

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo			
P1- PROGRAMA DE ASIGNATURA			
Asignatura:	Automática y Máquinas Eléctricas		
Profesor Titular:	Ing. Gabriel Luis Julián		
Carrera:	Ingeniería en Mecatrónica		
Año: 2016	Semestre: 8°	Horas Semestre: 60	Horas Semana: 4

OBJETIVOS

Automática y Máquinas Eléctricas es una asignatura multidisciplinaria que tiene por objeto el estudio de la teoría y práctica del *control automático* de sistemas dinámicos físicos con aplicación específica a los *accionamientos electromecánicos*, incluyendo su modelado, análisis y diseño de controladores, fundamentalmente desde el enfoque del espacio de estado, en el dominio del tiempo.

Para ello, como **objetivos** específicos se busca que los alumnos alcancen los siguientes logros:

- Introducirse en el control de los sistemas dinámicos lineales, de tiempo continuo y tiempo discreto, utilizando la representación por variables de estado.
- Analizar y simular el comportamiento de sistemas de conversión de energía eléctrica-mecánica y sus lazos de regulación.

CONTENIDOS

UNIDAD 1: INTRODUCCIÓN: CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA-MECÁNICA Y CONTROL AUTOMÁTICO

Objetivo: Presentar el panorama general de aplicaciones, tecnologías y principios básicos involucrados en el control automático de accionamientos electromecánicos.

- A. **Introducción** y motivación. Control automático electrónico de máquinas eléctricas: concepto y esquema general, componentes. **Aplicaciones** mecatrónicas: control de movimientos y eficiencia energética (robótica y máquinas-herramienta, manipulación y movimiento de materiales, transporte y vehículos eléctricos, generación de energía, bombas y ventiladores, fabricación industrial, productos de consumo masivo, etc.).
- B. **Fundamentos** y revisión de conceptos básicos: **Accionamientos eléctricos** (tipos de cargas mecánicas; máquinas eléctricas y convertidores electrónicos de potencia: tipos, principios, dispositivos). **Control Automático** (tipos: lazo abierto o cerrado, analógico o digital; objetivos de control y especificación de requisitos: estabilidad, desempeño: seguimiento de comandos, rechazo de perturbaciones, robustez; acciones básicas PID). **Control de Accionamientos eléctricos CC/CA** (velocidad, torque).
- C. Proceso de **Conversión de Energía:** eléctrica-eléctrica (convertidores electrónicos) y eléctrica-mecánica (máquinas eléctricas). Circuitos magnéticos y eléctricos acoplados. Cargas mecánicas.

UNIDAD 2: MODELADO Y ANÁLISIS EN EL ESPACIO DE ESTADO DE SISTEMAS DINÁMICOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

Objetivo: Plantear modelos dinámicos lineales de distintos sistemas físicos eléctricos y mecánicos, y analizar su comportamiento y propiedades, desde el enfoque del espacio de estado.

- A. **Sistemas dinámicos** físicos: concepto de estado interno, orden del sistema; entradas y salidas: sistemas SISO vs. MIMO o multivariantes (MV). Modelado y representación mediante **Variables de Estado**: ecuación de estado; diagramas de bloques de estado. Espacio de estado, trayectorias. Sistemas Lineales vs. No Lineales. Linealización en Puntos de Operación. Espacio de Operación. Modelos lineales con parámetros variables (LPV).
- B. **Modelos lineales invariantes (LTI)**: propiedades. Solución de la ecuación de estado. Autovalores, polos y ceros. Función de transferencia a partir del modelo de estado. Modelos para sistemas interconectados en serie, paralelo y realimentados. Modelos de 1°, 2°, 3° orden, orden superior: ejemplos y **aplicaciones** a subsistemas eléctricos y mecánicos en accionamientos.
- C. Sistemas LTI, modelos en Tiempo Continuo vs. Tiempo Discreto. Efectos de retardos. **Discretización** de sistemas continuos. Sistemas de datos muestreados. Efectos del cambio del período de muestreo.
- D. **Respuesta Dinámica** natural y forzada, resonancia. Simulación numérica. Análisis en el espacio de estado. **Estabilidad** de sistemas desde el enfoque del espacio de estado. Conceptos, criterios.
- E. Selección de estados y transformación de estado (cambio de base), realizaciones, propiedades. **Formas o realizaciones canónicas**: diagonal, controlable, observable.
- F. **Controlabilidad y Observabilidad**. Conceptos, criterios: Gilbert, Kalman. Subsistemas Controlable y Observable.

UNIDAD 3: CONTROL EN EL ESPACIO DE ESTADO DE SISTEMAS DINÁMICOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

Objetivo: Especificar, analizar y diseñar controladores lineales realimentados para sistemas eléctricos y mecánicos, desde el enfoque del espacio de estado.

- A. **Objetivos de Control y Especificaciones** de desempeño: estabilidad, seguimiento de consignas, rechazo de perturbaciones, robustez. Acciones básicas de control. Control en el Espacio de Estado.
- B. **Realimentación de Estado**. Conceptos básicos. Ubicación o asignación de polos de lazo cerrado. Selección de polos: criterios y esfuerzo de control asociado.
- C. Estimación y **Observadores** asintóticos de Estado (completo vs. orden reducido). Conceptos. Diseño.
- D. **Diseño** de sistemas de control en el espacio de Estado. **Control óptimo cuadrático**. Control **digital**: conceptos de diseño continuo y emulación discreta vs. diseño digital directo. Implementación y simulación.
- E. **Aplicaciones** al control y regulación de subsistemas eléctricos y mecánicos en accionamientos.

UNIDAD 4: CONTROL DE ACCIONAMIENTOS DE CORRIENTE CONTINUA (CC)

Objetivo: Estudiar los componentes, la dinámica y esquemas de control utilizados en accionamientos electromecánicos de CC, para distintas aplicaciones.

- A. **Máquinas** de corriente continua (con escobillas): excitación separada o con imanes permanentes (IP) vs. excitación serie o paralelo; principio de operación (conmutador mecánico). **Modelado** en régimen permanente estacionario y modelado dinámico en el espacio de estado, medición/estimación de parámetros.
- B. **Accionamientos de CC** de velocidad variable alimentado por rectificador controlado (CA/CC) o troceador (CC/CC), técnicas de conmutación por fase/PWM. Operación en 1, 2 vs. 4 cuadrantes (motorización y regeneración o frenado eléctrico, sentidos directo e inverso). Modelo “macroscópico” o promediado para control.
- C. **Control a lazo abierto:** por tensión de armadura y/o excitación, concepto. Modos de operación (torque constante, potencia constante/debilitamiento de flujo). Respuesta dinámica a lazo abierto, simulación y análisis.
- D. **Control a lazo cerrado o realimentado:** control de movimiento (velocidad/posición), análisis y diseño; control de corriente/torque. Simulación dinámica. Observadores de estado. Realimentación de estado. Estrategias de Control. Control de movimientos: control en cascada vs. enfoque de estado. Evaluación de desempeño.
- E. **Aplicaciones:** Ciclos de trabajo. Dimensionamiento y consideraciones de diseño.

UNIDAD 5: CONTROL DE ACCIONAMIENTOS DE CORRIENTE ALTERNA (CA)

Objetivo: Estudiar los componentes, la dinámica y esquemas de control utilizados en accionamientos electromecánicos de CA trifásicos, tanto sincrónicos como de inducción, para distintas aplicaciones.

- A. **Máquinas** de corriente alterna (trifásicas): **sincrónicas** (IP/excitación separada) vs. **asincrónicas** o de inducción, principios de operación (campo magnético rotante). **Modelado** en régimen permanente estacionario y modelado dinámico en el espacio de estado, medición/estimación de parámetros.
- B. **Accionamientos de CA** de frecuencia/velocidad variable alimentado por inversor (CC/CA) con fuente de tensión constante, técnicas de conmutación PWM. Operación en 1, 2 vs 4 cuadrantes (motorización y regeneración o frenado eléctrico, sentidos directo e inverso). Modelo “macroscópico” o promediado para control.
- C. **Simulación a lazo abierto.** Control de velocidad por frecuencia y tensión variable, principio. Control de Movimiento (velocidad/posición), análisis y diseño.
- D. Estrategias de **Control escalar:** V/Hz, resbalamiento constante, flujo constante. Simulación dinámica (lazo abierto vs. lazo cerrado de velocidad). Evaluación de desempeño.
- E. **Control Vectorial** con orientación de flujo, principios y comparación con CC. Método directo vs. indirecto. Control de corriente/torque, fuente de corriente. Estimación de flujo y resistencia rotórica (máquina de inducción). Modos de operación (torque constante, potencia constante/debilitamiento de flujo). Observadores de estado, prescindencia del sensor de velocidad (“sensorless” control). Control directo de Torque (DTC), principios, estrategias, comparación. Evaluación de desempeño.
- F. **Aplicaciones:** Ciclos de trabajo. Dimensionamiento y consideraciones de diseño.

METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Clases presenciales teórico-prácticas (4 hs./semana) con la siguiente modalidad:

- Presentación y desarrollo de conceptos y teoría con uso de recursos informáticos, explicaciones en pizarrón y material bibliográfico, según convenga.
- Planteo de ejemplos y aplicación en accionamientos electromecánicos y subsistemas. Resolución de ejercicios simples con participación activa de los alumnos.
- Prácticas guiadas de modelado y simulación numérica (Matlab/Simulink) de sistemas eléctricos y mecánicos, simples y acoplados. Análisis de su comportamiento dinámico natural y controlado; diseño y sintonía de controladores, evaluación de desempeño.
- Prácticas de laboratorio, en función del equipamiento didáctico disponible.

Atención de Consultas (1h./semana) para aclarar dudas y reforzar temas de la asignatura.

Tareas complementarias obligatorias de los alumnos fuera del horario de clases:

- Estudio y ejercitación práctica, lectura de bibliografía y manuales actualizados.
- Proyecto Global Integrador: modelado, simulación y diseño de un sistema de control de accionamiento eléctrico en una aplicación mecatrónica especificada. Desarrollo y presentación de Informe técnico, y demostración mediante simulación y coloquio final.

Material de apoyo y recursos didácticos: proyector multimedia con pantalla, aula de prácticas con software de aplicación para simulación; laboratorio de automática y control de accionamientos.

Actividad	Carga horaria por semestre
Teoría y resolución de ejercicios simples	35
Formación práctica	
Formación Experimental – Laboratorio	10
Formación Experimental - Trabajo de campo	0
Resolución de problemas de ingeniería	15
Proyecto y diseño	0
Total	60

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía básica

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
Ogata, K.	Ingeniería de Control Moderna , 5° Ed.	Prentice-Hall	2010	2
Franklin, G. Powell, Emami-Naeini, A.	Feedback Control of Dynamic Systems , 7° Ed.	Pearson	2015	-
Krishnan, R.	Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control	Prentice-Hall	2001	-
Weidauer, J. and Messer R.	Electrical Drives: Principles, Planning, Applications, Solutions.	Publicis (Wiley VCH)	2014	-

Bibliografía complementaria

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
Domínguez, S. et al.	Control en el Espacio de Estado, 2° Ed.	Prentice-Hall	2006	-
Ponce Cruz, P. y Sampé López, J	Máquinas Eléctricas y Técnicas Modernas de Control	Alfaomega	2008	2
Siemens, ABB, SEW, Schneider Electric, etc.	Manuales y catálogos técnicos de Máquinas Eléctricas y Accionamientos Industriales Comerciales.			
Varios	Artículos técnicos seleccionados de publicaciones especializadas.	IEEE, etc.		

PROCESO DE EVALUACIÓN Y CONDICIONES DE APROBACIÓN (s/ Ord. CS 108/10)

La aprobación de la asignatura se obtiene cumpliendo un proceso de **evaluación continua** que consta de los siguientes pasos y requisitos progresivos:

1. **Inscripción** formal en condición de **alumno regular**, teniendo cumplido el régimen de correlatividades anteriores estipulado para esta Asignatura según Resol. CD N° 029/16.
2. **Asistencia** participativa a clases presenciales teórico-prácticas (75% mínimo obligatorio), en las fechas estipuladas en el documento anexo P2 – Planificación de Cátedra 2016 (según Calendario Académico 2016).
3. Aprobación de **2 Evaluaciones Parciales** escritas teórico-prácticas (con Calificación mínima 60% = 6 puntos). Cada evaluación parcial tendrá, en caso de no aprobación, una instancia de Recuperación en fecha a definir por la cátedra.
4. El cumplimiento de los tres pasos anteriores en término permite acreditar la **Regularización de cursado** de la asignatura al final del cursado y habilita a iniciar el desarrollo del Proyecto Global Integrador asignado.
5. Desarrollo y seguimiento de avance del Proyecto Global Integrador, en los meses inmediatos posteriores a la regularización de cursado.
6. Presentación y Aprobación del Informe de **Proyecto Global Integrador**, y posterior Demostración del Proyecto y Coloquio (Calificación mínima 60% = 6 puntos).
7. Inscripción en Mesa de Examen normal o especial, a efectos de **Acreditación de Aprobación** de la Asignatura. Calificación final = $0.50 \times \text{Calificación Proyecto Global Integrador} + 0.25 \times \text{Calificación Evaluación Parcial 1} + 0.25 \times \text{Calificación Evaluación Parcial 2}$.

Nota: Por ser una asignatura técnica multidisciplinaria con contenido teórico-práctico que requiere interacción participativa en clase, estudio y desarrollo de aplicaciones prácticas para adquirir los conocimientos y competencias necesarias, con seguimiento y evaluación continua del proceso de aprendizaje, NO se admiten alumnos en condición de libre.

Mendoza, 8 de agosto de 2016.

Ing. Gabriel L. Julián, Prof. Titular