

| Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo | | | |
|---|---------------------------|--------------------|-----------------|
| P1- PROGRAMA DE ASIGNATURA | | | |
| Asignatura: | CONTROL Y SISTEMAS | | |
| Profesor Titular: | Dr. Ing. Rodrigo Gonzalez | | |
| Carrera: | Ingeniería en Mecatrónica | | |
| Año: 2020 | Semestre: 9 | Horas Semestre: 60 | Horas Semana: 4 |

OBJETIVOS

- Comprender la función que tiene cada etapa dentro de un sistema de procesamiento digital de una señal analógica y saber lidiar con los errores que surgen por su digitalización.
- Entender las limitaciones que surgen de la representación de números reales en una computadora.
- Diseñar y validar el modelo matemático de un sistema mecatrónico integrado a nivel simulación, reconociendo las distintas partes que lo componen y las limitaciones del modelo.
- Diseñar un sistema de control discreto a nivel simulación para un sistema mecatrónico. Demostrar que el sistema en su totalidad es robusto frente a ruido y perturbaciones.

CONTENIDOS

UNIDAD 1: REPRESENTACIÓN DISCRETA DE SISTEMAS MECATRONICOS

1.A. Transformada Z

Definición. Transformadas bilateral y unilateral. Sistemas causales y no causales. Región de convergencia y estabilidad. Transformada Z de funciones elementales. Propiedades. Resolución de ecuaciones en diferencias con coeficientes constantes usando transformada Z.

1.B. Representación finita de números reales en punto fijo

Números enteros y punto fijo. Notación Q. Rango y precisión. Conversión de punto flotante a punto fijo y viceversa. Escala de representación. Rango dinámico. Suma complemento a 2. Overflow. Saturación. Acumulador, bits de guarda. Multiplicación complemento a 2. Underflow. Esquemas de redondeo, truncación y round-off. Desplazamientos lógico y aritmético.

1.C. Representación finita de números reales en punto flotante

Punto flotante. Estándar IEEE 754-2008. Representación normalizada y denormalizada. Números especiales. Esquemas de redondeo. Rango dinámico. Precisión. Limitaciones del formato.

UNIDAD 2: PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

2.A. Etapas esenciales de un sistema DSP

Filtro antialiasing. Técnica de oversampling. Conversión A/D. Error de cuantización. Relación señal-ruido de un conversor A/D y su relación con la cantidad de bits. Conversión D/A. Filtro de reconstrucción. Técnicas de upsampling, pre-equalización y post-equalización.

2.B. Filtros tipo FIR

Clasificación de filtros discretos. Filtrado en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia. Filtros FIR. Filtro Moving Average. Filtros FIR basados en ventanas. Diseño de

filtros FIR con MATLAB. Estructuras de filtros FIR. Implementación de filtros FIR en lenguaje C.

2.C. Filtros tipo IIR

Filtro IIR en el dominio del tiempo: Leaky Integrator. Filtros IIR en el dominio de la frecuencia. Aproximación ZOH (Zero Order Hold). Aproximación bilineal o de Tustin. Deformación de la respuesta frecuencia y fase (warping). Técnica de prewarping. Diseño de filtros IIR con MATLAB. Estructuras de filtros IIR, Direct form I y II. Filtros IIR de segundo orden en cascada. Implementación de filtros IIR en lenguaje C.

UNIDAD 3: MODELADO MATEMÁTICO DE SISTEMAS MECATRONICOS

3.A. Diseño de sistemas mecatrónicos basado en modelos

Introducción. Requerimientos del sistema. Etapas de diseño e integración. Modelado de la planta. Conceptos de hardware-in-the-loop, software-in-the-loop y model-in-the-loop. Modelado de sistemas físicos. Metodología para el modelado en espacio de estados. Verificación y validación del modelo.

3.B. Modelo matemático de sistemas eléctricos y mecánicos

Sistemas eléctricos y mecánicos, repaso de conceptos. Circuitos eléctricos, amplificadores operacionales. Modelado de sensores típicos en sistemas mecatrónicos. Sistema masa-resorte. Sistemas mecánicos de cuerpo rígido. Implementación de los modelos en SimScape.

3.C. Modelo matemático de sistemas hidráulicos y neumáticos

Sistemas hidráulicos nivelados. Resistencia y capacidad. Presión hidráulica, unidades típicas. Sistemas hidráulicos nivelados con interacción. Ventajas y desventajas de los sistemas hidráulicos. Servo hidráulico. Controlador integral. Resistencia y capacidad. Sistemas presurizados. Controladores neumáticos con acciones proporcionales, derivativas e integrales. Válvulas actuadoras. Comparación entre sistemas neumáticos e hidráulicos. Implementación de los modelos en SimScape.

UNIDAD 4: CONTROL DE SISTEMAS MECATRONICOS INTEGRADOS

4.A. Controladores PID avanzados

Determinación experimental de la función de transferencia. Reglas de Ziegler–Nichols para el ajuste de controladores PID. Diseño de controladores PID para respuesta en frecuencia. Control con 2 grados de libertad (2DoF). Controladores PI-D e I-PD. Ubicación de ceros para mejorar la respuesta del sistema.

4.B. Control óptimo cuadrático

Repaso de control en espacio de estados y del concepto de controlabilidad. Incertidumbres en los parámetros de la planta. Ruido y perturbaciones. Acción integral. Regulador lineal cuadrático (LQR).

4.C. Filtro de Kalman

Repaso del concepto de observabilidad. Cálculo de la ganancia del observador. Estimación de estados, control. Observador proporcional-integral, ajustes por LQR y estimador de mínima energía (MEE). Filtro de Kalman discreto. Definición de las matrices de covarianza Q, R y P. Ejemplos de aplicación.

UNIDAD 5: PROYECTO MECATRÓNICO

5.A. Modelado de un sistema mecatrónico

Propuesta por parte del alumno de un anteproyecto de un sistema mecatrónico. Modelado matemático de las partes que lo integran. Implementación del modelo de la planta en MATLAB/Simulink/SimScape. Validación del modelo.

5.B. Control de un sistema mecatrónico

Elección de un controlador. Diseño del sistema de control. Validación del sistema de control en MATLAB/Simulink/SimScape. Análisis de controlabilidad y observabilidad del sistema. Análisis de robustez del sistema al ruido y perturbaciones.

METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Las clases teóricas son dictadas con el apoyo de transparencias con exposición por parte del docente. Esta metodología permite fomentar a los alumnos para que formulen preguntas y comentarios, y de esta forma se introduzcan en el pensamiento lógico y razonen sobre el tema que se está tratando.

En las clases prácticas se utilizará el entorno de modelado y simulación MATLAB/Simulink/SimScape y codificación en lenguaje C para la resolución en clase de los problemas propuestos. La intención es que el alumno aprenda a manejar estas herramientas para el diseño de proyectos mecatrónicos de mayor complejidad, y realice las prácticas en clases, al menos parcialmente, con la ayuda del docente.

| Actividad | Carga horaria por semestre |
|---|-----------------------------------|
| Teoría y resolución de ejercicios simples | 25 |
| Formación práctica | |
| Formación Experimental - Laboratorio | 15 |
| Resolución de problemas de ingeniería | 10 |
| Proyecto y diseño | 10 |
| | |
| Total | 60 |

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía básica

| Autor | Título | Editorial | Año | Ejemplares en biblioteca |
|------------------------------------|--|----------------------------|------|--------------------------|
| Ogata, K. | Ingeniería de Control Moderno, 5ta Ed. | Prentice Hall | 2010 | |
| Karl J. Åström y Richard M. Murray | Feedback Systems, v3,0i | Princeton University Press | 2018 | |
| Oppenheim, A. and Schafer, R. | Procesamiento discreto de señales | Prentice Hall | 1999 | |
| Kuchen, B. y Carelli, R. | Control Digital Discreto | UNSJ | 1996 | |

Bibliografía complementaria

| Autor | Título | Editorial | Año | Ejemplares en biblioteca |
|-------------------|--|---------------|------|--------------------------|
| Palm III, William | System Dynamics, 3rd Ed. | Mc Graw Hill | 2014 | |
| Lyons, Richard G | Understanding Digital Signal Processing, 2nd Ed. | Prentice Hall | 2004 | |

EVALUACIONES (S/ Ord. 108-10_CS)

Regularización

Para regularizar la materia se debe:

1. Tener el 75% de asistencia.
2. Participar en clase del 75% de las actividades prácticas.
3. Aprobar los 2 parciales o sus respectivos recuperatorios, con una nota igual o mayor a 6 (seis). Parciales y recuperatorios evalúan contenidos tanto de la teoría como de la práctica.
4. Presentar un anteproyecto de carácter individual antes de la finalización del cursado.

Las fechas fijadas para la toma de los 2 parciales son el 21 de abril de 2020 y el 2 de junio de 2020. Los respectivos recuperatorios se tomarán la semana posterior siguiente a cada parcial, si fuera necesario.

Anteproyecto

El anteproyecto se define durante el dictado de la Unidad 5. El mismo debe especificar:

1. Título del proyecto final.
2. Objetivos que se pretenden alcanzar.
3. Breve descripción del proyecto a desarrollar con al menos la siguiente información:
 - a) Descripción de la planta a controlar.
 - b) Identificación de las variables de entrada y salida del sistema.
 - c) Tipo de control a implementar.
 - d) Herramientas de simulación que se usarán.

Proyecto final

Luego de regularizar la materia, el alumno continúa con el desarrollo del proyecto final hasta su finalización, estando el docente disponible para consultas durante las horas designadas para tal fin.

El proyecto final debe tener las siguientes características:

1. Se debe modelar y controlar un sistema mecatrónico a nivel simulación de mediana complejidad.
2. El alumno debe tratar de solucionar un problema real.



3. El control del sistema debe ser discreto. Se pueden utilizar controladores PID o en espacio de estados.
4. Se debe incluir el modelado de un sensor ruidoso a la salida del sistema. Se debe usar un filtro anti-aliasing y proponer un filtrado adicional con el objetivo de mitigar el ruido.
5. Se debe demostrar una correcta respuesta del sistema completo ante la presencia de ruido y perturbaciones.
6. El uso de precisión punto fijo para la implementación del controlador discreto y los algoritmos de DSP se considera un plus.
7. Se debe redactar un informe del proyecto final desarrollado. Para ello, se provee de una guía para la redacción de reportes técnicos escrita por el Prof. Titular de la cátedra.

Es obligatorio que el alumno entregue por e-mail al Prof. Titular de la cátedra una copia digital del informe del proyecto final al menos 72 horas hábiles antes de presentarse a la mesa.

Aprobación

Para aprobar la materia, se contemplan dos casos:

- En el caso de un **alumno regular**, se debe haber enviado el informe final del proyecto previamente, según se indica en la sección anterior. Adicionalmente, el alumno debe exponer y defender el proyecto final en forma oral exitosamente durante la mesa de examen. Se evalúan el dominio de conceptos y el grado de competencias teórico-prácticas alcanzadas. La aprobación se alcanza con una nota igual o mayor a 6 (seis), que corresponde al 60% respecto de la competencia alcanzada por parte del alumno en los tópicos tratados por la materia.
- En el caso de un **alumno libre**, además de las exigencias para un alumno regular, se debe rendir en la mesa un examen escrito teórico-práctico antes de la presentación del proyecto. El mismo puede ser oral o escrito. Aprobado este examen, se procede a la defensa del proyecto final.