

# CONTROL AVANZADO DE SISTEMAS

## PROBLEMA 4 TEMA 4 (CONTROL INTELIGENTE)

Se desea diseñar un controlador para el sistema de levitación magnética de la figura 1. El objetivo es controlar la *posición* de un imán suspendido sobre el electroimán, suponiendo que el imán sólo puede moverse verticalmente.

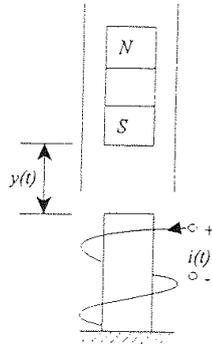


Figura 1

La ecuación de movimiento del sistema, linealizada en torno al punto de trabajo, viene dada por:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = -g + \frac{\alpha}{m} \cdot i(t) - \frac{\beta}{m} \cdot \frac{dy(t)}{dt}$$

donde  $y(t)$  es la distancia entre el imán y el electroimán,  $i(t)$  es la corriente aplicada al electroimán,  $m$  es la masa del imán,  $g$  es la constante de gravedad,  $\beta$  es el coeficiente de fricción viscosa del medio en el que se mueve el imán y  $\alpha$  es una constante de fuerza de campo que viene determinada por la fuerza del imán y el número de vueltas de cable sobre el electroimán.

**Se pide:**

- Obtener la matriz de estado del sistema y estudiar su estabilidad para  $\alpha = 15$ ,  $\beta = 12$ ,  $m = 3$ ,  $g = 9.8$ . ¿Cuál debe ser el valor de la intensidad  $i(t)$  que debe circular por el electroimán para que el imán se mantenga en una posición fija en régimen permanente?
- Se ha diseñado un esquema de control como el mostrado en la figura 2, donde  $y_d$  es la referencia (distancia deseada del imán al electroimán). El error de realimentación se calcula como  $e(t) = y(t) - y_d$  y el controlador tiene como entradas el error y su derivada. Si se usan las funciones de pertenencia de la figura 3, obtener una matriz de reglas válida para dicho controlador (obsérvese que al aumentar la intensidad, aumenta  $y(t)$ ).

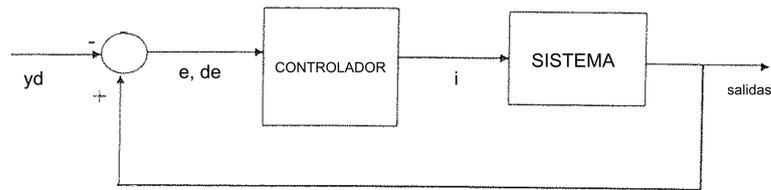


Figura 2

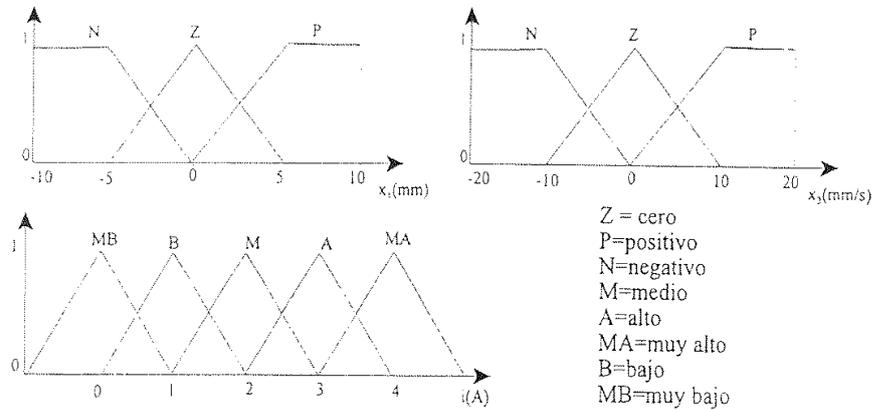


Figura 3

(c) Usando las reglas del apartado anterior y suponiendo que se diseña el controlador por mínimo, es decir:

- Inferencia basada en reglas individuales con combinación por unión.
- Implicación mínimo,  $\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$ .
- Mínimo para todas las  $t$ -normas y máximo para todas las  $s$ -normas.
- Borrosificador singleton.
- Desborrosificación por centro medio.

(c.1) Determinar las condiciones que debe cumplir el controlador de forma que el sistema global en bucle cerrado sea estable ( $I_1 > 0, I_2 > 0$ ).

(c.2) Suponiendo que se añade en el esquema de control una ganancia  $K$  en la salida del controlador (figura 4), calcular el margen de valores de  $K$  para que el sistema global en bucle cerrado sea estable. Nota: linealizar el controlador en el entorno  $[-1,1]$  para sus dos variables de entrada.

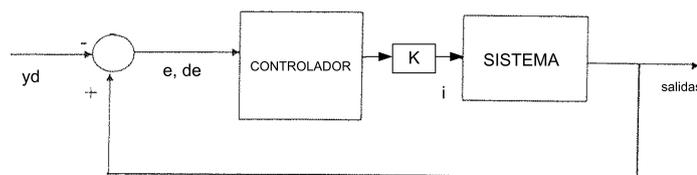


Figura 4