

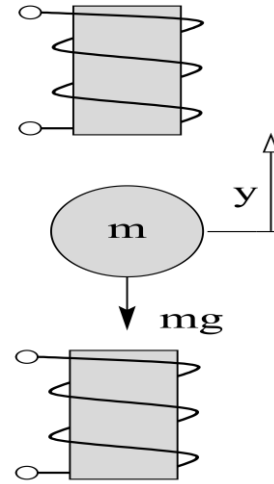
Control del Sistema Bolita–Electroimán

Dado el sistema de la figura con $y \in [-1,1]$, cuyas ecuaciones se detallan a continuación:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -mg + F_1 - F_2 \quad \frac{di}{dt} = -\frac{|i| \cdot i}{L/R} + \frac{u}{L}$$

$$F_1 = 0,5 \frac{(2+i)^2}{(1-y)^2} \quad R = 4; L = 1;$$

$$F_2 = 0,5 \frac{(2-i)^2}{(1+y)^2} \quad m = 0,2; g = 10$$



La bolita está sometida a las fuerzas contrapuestas que realizan dos electroimanes. Notar que el modelo es válido solamente para $y \in [-1,1]$.

Modelo

- Obtener un modelo en espacio de estados no lineal. Defina las variables de estado y la acción de control, siendo “y” la salida.
- Linealizar alrededor del equilibrio tal que $y = 0$.
- Desarrollar un modelo No Lineal.
- Realizar una simulación que muestre que la linealización aproxima bien el modelo no-lineal cerca del equilibrio. Observe con cuidado cómo poner la acción de control nominal.
- Analizar la estabilidad del sistema.

Control en Espacio de Estados

- Suponga que la posición “y” está inicialmente desviada del equilibrio, con $y = 0,3$ e $\dot{y} = 0,2$. Diseñe e implemente en el simulador, un control por realimentación de estados que estabilice el sistema a $y = 0$. La simulación requerida es sobre el sistema **no lineal**.
- Suponga nuevamente que la posición “y” está inicialmente desviada del equilibrio, con $y = 0,3$ e $\dot{y} = 0,2$. Diseñe e implemente en el simulador, un control por realimentación de estados con acción integral, que estabilice el sistema a $y = 0$. El controlador debe rechazar una fuerza de perturbación tipo escalón aplicada sobre la bolita. La simulación requerida es sobre el sistema **no lineal**.
- Diseñe e implemente en el simulador, un observador de estados que estime el valor de las variables de estado con un error de estimación que debe converger en 0,1 seg.. Probar el observador junto con los controles de los puntos e) y f).

- i) Implementar todos los controles en tiempo discreto reemplazando los integradores del controlador en Simulink por sus aproximaciones trapezoidales (aproximación de Tustin).
- j) Implementar el controlador de tiempo discreto en un pseudocódigo para Simulink compatible con implementación en Microcontrolador.

Diseño por Loop Shaping

- k) Diseñar un compensador que tenga acción integral para una respuesta con un sobrepico del 20% y con un tiempo de establecimiento $t_s = 1s$. El margen de fase debe ser de 60° o mejor. Fundamentar el diseño con diagramas de Bode, Nyquist y Root Locus. El controlador debe rechazar una fuerza de perturbación tipo escalón aplicada sobre la bolita.
- l) Suponer que la transferencia obtenida de la linealización se multiplica por

$$\frac{1-s\frac{T}{4}}{1+s\frac{T}{4}} \quad \text{Ecuación (A)}$$

lo cual representa en tiempo continuo, una aproximación del efecto que tiene la implementación digital de un controlador con un tiempo de muestreo de " T " segundos. Teniendo en cuenta las limitaciones de diseño impone la Ec.(A) elegir el " T " lo más grande posible que cumpla con los requerimientos de diseño con el controlador diseñado.

- m) Evaluar el margen de estabilidad s_m y comentar cómo se compara en relación a los márgenes de fase y ganancia.
- n) Pasar el controlador diseñado por Loop Shaping a tiempo discreto por el método de Tustin (transformada bilineal) usando el comando Matlab `c2d(SYS,T,'tustin')`. Simular el control diseñado por loop Shaping como controlador de tiempo discreto usando la función "`c2d`".
- o) Implementar el controlador de tiempo discreto en un pseudocódigo para Simulink compatible con implementación en Microcontrolador.