

### Problema 1

Para la traslación horizontal de una cámara de vídeo pan-tilt se ha utilizado una cinta transportadora. En el control se ha utilizado un motor de continua y una reductora. Se pide:

- 1) Diagrama de bloques del sistema
- 2) FDT entre la velocidad de desplazamiento del carro y la tensión en el motor.
- 3) Si se le aplica una tensión de 10V al motor, determinar la evolución de la velocidad del carro, tanto gráficamente como analíticamente (aplíquese equivalente reducido).
- 4) Con la señal recibida del anterior apartado, ¿Cuánto se habrá desplazado, aproximadamente, la cámara después de cinco segundos?

#### Datos:

Motor: Resistencia de armadura =  $7.94 \Omega$ , Inductancia equivalente del flujo disperso =  $1.54 \text{ mH}$ , Constante del par motor =  $39.3 \text{ mNm/A.}$ , Constante de la fuerza contraelectromotriz  $\Rightarrow 243 \text{ rpm/V}$ , Momento de inercia del rotor =  $26.6 \text{ gr cm}^2$

Tren de engranajes: relación de transmisión = 1:198

Cinta transportadora: Radio de las poleas =  $25 \text{ mm}$ , Peso de la cámara =  $1200 \text{ gr}$ . Rozamiento viscoso equivalente de las poleas =  $10^{-1} \text{ N.m.s/rad}$ .

(45 minutos)

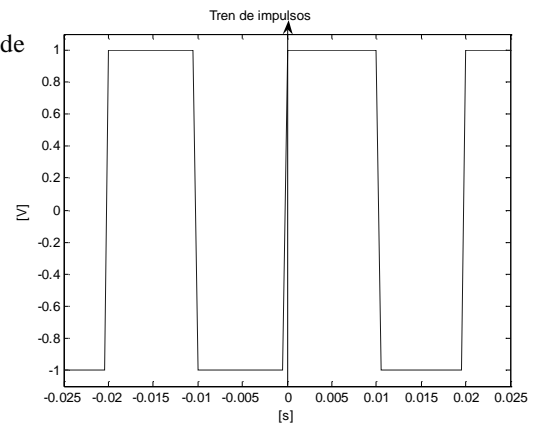
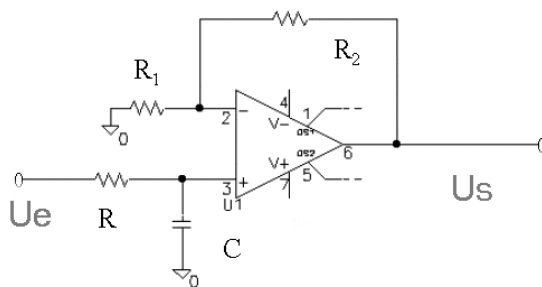


### Problema 2

En el circuito de la figura se considera que el amplificador operacional es ideal. Éste es atacado por el tren de impulsos indicado. Se pide:

1. Serie de Fourier de la señal de entrada.
2. Respuesta en frecuencia de la ganancia de tensión del circuito.
3. Diagrama de Bode y curva polar del apartado anterior.
4. Expresión analítica del armónico fundamental de la señal de salida.

Datos:  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 90 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 100 \text{ nF}$ ,  $R = \frac{10^5}{\pi} \Omega$



(40 minutos)

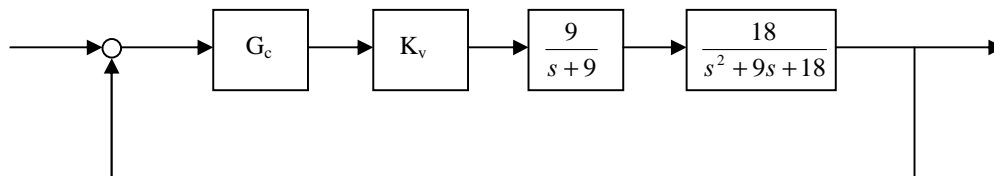


**Problema 3**

Un sistema de dirección activa está basado en un servomecanismo que permite:

- Girar las ruedas de un vehículo con un esfuerzo mucho menor.
- Variar la fuerza de asistencia en función de la velocidad (menos velocidad, mayor asistencia).
- Modificar la relación de desmultiplicación para facilitar las maniobras de aparcamiento (baja velocidad) y mejorar la sensibilidad del sistema de dirección en vías rápidas.

El modelo del sistema es el representado en la figura:



Para un punto de equilibrio en el que  $K_v = 1$ , se pide:

- Diseñar el regulador de forma que el tiempo de establecimiento sea inferior a 0.7 s y la sobreoscilación del conjunto no supere el 20%. Utilizar compensadores reales (red de adelanto o de retraso de fase). Si bien, el error no será condición de diseño, calcúlese el mismo ante entrada escalón, y en función del resultado, plantear una alternativa para solucionarlo si fuese necesario.

El control está implementado en un sistema microprocesador a bordo del vehículo. Dado que la unidad de cálculo del sistema realiza además de ésta, otras muchas tareas, la frecuencia de muestreo será de 75 Hz. Si en vez del regulador obtenido anteriormente se utiliza el siguiente:

$$G_c = 100(s + 6)$$

- Dibujar el diagrama de bloques e indíquese el cálculo del sistema discreto equivalente (obtener la función de transferencia en fracciones). Estudiar la validez del tiempo de muestreo utilizado si los polos de la cadena cerrada se sitúan en caso de utilizar un regulador continuo en los puntos  $-6 \pm 0.2i$  y  $-5.5$ .
- Obtener la función de transferencia en Z de dicho regulador mediante su discretización.

**(45 minutos)**

**Problema 4**

Se está diseñando en el departamento un robot para la limpieza semiautomática de fachadas. Para lo cual el robot dispone de tres módulos diferenciados y sincronizados por un sistema de control basado en PLC:

- Un módulo denominado *inmática* cuya función es la de mantener el robot adherido en todo momento a la fachada por medio de unas ventosas móviles.
- Un módulo denominado *carrier*, que situado en lo alto del edificio se encarga de realizar por medio de una góndola automática los desplazamientos del robot por la fachada.
- Un módulo de *limpieza*, que es un cabezal limpiador situado en un cilindro sin vástago de doble efecto que le permite desplazarse a lo largo de una línea horizontal.

Cada vez que el robot es movido hacia arriba o hacia abajo (señales  $Y+/Y-$  respectivamente) es necesario indicar al módulo *inmática* que se está produciendo un movimiento y su sentido mediante la activación de las señales  $P+$  para subir y  $P-$  para bajar. De esta forma las patitas con ventosas pueden “andar” por la fachada.

El cabezal de limpieza dispone de dos sensores de final de carrera ( $FC1$  y  $FC2$ ) que le permiten detectar si se ha alcanzado el final de recorrido hacia un lado o hacia otro. Las señales  $X+$  y  $X-$  activan según la figura el movimiento del cabezal. Además el módulo de limpieza dispone de una señal de activación del sistema limpiador ( $LIMP$ ).

El sistema funciona de la siguiente manera:

El operario sitúa el robot en la parte baja de la tira vertical de fachada que se va a limpiar. En esa situación, activa el sistema automático por la pulsación de un botón (AUT). El sistema entonces activa el sistema de limpieza y limpia la primera línea mediante el movimiento del cabezal. Cuando el cabezal de limpieza llega al final de su recorrido, el robot es movido hacia arriba durante 3 segundos. El robot se para y limpia la siguiente línea en sentido contrario. Este proceso se repite continuamente hasta que se alcanza la posición más alta de limpieza, la cual está determinada por la señal  $FC3$ . En

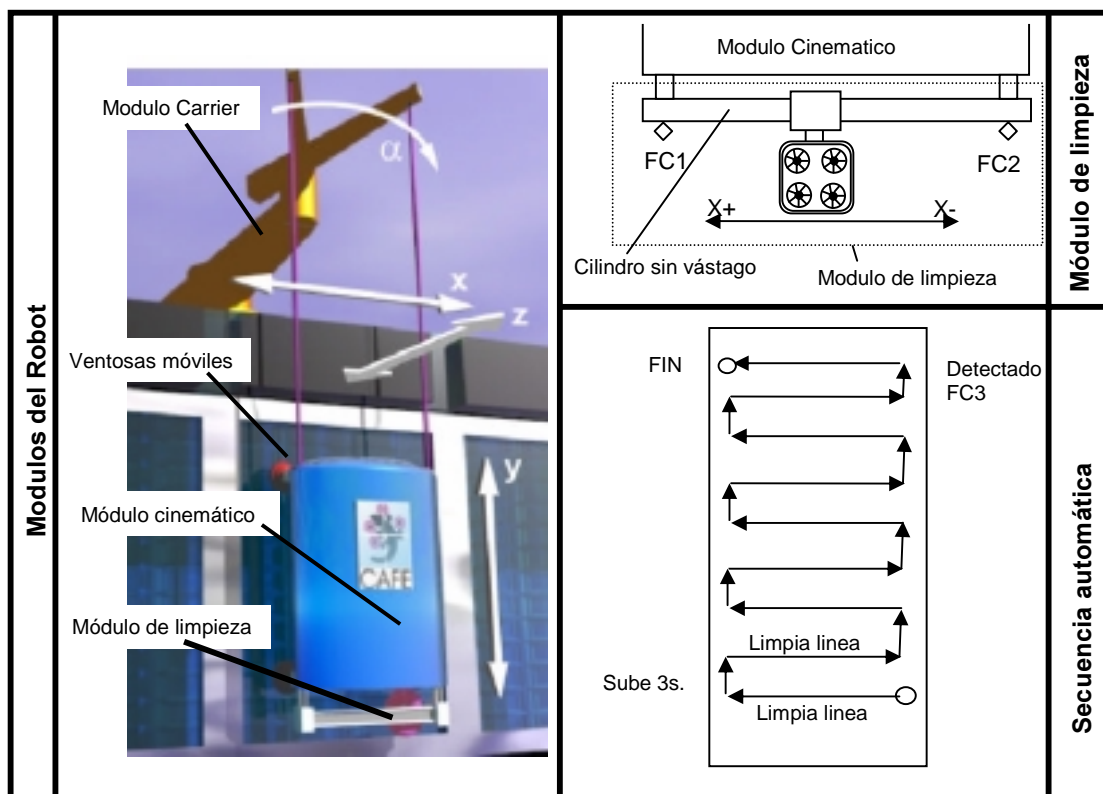


esta posición se realiza la limpieza de la última franja horizontal y el sistema queda a la espera de que vuelva a ser pulsado el botón de AUT, para limpiar otra tira vertical.

**Se pide:**

- 1.- Esquema neumático (accionamiento, válvulas de distribución y conexiones) del sistema que mueve el cabezal de limpieza.
- 2.- Graficet de nivel I del sistema automático.
- 3.- Mapeado de entradas y salidas si el sistema es implementado mediante un autómata de la serie 5 de Siemens.
- 4.- Código AWL de los estados más significativos (divergencias, convergencias, temporización, etc.)

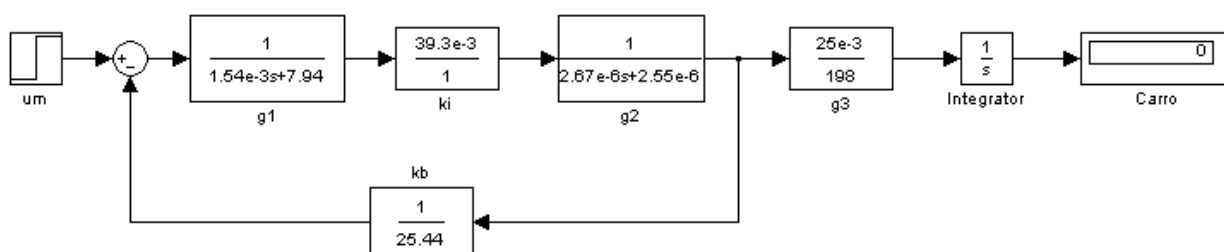
(60 minutos)



**Resolución**

**Primer problema**

1.



2. La FDT entre la velocidad de desplazamiento del carro con la tensión del motor es:

$$\frac{\dot{x}(s)}{u_m(s)} = \frac{4.96 \cdot 10^{-6}}{4.96 \cdot 10^{-9} \cdot s^2 + 2.11 \cdot 10^{-5} \cdot s + 1.56 \cdot 10^{-3}} = \frac{1211.33}{(s + 5082)(s + 75.17)}$$

3. El equivalente reducido queda:

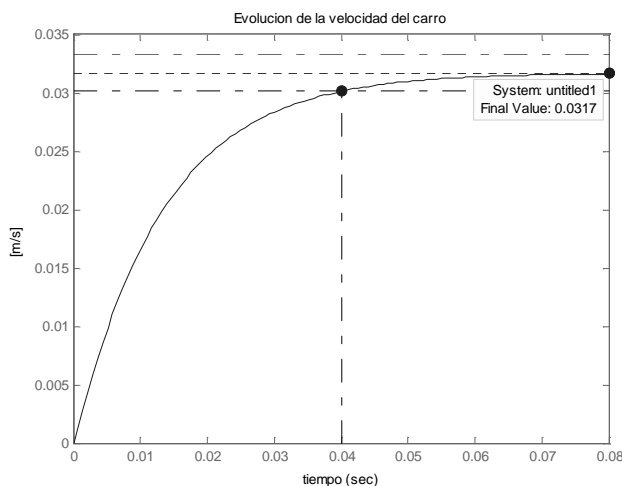


$$\frac{\dot{x}(s)}{u_m(s)} \approx \frac{0.238}{(s + 75.17)}$$

Ante una entrada de 10V, la velocidad de desplazamiento de carro sigue la expresión analítica de:

$$\dot{x}(t) = 0.0317(1 - e^{-75.17t})$$

Y la evolución de la velocidad del carro con el tiempo será:



4. Como se ve en la gráfica, la velocidad del carro alcanza el régimen permanente en 40 ms, por tanto, la velocidad es prácticamente constante y el espacio recorrido en 5 segundos será  $0.317[\text{m/s}] \times 5 [\text{s}] = 0.1585 [\text{m}]$ .

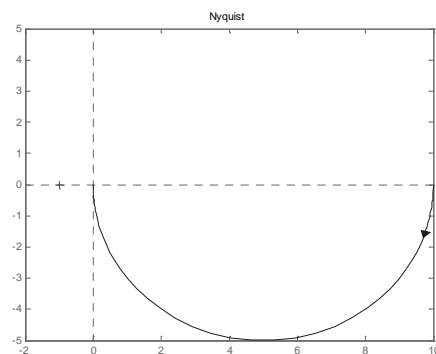
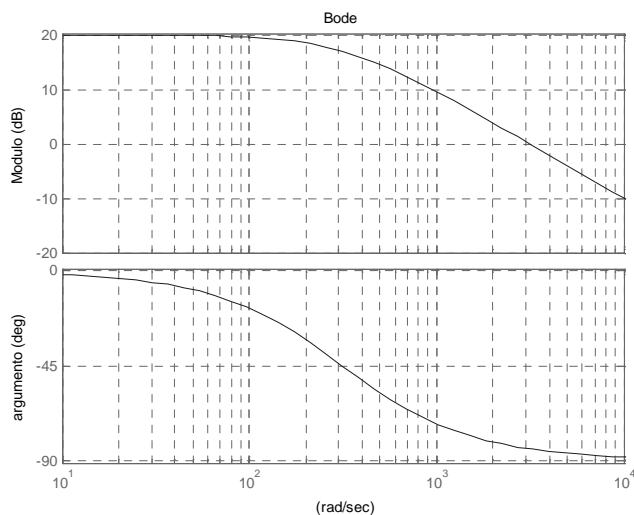
### Problema 2

1. La señal de entrada es una función impar y de nivel de continua cero:

$$u_e = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n \cdot 100\pi \cdot t) \quad b_n = \frac{2}{\pi \cdot n} [1 - \cos(n\pi)]$$

$$2. A_v(\omega) = \frac{10}{1 + j\omega \frac{10^{-2}}{\pi}}$$

3.



4. El primer armónico coincide con la frecuencia de corte del filtro paso bajo:

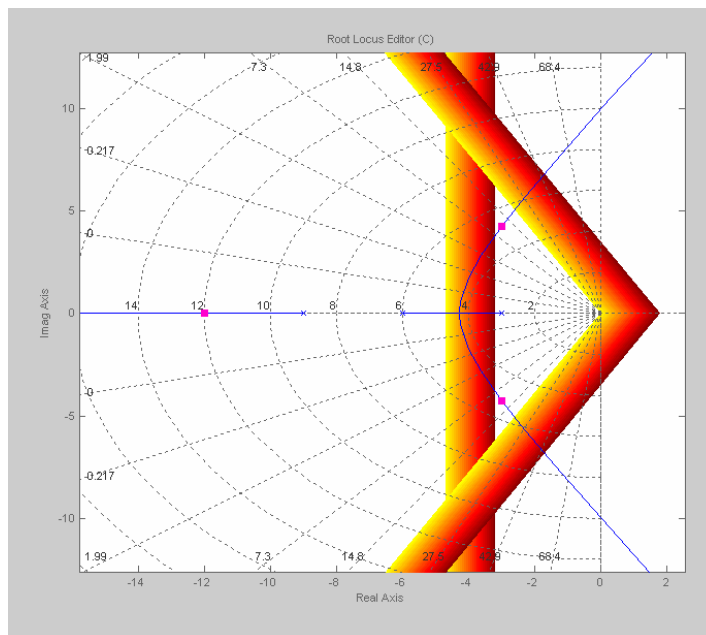
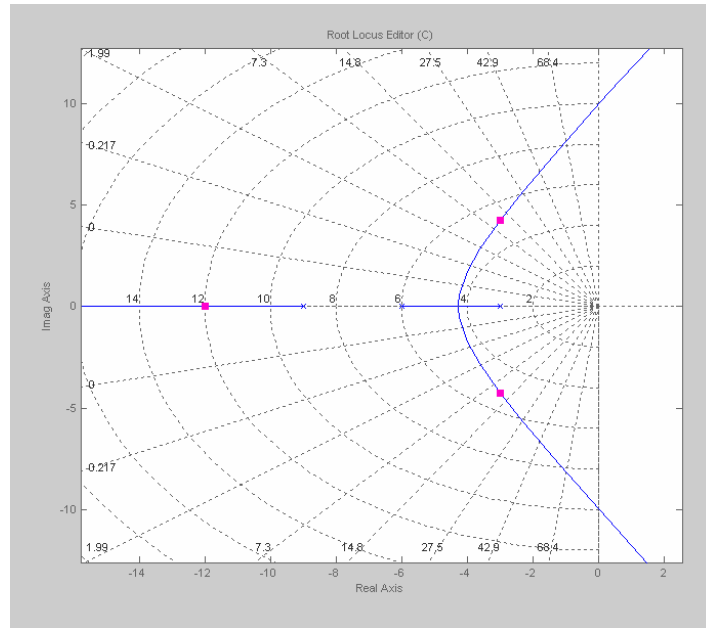


$$u_{s(1erArm)} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{10}{\sqrt{2}} \operatorname{sen}\left(100\pi \cdot t - \frac{\pi}{4}\right)$$

**Problema 3º**

1.

$$\begin{aligned} t_s &\leq 0.7s & \sigma &\geq 4.5 & \omega_d &= 8.78 \\ M_p &\leq 20\% & \theta &\leq 62.87^\circ & s_\Delta &= -4.5 \pm 8.78j \end{aligned}$$



El lugar de las raíces no contiene a los puntos objetivos, luego, no es suficiente el actuar únicamente sobre la acción proporcional. Ya que nos proponen utilizar redes reales y no nos imponen especificación sobre el error, lo adecuado es compensar con una red de adelanto de fase de la forma:

$$G_c = K \frac{(s+a)}{(s+b)} \text{ donde } b > a$$

$$G(s) = \frac{162}{(s+9)(s+6)(s+3)}$$

Situando el cero en la perpendicular tendremos:  $a = -4.5$

$$\alpha_{-3} = 90 + \arctg \frac{1.5}{8.78} = 99.7^\circ$$

$$\alpha_{-6} = \arctg \frac{8.78}{1.5} = 80.3^\circ$$

$$\alpha_{-9} = \arctg \frac{8.78}{4.5} = 62.86^\circ$$

$$\varphi_c = \alpha_{-3} + \alpha_{-6} + \alpha_{-9} - 180 = 62.86^\circ$$

$$\alpha_b = 90^\circ - 62.86^\circ = 27.14^\circ$$

$$-b = 4.5 + \frac{8.78}{\tan(27.14^\circ)} = 21.6$$

$$b \approx -22$$

$$d_{-3} = \sqrt{8.78^2 + 1.5^2} = 8.91$$

$$d_{-6} = \sqrt{8.78^2 + 1.5^2} = 8.91$$

$$d_{-9} = \sqrt{8.78^2 + 4.5^2} = 9.87$$

$$d_b = \sqrt{8.78^2 + 17.1^2} = 19.22$$

$$d_a = 8.78$$

$$K = \frac{d_{-3}d_{-6}d_{-9}d_b}{162d_a} \approx 11$$

Luego el regulador quedaría:  $G_c(s) = 11 \frac{s+4.5}{s+22}$

El error:  $k_p = 11 \frac{4.5}{22} = 2.25$   $e_p = \frac{1}{1+k_p} = \frac{1}{1+2.25} = 0.31 = 31\%$

El error es elevado y aunque no ha sido condición de diseño, para lograr disminuirlo hasta valores aceptables habría que implementar una red de retraso junto a la de adelanto, con lo que finalmente, el regulador a emplear debería incluir acción proporcional, integral y derivativa (PID).

2.

$$BG(z) = (1-z^{-1}) \sum_{\text{polos } \frac{G(s)}{s}} \text{Re} s \left( \frac{162}{s(s+3)(s+6)(s+9)} \frac{1}{1-e^{sT}z^{-1}} \right) \text{ con } T = \frac{1}{75} = 0.013$$

$$BG(z) = 5.98 \cdot 10^{-5} \frac{(z+3.52)(z+0.25)}{(z-0.96)(z-0.92)(z-0.89)}$$

Para  $s = -6 \pm 0.2j$ :



$$\min\left(\frac{t_s}{20}, \frac{2\pi}{10\omega_d}\right) = 0.0262$$

$$f_m = \frac{1}{0.0262} \approx 38 \text{ Hz}$$

Para  $s = -5.5$ :

$$f_m = \frac{20}{0.54} \approx 37 \text{ Hz}$$

Luego la frecuencia de muestreo empleada es válida (75Hz).

3.

$$G(s) = 100(s + 6)$$

$$G(z) = G(s) \Big|_{s = \frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1}} = 100 \left( \frac{2}{0.013} \frac{z-1}{z+1} + 6 \right) \approx 16000 \frac{z-0.925}{z+1}$$

