|  |  |
| --- | --- |
| **Asignatura:** Sistemas embebidos de control automático | **Nivel:** 7mo |
| **TEMA:** Control de un robot móvil diferencial. Modelado de caja banca | **Componente practico Nº** 4 |
| Práctica de laboratorio | **Número de horas asignadas:** 2 |
| 1. **INTRODUCCIÓN:**   Dentro de la ingeniería de sistemas, un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados. Existen dos clases comunes de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. En los sistemas de control de lazo abierto la salida no interviene en la acción de control; mientras que en los de lazo cerrado si se va a requerir conocer la salida para ejercer el control del sistema. Un sistema de lazo cerrado es llamado también sistema de control con realimentación. | |
| 1. **OBJETIVO** **GENERAL:**  |  |  | | --- | --- | | * 1. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS** | **Nivel\*** | | Diseñar el sistema de control de robot móvil diferencial. | A | | Validar el funcionamiento del controlador mediante las pruebas MIL, SIL, PIL, y HIL | M |   \*Alto(A), Medio (M), Bajo (B) | |
| 1. **DEFINICIONES:**   **Las pruebas que debe pasar el controlador son: MIL** (model in the loop)**.** Consiste en verificar el funcionamiento del controlador en el dominio de la simulación. El modelo de la planta debe considerar toda la dinámica del sistema. **SIL** (software in the loop). La validación se del sistema se realiza en el computador en donde se diseño el controlador, pero la función de transferencia del controlador es cambiada por el código (C/C++). **PIL** (processor in the loop). EL código del controlador se ejecuta en el computador embebido y el modelo de la planta en el computador en donde se diseño el sistema de control. HIL (hardware in the loop). Se conecta la planta real al computador embebido y se verifica el funcionamiento del controlador en tiempo real. En el computador se monitorea la dinámica del sistema. | |
| 1. **Prerrequisitos:**   Circuitos I, Modelado de sistemas dinámicos**,** Ingeniería de Control. | |
| 1. **Preguntas previas:**  * Describa el proceso de comunicación entre el modelo de la planta en Simulink y el código del controlado en Arduino. * Describa la cinemática del robot móvil diferencial | |
| 1. **MÉTODO/PROCEDIMIENTO**     **Figura 1**. Robot móvil  La primera etapa del de diseño del sistema de control es el modelado de la planta. En el caso del robot de la figura 1, será el modelado de un motor DC de 9V de alimentación. Cuando se escribe el modelo matemático del motor, y **todos sus parámetros son conocidos, se obtiene el modelo de caja blanca** de la dinámica del motor DC de la figura 2.  El sistema de actuación consta de un corpus, motor DC, y un tren de engranajes que representan el sistema de reducción.   |  | | --- | | b  a | | **Figura 2**. Sistema de actuación del robot móvil. a) Motor DC, b) Sistema de reducción. |   El movimiento rotacional del motor se puede analizar de dos maneras:  Mediante la segunda ley de Newton   |  |  | | --- | --- | |  | (1) |   En donde momento de inercia del rotor en conjunto con la carga, – velocidad angular del rotor, – suma de los torques que ejercen acción sobre el eje del motor, denominado también *torque total*.  Mediante la ecuación de Lagrange. Para obtener el modelo del movimiento del rotor es necesario escribir el lagrangiano -U, y desarrollar la ecuación de Lagrange (2).   |  |  | | --- | --- | |  | (2) |   – posición angular del eje del rotor, – energía potencial en el rotor, – energía cinética de rotación.  ***Indicaciones****:* En esta etapa del diseño usted deberá desarrollar la ecuación (2). Escribir las expresiones de la energía cinética *T* y potencial *U*, así como también las derivadas parciales. Completar la tabla con los resultados obtenidos.  **Tabla 1**. Componentes de la ecuación de Lagrange   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **N** | **Término** | **Notación** | **Respuesta** | | 1 | Energía potencial | *U* |  | | 2 | Energía cinética | *T* |  | | 3 | Langrangiano | *L* |  | | 4 | Derivada parcial con respecto a la velocidad |  |  | | 5 | Derivada parcial con respecto a la posición |  |  | | 6 | Desarrollo de la ecuación de Lagrange | (2) |  |   ***Observación*:** Al finalizar el desarrollo de la ecuación (2) usted deberá obtener como resultado la ecuación (1).  La expresión del torque total puede ser escrita mediante la ecuación (3)   |  |  | | --- | --- | |  | (3) |   En esta expresión es el torque que genera el motor debido a sus procesos electrodinámicos, y es el torque generado por fuerzas externas al motor, como por ejemplo la fuerza de rozamiento. Al inicio del análisis se considera que el motor esta sin carga y que la fuerza de rozamiento es nula, por lo tanto   |  |  | | --- | --- | |  | (4) |   Por lo tanto, la ecuación (1) puede ser escrita de la siguiente forma:   |  |  | | --- | --- | |  | (5) |   El torque eléctrico es directamente proporcional a la fuerza electromotriz (*fem*) que actúa sobre circuito del motor .   |  |  | | --- | --- | |  | (6) |   – constante de proporcionalidad.  En el momento inicial el torque total es igual al torque de arranque (stall torque)   |  |  | | --- | --- | |  | (7) |   – fuerza electromotriz de la fuente de energía. Al momento del arranque solo esta fuerza actuará sobre el circuito del motor.  Debido al movimiento del rotor, en sus bobinas se genera una fuerza electromotriz de inducción contraria a , y en magnitud es directamente proporcional a la velocidad angular.   |  |  | | --- | --- | |  | (8) |   – constante de proporcionalidad.  En consideración de (7) y (8) la *fem* que circula por el circuito del motor será igual a:   |  |  | | --- | --- | |  | (9) |   Reemplazando (8) y (9) en (6), el torque eléctrico se determinará como una función de la velocidad   |  |  | | --- | --- | |  | (10) |   Es importante notar que cuando , , y es posible determinar el valor de la constante mediante la siguiente expresión.   |  |  | | --- | --- | |  | (11) |   ***Indicaciones*:** Usted deberá determinar el valor de la constante utilizando los valores de la tabla 2 y la ecuación (11).  **Tabla 2**. Nominales del motor DC   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **Voltaje de alimentación**  **(Voltage supply)**  **V** | **Velocidad sin carga**  **(No load speed).**  **RPM** | **Corriente sin carga. (No load current)**  **mA** | **Torque de arranque**  **(stall torque)**  **N.cm** | **Corriente de arranque (stall current)**  **A** | **Momento de inercia del rotor**  **J** | | 9 | 170 | 60 | 50 | 2 | 0.0023 |   **\*\*Todas las relaciones físicas son válidas si las unidades están en el SI\*\***  Una vez realizado el cálculo grife la curva mecánica del motor. Para ello genere en Matlab un vector en el intervalo , calcule el torque eléctrico de la ecuación (10). La gráfica resultante debe coincidir con la figura 3.   |  | | --- | | Gráfico, Gráfico de líneas  Descripción generada automáticamente | | **Figura 3**. Curva mecánica del motor. |   Si consideramos la ecuación 3, entonces es posible escribir la ecuación (10) como una ecuación diferencial que describe la variación de la velocidad angular del rotor con respecto al tiempo   |  |  | | --- | --- | |  | (12) |   ***Indicaciones***. Resuelva la ecuación (12) (diferencial) con respecto a .  Una vez obtenida la solución usted deberá realizar la gráfica de la solución en el programa Matlab.  Para finalizar la caracterización del motor DC, es necesario determinar la constante de tiempo y la ganancia del motor.  Si se considera que se alcanza cuando el voltaje es , entonces la ganancia del sistema se determina mediante la expresión  De esta manera queda definida la función de transferencia del motor DC.  **Indicaciones**. En el programa Simulink grafique la reacción del sistema al step (9V). Guarde el archivo con nombre motorDC\_MCB\_nombre\_apellido.slx  El motor DC es un sistema electromecánico y el movimiento rotacional se produce cuando se alimenta las bobinas del estator. A continuación, se muestra el circuito armadura para la obtención de los parámetros eléctricos del modelo.   |  | | --- | | Gráfico  Descripción generada automáticamente | | **Figura 4**. Modelo del circuito eléctrico del motor DC |   ***Indicaciones:*** Escribir la ley del Ohm para el circuito de la figura 4.  Ley de Ohm \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Considerando la ecuación (1), (8) y la ley de Ohm del circuito eléctrico de armadura, el modelo matemático del motor se pude escribir de la siguiente forma:   |  |  | | --- | --- | |  | (13) |   La relación entre el sistema eléctrico y el sistema mecánico está dada por las siguientes ecuaciones electromecánicas   |  |  | | --- | --- | |  | (14) |   En donde y son las constantes mecánica y eléctrica del motor DC.  Reemplazando la expresión 14 en la ecuación (13) se obtiene la ecuación de la dinámica del motor (15).   |  |  | | --- | --- | |  | (15) |   Para realizar la simulación del funcionamiento del motor es necesario determinar los parámetros del modelo matemático del motor de la figura 2.  El parámetro puede ser determinado de la expresión (14) con la condición de que en los valores nominales y  Para el motor DC se considera que  Al momento del arranque , entonces . Al inicio del movimiento la corriente en el inductor es igual a 0, por lo tanto . Mediante esta expresión se determina el valor de la resistencia  (B9)  La inductancia fue determinada de manera experimental.  ***Indicaciones:*** una vez determinados los parámetros del motor ingrese los parámetros , , , , y en Matlab. En el programa Simulink, en el archivo motorDC\_MCB\_nombre\_apellido.slx, arme un modelo que responda a la ecuación 15, aplique una entrada step (9v), y verifique que los resultados coincidan con los de la función de transferencia | |
| 1. **EQUIPOS Y MATERIALES:** .  * Fuente de 5v o 2 baterías de litio de 3.7V * Plataforma móvil con 2 motores DC * Puente H * Matlab/Simulink. * Tarjeta Arduino para la implementación del controlador embebido. | |
| 1. **CONDICIONES DE SEGURIDAD:**   Obligatoriamente tener la guía de práctica antes de conectar los materiales. Usar herramientas con mango aislado para evitar contactos mal deseados. Conocimientos previos sobre la práctica. Observar minuciosamente las conexiones y configuraciones de los circuitos propuestos. | |
| 1. **CUESTIONARIO DE INVESTIGACIÓN:**  * ¿La dinámica del robot se reduce al análisis de la dinámica de los motores? Justifique. * Cuál debe ser el sample\_time en la tarjeta Arduino para obtener los mismos resultados que en la prueba MIL * Describa el Jacobiano del robot móvil diferencial | |
| **10. RESULTADOS DE APRENDIZAJE**   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **Resultados de aprendizaje de la carrera** | **Resultados de aprendizaje de la asignatura** | **Resultados de aprendizaje de la práctica** | **Nivel del aprendizaje de la práctica** | | Diseñar procesos y sistemas automáticos de manufactura, aplicando distintas herramientas de modelado y simulación buscando su eficiencia y eficacia. | Proponer alternativas aplicables al proyecto mecatrónico, según especificaciones y restricciones presentadas por el cliente (costo, tiempo, energías disponibles, espacio y demás consideradas) | Comparar diferentes estrategias de control | **M** | | Crear sistemas mecatrónicos autónomos, capaces de adquirir, procesar y actuar de acuerdo a estímulos externos cumpliendo los requerimientos de un producto o servicio. | Transformar problemas en objetivos de diseño para dar respuesta a la solución de problemas o situaciones concretas. | Verificar el funcionamiento del controlador | **A** |   \*Alto(A), Medio (M), Bajo (B) | |
| **11.- BIBLIOGRAFÍA:**   1. Petkov, P. H. (2018). Design of Embedded Robust Control Systems Using Matlab / Simulink (1ra ed.). Editorial The Institution of Engineering and Technology. 2. Cheng. S. C. (2019). Embedded mechatronics System Design for Uncertain Environments (1ra ed.). Editorial The Institution of Engineering and Technology. 3. Reyes, F. (2015). Arduino Aplicaciones en Robótica Mecatrónica e Ingenierías. (1ra ed.). Editorial Alfaomega. | |
| **12. RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO**   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **ASPECTOS A EVALUAR** | **Valor** | **100%** | **75%** | **50%** | **25%** | **0%** | | **Preparación previa a la actividad de Componente práctico experimental** | 2.5 | El estudiante o el grupo:  Responde eficientemente a las preguntas realizadas sobre el desarrollo del componente práctico.  Tiene el material indispensable para la realización de las actividades (descarga de algún software, conseguir materiales necesarios para la actividad, etc.). | El estudiante o el grupo:  responde eficientemente a las preguntas realizadas sobre el desarrollo del componente práctico.    Tiene parte del material indispensable para la realización de las actividades (no se ha descargado el software, no se ha conseguido todo el material necesario para la actividad, etc.). | El estudiante o el grupo:  Responde parcialmente las preguntas realizadas sobre el desarrollo del componente práctico.  Tiene parte del material indispensable para la realización de las actividades. (no se ha descargado el software, no se ha conseguido todo el material necesario para la actividad, etc.). | El estudiante o el grupo  responde parcialmente las preguntas y no ha conseguido el material indispensable para realizar las actividades | El estudiante o el grupo no responde las preguntas realizadas sobre el desarrollo del componente práctico.  No tiene el material para realizar las actividades | | **Desempeño del alumno en base a conocimientos demostrados** | 2.5 | El estudiante o el grupo:  realiza perfectamente las actividades.  Tiene seguridad en su desempeño.  Realiza los cálculos de manera adecuada  Demuestra su conocimiento para completar las actividades propuestas. | Realizan tres de los cuatro ítems | Realizan dos de los cuatro ítems | Realizan uno de los cuatro ítems | Los estudiantes no responden las preguntas que se realizan, no prenden la cámara o comparten pantalla por lo tanto no se evidencia que están trabajando en clase. | | **Resultados obtenidos de la práctica** | 2.5 | El equipo presenta:  La información en la hoja de resultados.  Todos los elementos requeridos  Los cálculos bien realizados  Los resultados obtenidos con las unidades correspondientes. | El equipo presenta tres de los cuatro ítems | El equipo presenta dos de los cuatro ítems | El equipo presenta uno de los cuatro ítems | El equipo envía la hoja de resultados fuera de tiempo | | **Comportamiento del equipo durante la práctica** | 2.5 | El equipo presenta:  Perfecto orden durante el desarrollo de las actividades.  Respeto hacia sus profesores y hacia sus compañeros.  Cuidado en el uso de herramienta, utensilios y materiales de trabajo.  Acata las instrucciones del profesor y de los reglamentos internos del entorno de aprendizaje | El equipo presenta tres de los cuatro ítems | El equipo presenta dos de los cuatro ítems | El equipo presenta uno de los cuatro ítems | El estudiante no asiste a la práctica | | |