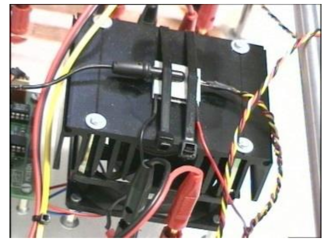
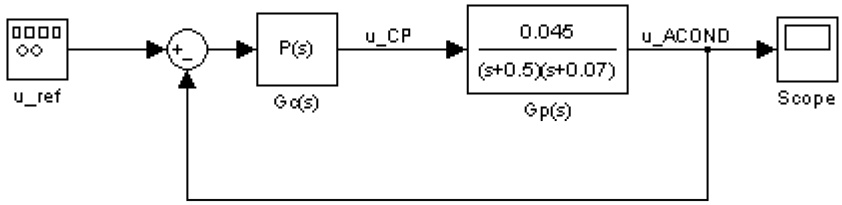
Problema 1 (60 minutos - 5 puntos)



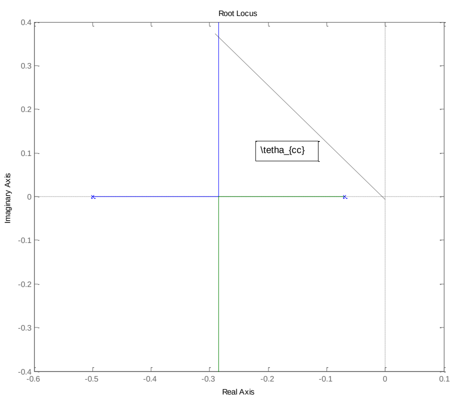
El control de temperatura de la planta Peltier de la asignatura es realizado mediante un sistema de realimentación unitaria. La planta Peltier es modelada mediante la siguiente función de transferencia

$$\frac{u_{ACOND}(s)}{u_{CP}(s)} = \frac{0.045}{(s+0.5)(s+0.07)}.$$

Se pide (cada apartado es independiente y vale un punto):



1. Determinar el valor de ganancia del regulador P para que el coeficiente de amortiguamiento de los polos dominantes de la cadena cerrada sea $\xi_{cc} = 0.6$.

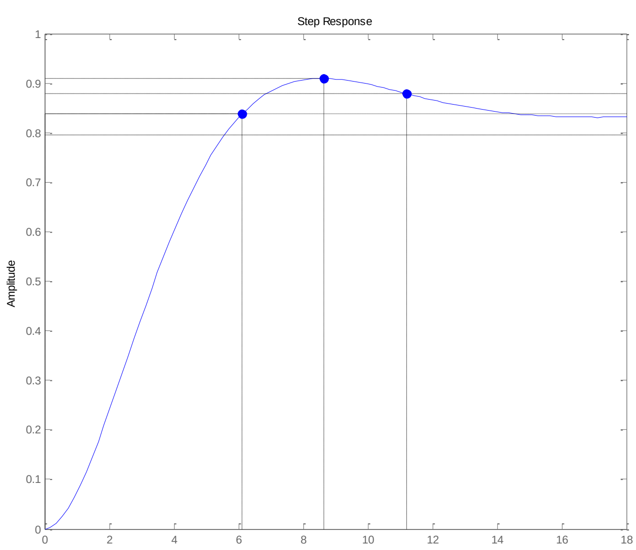


El ángulo de los polos dominantes es el arco coseno del factor de amortiguamiento, cuyo valor es 53.15º

Por el trazado del lugar de las raíces y siendo el ángulo de apertura de las raíces de 53º entonces los polos dominantes son -0.28±j0.38.

Aplicando la regla 10 del trazado directo, el vaor de ganancia es 4.23.

2. Respuesta temporal de la salida ante una entrada en escalón unitario, suponiendo que la ganancia del regulador P es 4. Indicar los valores del error del régimen permanente, tiempo de establecimiento, tiempo de pico, sobre-oscilación y tiempo de subida.



El error al escalón es del 16.27%

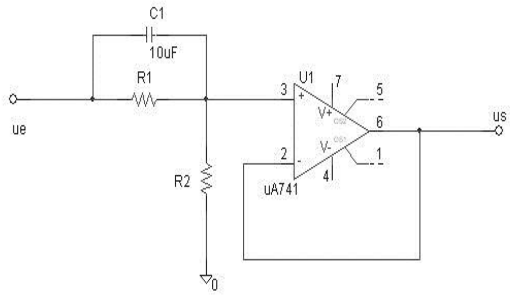
El tiempo de establecimiento es de 11 s.

El tiempo de pico de 8.6 s.

La sobreoscilación del 9 %.

El tiempo de subida de 6.1 s.

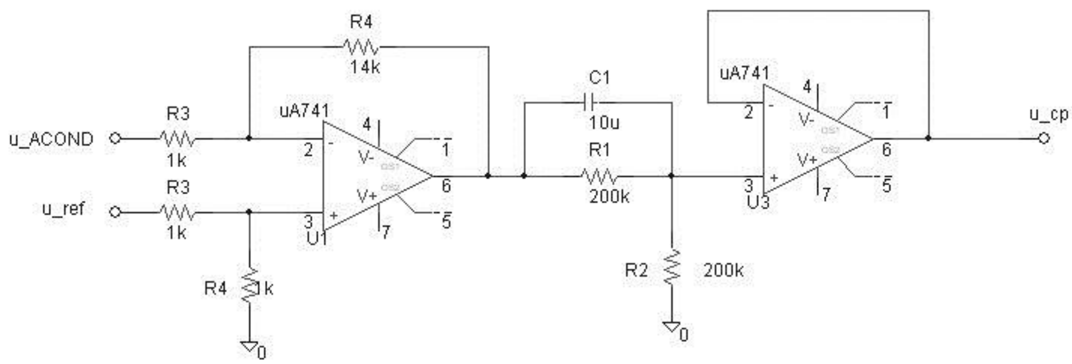
3. Se sustituye el regulador P por un PD. Calcular el valor de R1 y R2 sabiendo que C1 = 10μF y el cuadripolo eléctrico tiene que tener la siguiente función de transferencia $A_V(s) = 0.5\frac{1+s\cdot 2}{1+s}$



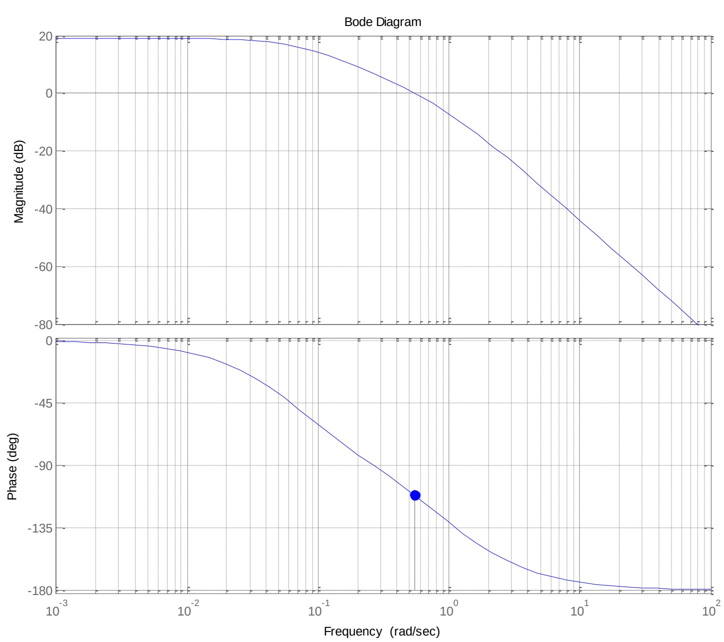
Se demuestra que la constante de tiempo C1 R1 es de 2 s, luego R1 es igual a 200kΩ.

La otra constante de tiempo es el paralelo de R1//R2 con C1 que tiene que ser de 1 s, por lo que R2 es también de 200 kΩ

4. Dibujar el circuito electrónico que implemente el amplificador de error y que en composición con el cuadripolo anterior defina la estructura de control sobre la maqueta Peltier atendiendo al siguiente diagrama de bloques.



5. Dibujar el diagrama de Bode de la cadena abierta del sistema de control del apartado anterior. Determinar aproximadamente el margen de fase, margen de ganancia y la respuesta temporal del sistema ante una entrada en escalón unitario.



El margen de fase es de alrededor de 60º, luego el factor de amortiguamiento de los polos dominantes será de 0.6.

Por el trazado del lugar de las raíces, la constante de amortiguamiento es de 0.5, por tanto el tiempo de establecimiento será de alrededor de 6 s. La red PD muestra que el sistema se hace más rápido, sin perder estabilidad respecto al regulador P. Nótese que la sobre-oscilación es similar.

Problema 2 (50 minutos - 5 puntos)

La figura muestra un accionamiento hidráulico utilizado para el **control del ángulo $\theta(t)$** del alerón de una aeronave. El accionamiento consiste básicamente en un amplificador y un acondicionador de potencia hidráulico controlado por una válvula piloto sobra la que **se actúa exteriormente modificando su desplazamiento x(t)**. La válvula piloto es una válvula equilibrada, en el sentido de que la presión de todas las fuerzas que actúan sobre ella está equilibrada. Se consideran condiciones de funcionamiento ideales. Se define:

Q(t) = caudal de aceite al cilindro de potencia
ΔP(t) = diferencia de presiones en el cilindro ($P_1 - P_2$)
x (t) = desplazamiento de la válvula piloto

- La diferencia de presiones ΔP(t) es una función del desplazamiento x(t) y del caudal Q(t). La relación entre las variables ΔP(t), Q(t) y está dada por la ecuación **no lineal**: $\Delta P(t) = \boldsymbol{f}(x(t), Q(t))$.
- La variación del caudal depende de la aceleración del vástago a(t):

  $$\mathrm{A}\,\rho\, a(\mathrm{t}) = \dot{Q}(\mathrm{t})$$

  donde A es el área del pistón y ρ es la densidad del aceite
- El balance de fuerzas en el pistón da:

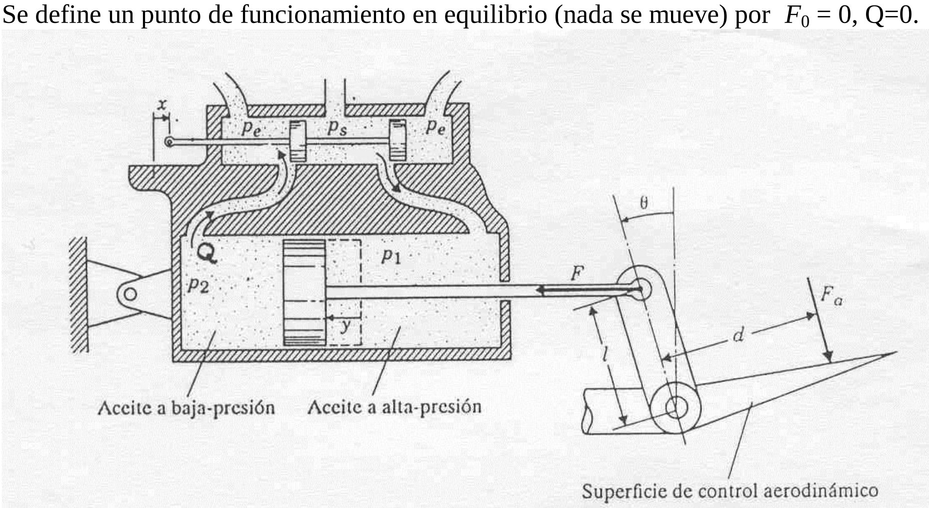
  $$\mathrm{A}\,\Delta P(\mathrm{t}) + F(\mathrm{t}) = \mathrm{m}\, a(\mathrm{t})$$

  donde m es la masa del pistón y del vástago y F(t) es la fuerza aplicada por el vástago del pistón al punto de fijación de la superficie de control.
- El balance de momento de la superficie de control da:

  $$\mathrm{I}\,\alpha(\mathrm{t}) = F(\mathrm{t})\mathrm{l} - F_a\,(\mathrm{t})\,\mathrm{d}$$

  donde I es el momento de inercia de la superficie de control y fijación alrededor de la articulación, F_a(t) es la carga aerodinámica aplicada (se considera una perturbación), l es la longitud del brazo de palanca, y α(t) es la aceleración angular del eje ($\alpha(\mathrm{t}) = \ddot{\theta}(\mathrm{t})$).
- Si el ángulo girado es pequeño, puede deducirse que: $a\,(\mathrm{t}) = \mathrm{l}\,\alpha\,(\mathrm{t})$

Se define un punto de funcionamiento en equilibrio (nada se mueve) por $F_0 = 0$, Q=0.



Se pide (1 punto por apartado):

1. Expresión en laplace de las ecuaciones linealizadas del sistema físico
2. Diagrama de bloques
3. Función de transferencia del sistema entre x(s) y θ(s)
4. Estudiar de qué depende la sobreoscilación del sistema ante entrada escalón
5. Se desea realizar el control desde una palanca de mando situada en la cabina del piloto con un desplazamiento lineal y conectada a un potenciómetro capaz de proporcionar una tensión proporcional al desplazamiento de la palanca. Diseñar el esquema de un sistema de control en bucle cerrado para el sistema completo. Para ello añadir los dispositivos físicos que se consideren necesarios y dibujar el diagrama de bloques resultante. Justificar cada uno de los razonamientos.

Datos: En el punto de equilibrio: $\mathrm{K}_1 = \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_0 > 0 \quad \mathrm{K}_2 = -\left.\frac{\partial f}{\partial Q}\right|_0 > 0$

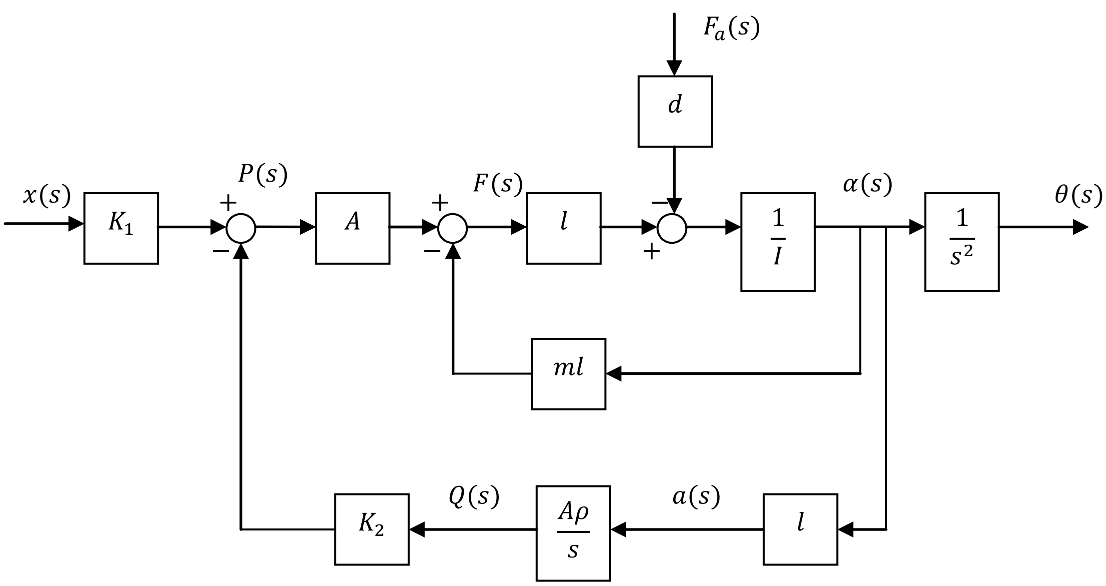
Solo hay una ecuación no lineal, en un punto de equilibrio con todas las variables a cero:

$$\Delta P(t) = f\big(x(t), Q(t)\big) \xrightarrow{linelizacion} \Delta P(t) = \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_o \Delta x(t) + \left.\frac{\partial f}{\partial Q}\right|_o \Delta Q(t) = K_1 \Delta x(t) - K_2 \Delta Q(t)$$

El resto son lineales y por tanto el paso a laplace es inmediato:

1. $\Delta P(t) = K_1 \Delta x(t) - K_2 \Delta Q(t) \xrightarrow{laplace} P(s) = K_1 x(s) - K_2 Q(s)$
2. $A\rho a(t) = \dot{Q}(t) \xrightarrow{laplace} A\rho a(s) = sQ(s)$
3. $A\Delta P(t) - F(t) = ma(t) \xrightarrow{laplace} AP(s) - F(s) = ma(s)$
4. $I\alpha(t) = lF(t) - dF_a(t) \xrightarrow{laplace} I\alpha(s) = lF(s) - dF_a(s)$
5. $a(t) = l\alpha(t) \xrightarrow{laplace} a(s) = l\alpha(s)$
6. $\ddot{\theta}(t) = \alpha(t) \xrightarrow{laplace} s^2\theta(s) = \alpha(s)$

2.- Para dibujar el diagrama de bloques existen distintas alternativas. La siguiente es una de las posibles, si pintamos partiendo de la salida $\theta(s)$:



3.- Para obtener la FDT, se reduce el diagrama de bloques considerando la perturbación nula. Resultan entonces dos realimentaciones negativas anidadas, que conllevan a:

$$\frac{\theta(s)}{x(s)} = K_1 \frac{Al}{s((I + l^2 m)s + Al^2 \rho K_2)}$$

4.- Dado que el sistema es un sistema de primer orden al que se le ha agregado un polo en el origen, su respuesta ante el escalón es la respuesta de un sistema de primer orden sin ceros ante una rampa. Por tanto no es oscilatorio ni pasará a serlo en cadena abierta. Si se cerrase la cadena, entonces si podía volverse oscilatorio.

5.- Será necesario controlar el movimiento de x(t) de forma que pida más acción de control en base a los errores observados en el alerón. Por tanto es necesario medir $\theta(s)$ y en base al error observado comparado con la referencia de mando (en las mismas unidades) atacar a un servocontrol de la válvula hidráulica.

Por la naturaleza del sistema, dado que hay un polo en el origen, no podemos agregar otro polo como consecuencia del accionamiento, por tanto para evitar inestabilidades, el sistema de control de la servoválvula conviene que sea en posición y no directamente un motor controlado en velocidad.