

PROCESO SELECTIVO PARA INGRESO, POR EL SISTEMA GENERAL DE ACCESO LIBRE, EN LA ESCALA DE CIENTÍFICOS SUPERIORES DE LA DEFENSA, CONVOCADA POR RESOLUCIÓN 400/38449/2021, de 16 de diciembre, DE LA SUBSECRETARÍA DEL MINISTERIO DE DEFENSA (B.O.E. de 29 de diciembre de 2021).

OPCIÓN 2 – SEGUNDO EJERCICIO (Total 40 puntos)

Área de especialización:

SISTEMAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL ÁMBITO DE LA DEFENSA

La ESA en su empeño de realizar una futura misión a Europa en busca de vida extraterrestre ha contratado al INTA el desarrollo de un **sistema de cartografía 3D** de la superficie del mencionado satélite.

Tal sistema de cartografía irá embarcado en un satélite que orbitará alrededor de Europa realizando un escaneado transversal a la órbita. La velocidad de consigna de escaneo se fija por un operador desde la Tierra. El sistema de cartografía utilizará un **dispositivo de captación tridimensional** que genera una nube de puntos 3D de la superficie que capta. Este dispositivo irá **servocontrolado en un grado de libertad** y tanto el **control del sistema** total como el **procesado de imagen** se realizará a bordo del satélite.

Para implementar este sistema se pide:

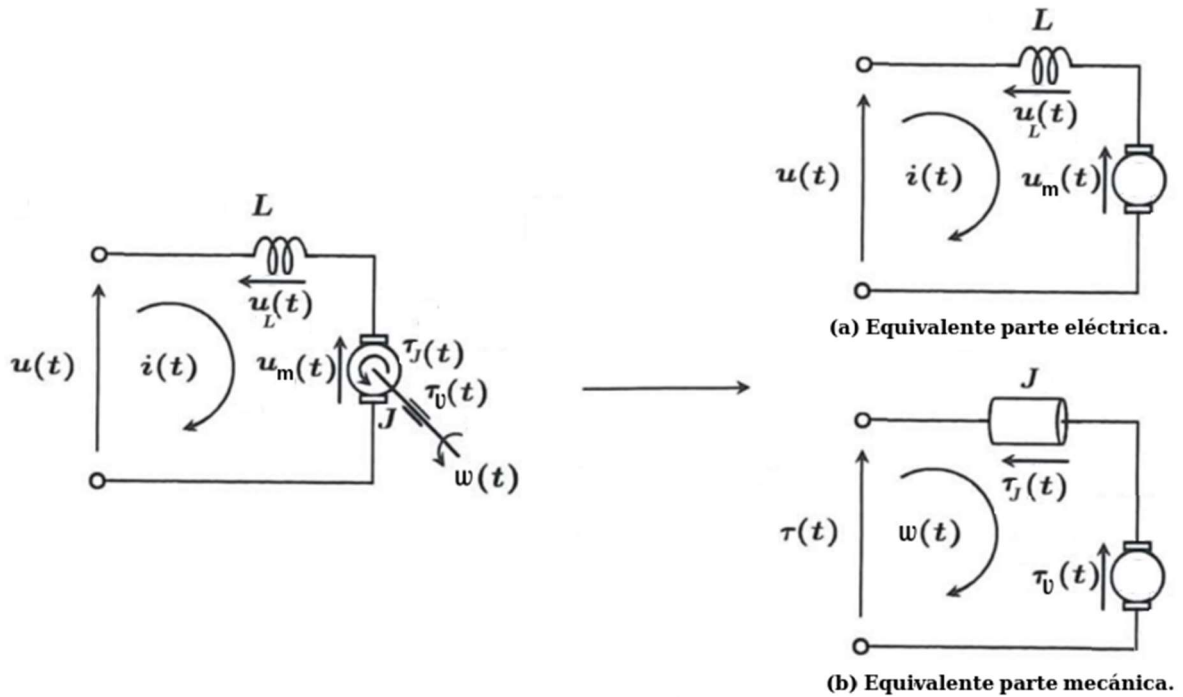
- 1) Suponiendo que el movimiento de escaneo implica idealmente un movimiento angular constante del actuador:
 - a. Defina mediante un diagrama de bloques la arquitectura del sistema propuesto con los diferentes elementos que compondrían el sistema de cartografía 3D (únicamente) y explique brevemente la función de cada elemento. **[2 puntos]**
 - b. Se va a implementar el actuador de un grado de libertad rotacional mediante un motor eléctrico cuyo modelo es el mostrado en la figura. Tal modelo se puede descomponer en dos circuitos equivalentes a la parte eléctrica y mecánica. Siendo u voltaje de entrada al motor, i intensidad por el rotor, L inductancia del rotor, u_m voltaje inducido o fuerza contraelectromotriz, τ el par electromagnético, ω velocidad angular del motor, J inercia conjunta motor más carga, τ_J el par de inercia del motor y τ_v el par de fricción.

Asumiendo que el par electromagnético es proporcional a la intensidad del rotor con razón k_τ , la fuerza contraelectromotriz es proporcional a la velocidad angular del motor con razón k_f y el par de fricción es proporcional a la velocidad angular del motor con razón B , obtenga el modelo físico del sistema mediante

una ecuación diferencial que exprese la tensión de entrada al motor en función de la velocidad angular y sus derivadas. **[4 puntos]**

Notas: Ecuación de la bobina $u_L = L \cdot di/dt$ y de Euler $\tau_J = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$.

Sugerencia: El sumatorio de tensiones (circuito equivalente eléctrico) debe ser cero así como el sumatorio de pares (circuito equivalente mecánico).



c. Para analizar la respuesta temporal del modelo del apartado 1b, obtenga la función de transferencia (FDT) $G(s)$ entre la velocidad angular del motor (salida) y la tensión en el motor (entrada) en el plano complejo s para aplicar técnicas de control lineal clásico. Asuma que las condiciones iniciales de todas las variables son cero. **[2 puntos]**

2) Un requisito impuesto por la ESA es que no haya oscilaciones de velocidad en el escaneo. Para ello en INTA se establece que el modelo propuesto en el apartado 1 deberá tener una respuesta temporal de velocidad angular monótonamente creciente en régimen transitorio y constante en régimen estacionario ante una entrada escalón unitario de la tensión del motor.

a. Suponiendo que la FDT del modelo obtenido en el apartado 1c es de segundo orden, explique qué condiciones deberían cumplir los parámetros de frecuencia natural no amortiguada y el factor de amortiguamiento relativo para tener tal respuesta. **[3 puntos]**

b. Explique qué condiciones deberían de cumplir los parámetros de frecuencia natural no amortiguada y factor de amortiguamiento para no solo cumplir con la respuesta temporal sino además entrar en el régimen estacionario lo más rápido posible. **[3 puntos]**

- c. Teniendo en cuenta los valores obtenidos en el apartado anterior (2b) calcule la expresión en función de los parámetros físicos del modelo del apartado 1 para cumplir lo indicado en 2b. Comente como afecta el rozamiento del motor a la respuesta temporal. **[2 puntos]**
- 3) La ESA marca como requisito que la velocidad consigna de escaneo en régimen permanente debe ser seguida por el servomecanismo de cartografía 3D con un error inferior al n%. Para cumplir este requisito, se necesita definir un esquema de control para el actuador del apartado 1. El actuador está formado por un motor CC sin escobillas, un manejador de potencia controlado por tensión y un tacómetro para medir la velocidad del motor, todos de la empresa *Maxon Motors*. Tras identificar el sistema se ha obtenido la FDT G(s) conjunta de los elementos citados y se tiene que es análoga en orden a la del apartado 1c:

Asumiendo que la consigna de velocidad angular es proporcional a la tensión dada al motor con coeficiente unidad, se pide:

- a. En primera aproximación se propone un sistema en lazo cerrado con realimentación unitaria de la velocidad angular del motor proporcionada por el tacómetro. Dibuje el diagrama de bloques del sistema de control propuesto. Para este sistema, calcule el error de seguimiento en régimen estacionario ante entrada escalón unitario. **[2 puntos]**
- b. El ingenio lazo de control anterior se quiere mejorar incluyendo un controlador proporcional. Dibuje el diagrama de bloques del sistema de control en lazo cerrado, calcule la FDT del sistema resultante y comente como se puede mejorar el seguimiento de la velocidad respecto al caso 3a. **[2 punto]**
- c. La respuesta del apartado anterior 3b no es suficiente y se quieren aumentar las prestaciones del sistema de rapidez de respuesta y precisión de seguimiento. Para ello proponga y justifique que mejoras introduciría en el sistema de control y dibuje el diagrama de bloques propuesto. **[4 puntos]**
- 4) Las medidas realizadas sobre el sistema real indican que el tacómetro es ruidoso y esto provoca oscilaciones indeseadas de velocidad. Para paliar tal contratiempo se pretende usar un filtro para obtener una medida más limpia. Tras las pruebas realizadas con filtros convencionales en frecuencia no se ha mejorado sustancialmente la medida. Por tanto se va a cambiar de paradigma en el análisis del sistema utilizando ahora métodos en el **espacio de estado** y así usar filtros probabilistas.
- Se pide:
- a. Describa brevemente en qué consiste la forma canónica del modelo de un sistema dinámico lineal expresado en el espacio de estado y explique cómo transformaría un sistema lineal dinámico de segundo orden a forma de espacio de estados (por ejemplo como el del apartado 1b siendo la entrada la tensión al motor y la salida la velocidad angular del motor). **[2 puntos]**
- b. Bajo este nuevo paradigma se quiere asegurar que el sistema puede ser manejado de tal forma que se pueda pasar desde un estado cualquiera del

sistema X_1 en el tiempo T_1 a cualquier estado X_2 en un tiempo T_2 con $T_2 > T_1$. Justifique que técnicas emplearía para asegurar tal condición del sistema. **[3 puntos]**

- c. En el planteamiento inicial del modelo se hizo la simplificación de computar el par resistente debido al dispositivo de mapeo 3D aumentando adecuadamente el momento de inercia del motor (J). Las medidas realizadas sobre el sistema real muestran discrepancias con este modelo y tras investigar la causa se ha averiguado que existe una relación **no lineal** entre el par resistente producido por el dispositivo y la velocidad angular del motor. Explique como analizaría este sistema no lineal asumiendo que existe un punto nominal de funcionamiento (\vec{x}_n, \vec{u}_n) conocido y que las desviaciones reales (\vec{x}, \vec{u}) del sistema respecto a este punto serán pequeñas. **[3 puntos]**

- 5) INTA ha propuesto a ESA introducir una capacidad no requerida al sistema que les parece interesante. Durante el proceso de escaneo se va a procesar el mapa 3d en tiempo real para buscar sobre él posibles reservas de agua y poder así hacer un escaneado más detallado en caso de encontrarlas. Para ello la imagen 3d se proyecta sobre un plano obteniendo imágenes en color de la superficie de Europa. Asumiendo que se conocen las características que deberían tener estas reservas y que se va a emplear una estructura de red neuronal para resolver la detección de la imagen se pide:
- Proponga y justifique el tipo de red neuronal a utilizar. **[2 puntos]**
 - Explique cómo realizaría el **proceso de aprendizaje** de la red para realizar tal tarea. **[4 puntos]**
 - Para el caso propuesto, elija justificadamente entre utilizar redes con capas pre-entrenadas o entrenar la red completamente. **[2 puntos]**

Nótese que en este ejercicio se evaluará el razonamiento empleado en la **aplicación de los conocimientos** del temario de “Sistemas de inteligencia artificial en el ámbito de la defensa” enumerados a continuación, para auditoría interna.

Conocimientos aplicables del temario:

Tema 8. Control no lineal de sistemas continuos. Comparación con el control clásico. Ruido continuo.

Tema 9. Control clásico de sistemas continuos. Comportamiento dinámico de sistemas continuos. Modelización de sistemas. Simplificaciones habituales. Transformada de Laplace.

Tema 10. Control PID de sistemas continuos: metodologías de ajuste y variantes prácticas.

Tema 12. Respuesta Temporal de sistemas continuos. Sistemas de Primer y segundo orden. Transformada de Fourier, definición, aplicación y propiedades. Propiedades de las funciones generalizadas de interés.

Tema 14. Tipos de variables de estado. Matriz fundamental. Controlabilidad y observabilidad de sistemas continuos.

Tema 15. Control en el espacio de estados de sistemas continuos: Asignación de polos. Sus ventajas e inconvenientes. Formula de Ackerman.

Tema 16. Regulador Óptimo y Servo-mecanismo en el control del espacio de estados. Dualidad Observador-Regulador. Estrategias de control de sistemas continuos.

Tema 48. Inteligencia Artificial. Técnicas de Machine Learning en la identificación de sistemas y en análisis de datos.

Tema 49. Aplicaciones de la visión artificial.

Tema 50. Técnicas de procesamiento y segmentación de imágenes de visión artificial.

Tema 51. Técnicas de reconocimiento de patrones en la imagen.