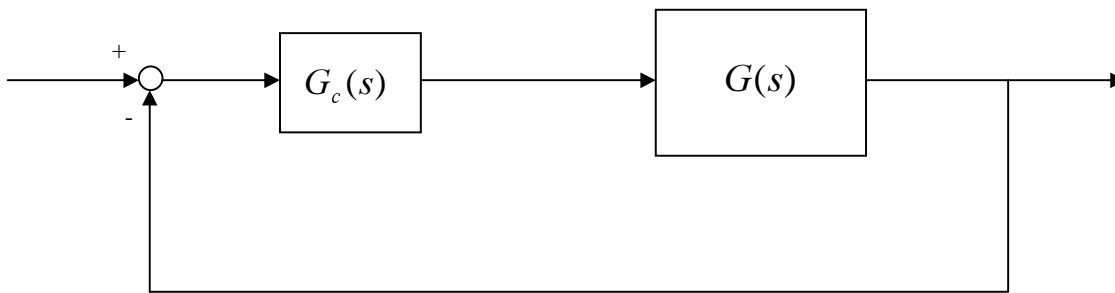
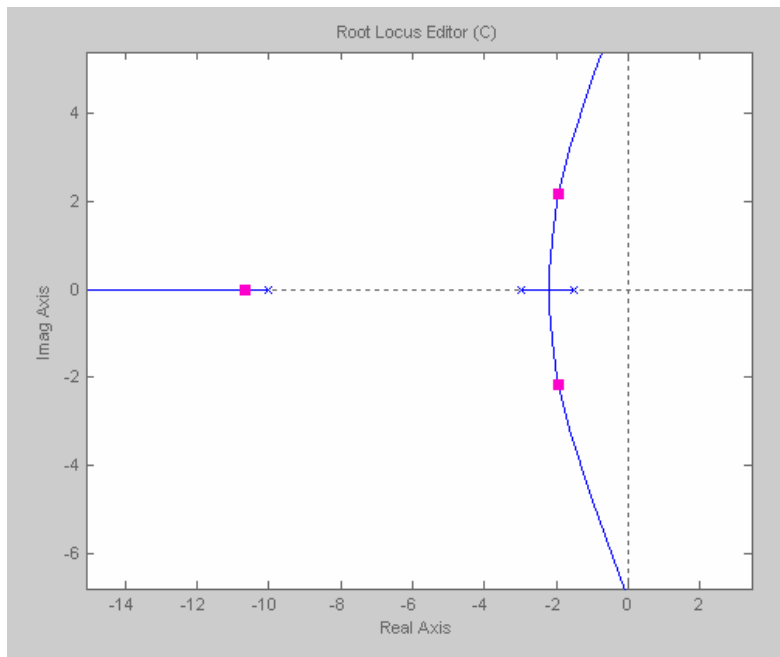
Aplicando Cardano-Vietta y la tabla de Routh, el valor de k debe ser menor a -2.

Problema 2

Problema 2

1.





$t_s = 1 \text{ s} = \frac{\pi}{\sigma}$ $\sigma = 3.14$ por lo que con la ganancia del lazo abierto (proporcional) no es posible situar los polos en 3.14

2.



$$M_p = 3\% = 0.03 = e^{\frac{-\pi}{\lg \theta}} \quad \theta = 41.86^\circ \quad \omega_d = 3.14 \lg \theta = 2.81$$

$$S_\Delta = -3.14 \pm j2.81$$

$$\alpha_{-1.5} = 180 - \arctg \frac{2.81}{3.14 - 1.5} = 120.27^\circ$$

$$\alpha_{-3} = 180 - \arctg \frac{2.81}{3.14 - 3} = 92.85^\circ$$

$$\alpha_{-10} = \arctg \frac{2.81}{10 - 3.14} = 22.28^\circ$$

$$\alpha_{-1.5} + \alpha_{-3} + \alpha_{-10} - \varphi_c = 180$$

$$\varphi_c = 120.27 + 92.85 + 22.28 - 180 = 55.4^\circ$$

$$\varphi_c = \beta_b - \alpha_a \quad \alpha_a = \beta_b - \varphi_c = 37.45^\circ$$

$$a = 3.14 + \frac{2.81}{\lg 37.45^\circ} = 6.81$$

$$d_{-1.5} = 3.25$$

$$d_{-3} = 2.81$$

$$d_{-10} = 7.41$$

$$d_a = 4.62$$

$$K_{LDR} = \frac{d_p}{d_z} = \frac{3.25 \cdot 2.81 \cdot 7.41 \cdot 4.62}{2.81} = 111.5$$

$$K_c = \frac{111.5}{45} = 2.5$$

$$G_c = K_c \frac{s+b}{s+a} = 2.5 \frac{s+3}{s+6.81}$$

3.

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} 2.5 \frac{s+3}{s+6.81} \frac{45}{(s+1.5)(s+3)(s+10)} = 1.1$$

$$e_p = \frac{1}{1+K_p} = \frac{1}{1+1.1} = 47.6\%$$

El error puede atenuarse introduciendo una red de retraso de fase para aumentar la ganancia en régimen permanente.

4. De los tres polos, el que va a fijar la constante predominante será el más lento de ellos por lo que el periodo de muestreo lo calculamos en función de éste:

$$T = \frac{\tau}{10} = \frac{1}{40} = 25 \text{ ms}$$

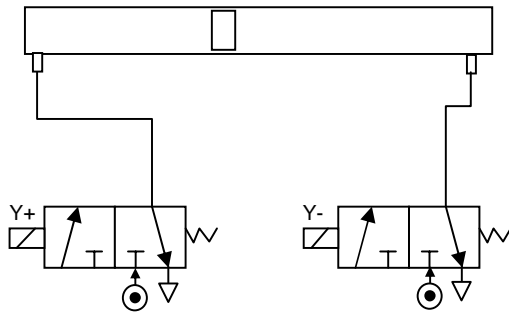
$$G(z) = G(s) \Big|_{s=\frac{2(z-1)}{T(z+1)}} = 8.74 \frac{z-0.927}{z-0.6842}$$

5.

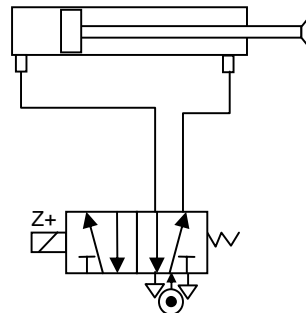
$$BG(z) = \frac{0.0001071(z+3.412)(z+0.2445)}{(z-0.9632)(z-0.9227)(z-0.7788)}$$



1.- Esquema neumático (válvulas utilizadas) que permite controlar ambos cilindros con las señales indicadas.



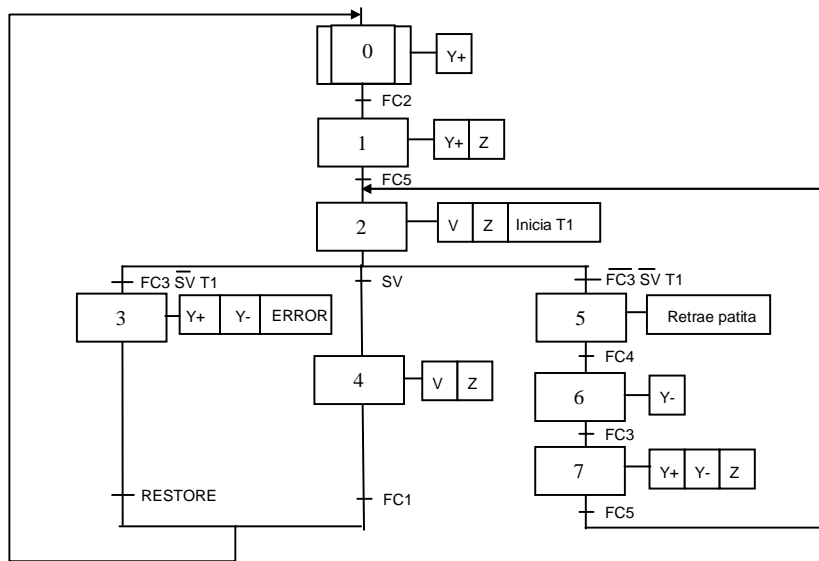
2 válvulas 3/2



1 válvula 5/2

2.- Realizar el GRAFCET de nivel 1 del automatismo.

Por razones de espacio no se ha utilizado la descripción de Nivel1 en muchos casos. Basta con sustituir las combinaciones de las señales por el significado físico que tienen en el automatismo. Así cuando se pone la activación de Y+ e Y- hubiera bastado con indicar: parar el cilindro Y... etc.



3.- Indicar la organización de módulos para un programa que realice el automatismo sobre un autómata de la serie S5 de Siemens y realizar un mapeado de entradas, salidas y marcas para dicho autómata.



Señal	Símbolo	Significado
E32.0	FC1	Final de carrera Y-
E32.1	FC2	Final de carrera Y+
E32.2	FC3	Posición media Y
E32.3	FC4	Final de carrera Z-
E32.4	FC5	Final de carrera Z+
E32.5	SV	Sensor de vacío
E32.6	RESTORE	Estado de la etapa x+8

Señal	Símbolo	Significado
M0.x	Estado	Marca del estado x
A32.1	Y-	Presión izquierda
A32.2	Y+	Presión derecha
A32.3	Z	Presión en Z
A32.4	V	Ventosa
A32.5	ERROR	Señal de error

OB1

SPA PB1

SPA PB2

BE

OB21

R M0.1

R M0.2

R M0.3

R M0.4

R M0.5

R M0.6

R M0.7

S M0.0

BE

PB1 contendrá la lógica de las variables de estado del autómata**PB2** gestiona las salidas del autómata en función del valor del estado así como el arranque de los temporizadores.**4.- Escribir el código AWL para la lógica de estados de un par de etapas, y el código necesario para la temporización utilizada.****PB1**

U M0.0

U -FC2

S M0.1

U M0.1

R M0.0

U M0.1

U -FC5

S M0.2

U M0.2

R M0.1

PB2

U M0.2



L KT 100.0
SE T1

