

Plan 95 Adecuado

SISTEMAS DE CONTROL

Área Sistemas de Control

Bloque Tecnologías Aplicadas

Nivel: Tipo: OBLIGATORIA

Modalidad: ANUAL

Carga Horaria total. Hs Reloj- 96 Hs.

Cátedra 128

FUNDAMENTACIÓN

Los sistemas de control automáticos se encuentran en la mayoría de los dispositivos que se requieren para desarrollar el quehacer cotidiano.

Dentro de este contexto se requiere que cada vez más los profesionales de la ingeniería apliquen la disciplina del control automático a los diversos campos de la actividad humana.

OBJETIVOS

Formular los principales objetivos de la asignatura, desde la perspectiva de las competencias que deben adquirir los alumnos a través de su dictado.

- Comprender el funcionamiento y las aplicaciones de los sistemas de control lineal e invariantes en el tiempo (LTI) con señales analógicas.
- Adquirir conocimiento y la habilidad necesaria para obtener el modelo matemático de plantas y procesos de distintos dominios físicos, y expresarlos como Función Transferencia y como representación de estados. Adquirir habilidad para linealizar el modelo en todos los casos que sean posibles. Expresar el modelo como un diagrama en bloques.
- Analizar el comportamiento dinámico del sistema de control utilizando el modelo del mismo. Este procedimiento se realiza con lápiz y papel para casos simples y utilizando MATLAB y SIMULINK para todos los casos. Comprender los diferentes Criterios de Estabilidad
- Analizar el comportamiento frecuencial de los sistemas de control. Empleo de MATLAB para obtener los gráficos de Bode, Nyquist y Nichols. Comprender los conceptos de Margen de Fase, Margen de Ganancia y Ancho de Banda. Análisis de la Estabilidad en frecuencia.
- Adquirir habilidad en el diseño de controladores lineales, en el dominio temporal y frecuencial, empleando la Función Transferencia, para que el sistema a lazo cerrado cumpla especificaciones de comportamiento estándar. Consideraciones y criterios técnico- económicos. Verificar el comportamiento del sistema diseñado mediante simulación con MATLAB y SIMULINK.
- Adquirir habilidad en el diseño de controladores lineales, empleando el modelo de estados. Conceptos de Controlabilidad y Observabilidad. Teorema de Cayley-Hamilton. Matriz ganancia. Localización de polos. Empleo de MATLAB para obtener la matriz ganancia.
- Comprender la sintonía de lazos de control y su puesta en marcha. Comparación de los resultados obtenidos empleando el modelo y los que se tendrán en la puesta en operación en el campo.

Comprender las diferencias entre los modelos de controladores ideales y los reales.

CONTENIDOS

· Contenidos mínimos

- a.- Introducción a los sistemas dinámicos y de control.
- b.- Características y funciones de transferencia de sistemas en diferentes dominios físicos.
- c.- Análisis de la respuesta transitoria.
- d.- Análisis del estado permanente. Clasificación de sistemas.
- e.- Método del lugar de raíces.
- f.- Método de respuesta en frecuencia.
- g.- Estabilidad en el dominio de la frecuencia.
- h.- Simulación de los sistemas de control.
- i.- Introducción a las técnicas de variables de estado.
- j.- Diseño de Sistemas de Control.

· Contenidos analíticos

Unidad Temática 1: Introducción a los Sistemas de Control

Revisión de conceptos. Transformada de Laplace. Vectores y fasores. Ecuaciones diferenciales. Sistemas LTI Solución homogénea y particular. Bosquejo histórico. Técnica de regulación. Proceso. Representaciones gráficas. Diagramas y álgebra de bloques. Diagramas de flujo de señal. Diagramas de simulación analógicos. Regla de Mason. Lazo abierto y lazo cerrado. Función. Transferencia. Variables de Estado. Sistemas SISO y MIMO. Metodología de trabajo en la ingeniería de control. Ejemplos de aplicación.

Unidad Temática 2: Modelado de Sistemas Físicos

Modelos matemáticos y sus aproximaciones. Modelos basados en la Función de Transferencia (SISO) y en Variables de Estado (MIMO). Matriz de Transferencia. Representación gráfica de sistemas sobre la base de las variables de estado (diagrama de simulación analógica). Obtención del modelo basado en la F.T. y V. de E. para sistemas mecánicos, hidráulicos, térmicos, eléctricos, de nivel, electrónicos y combinados. Linealización de sistemas no lineales. Obtención de la Función Transferencia conocido el Modelo de Estado. Obtención del Modelo de Estado conocida la Función Transferencia. Identificación experimental para determinar el modelo. Influencia del error en el modelo y cambio de los parámetros. Función sensibilidad. Concepto de robustez. Ejemplos de Aplicación.

Unidad Temática 3: Dinámica de Sistemas

Procesos con una, dos y tres constantes de tiempo. Raíces complejas de segundo orden. Polos y ceros. Sistemas con tiempo muerto. Respuesta temporal a señales de entrada: impulso de Dirac, escalón, rampa, parábola y exponencial. Respuesta transitoria. Solución mediante la Transformada de Laplace de la Función Transferencia y de las Variables de Estado. Especificación de la respuesta transitoria sobre la base de la respuesta al escalón. Ejemplos de aplicación.

Unidad Temática 4: Análisis del Estado Estacionario

Respuesta en estado estacionario a entradas aplicadas en la referencia, perturbación y ruido de la medición.

Error en estado estacionario. Caso de sistemas con realimentación unitaria y no unitaria. Error Verdadero y Error Actuante. Tipos de Sistemas. Constantes y Coeficientes de error. Exactitud de los sistemas de control. Ejemplos de aplicación.

Unidad Temática 5: Sistemas físicos en el campo de las frecuencias

Señales senoidales en sistemas lineales. Diagrama de Bode. Caso de sistemas tipo cero, uno y dos, con y sin ceros. Análisis experimental en el campo de las frecuencias. Diagramas polares (Nyquist) y Diagramas de la magnitud en función de la fase (Nichols). Frecuencia de resonancia. Pico de resonancia. Frecuencia de cruce de la ganancia y de la fase. Ancho de banda. Ejemplos de aplicación.

Unidad Temática 6: Estabilidad de sistemas de control

Métodos para el cálculo de la estabilidad en ingeniería de control: (a) Cálculo de las raíces de la ecuación característica (polos); (b) Criterio de Routh-Hurwitz; (c) Criterio de Nyquist. Margen de ganancia (amplitud) y margen de fase. Sistemas de fase mínima y de fase no mínima. Relación entre parámetros de base temporal con los de base frecuencial. Ejemplos de aplicación.

Unidad Temática 7: Análisis de sistemas mediante el Lugar de Raíces

Polos y ceros en el plano $s=d+jv$. Condición de módulo y Fase. Reglas prácticas que facilitan el trazado del Lugar de Raíces. Análisis de sistemas de control SISO mediante el Lugar de Raíces. Lugares geométricos de sobre error constante, tiempo de establecimiento constante y frecuencia natural amortiguada y no amortiguada constante. Efecto del agregado de ceros y polos al sistema analizado sobre el lugar de Raíces. Variación de la ganancia y de constantes de tiempo del numerados (ceros) y del denominador (polos). Lugares de raíces paramétricos. Ejemplos de aplicación.

Unidad Temática 8: Diseño de controladores (reguladores) y filtros para sistemas de tiempo continuo

Controladores: proporcional (P), proporcional + integral (PI), proporcional + derivativo (PD), proporcional + derivativo + integral (PID). Dimensionamiento de controladores en el dominio de $s=d+jv$ (por el método del Lugar de Raíces) y en el dominio frecuencial $G(v)$ (mediante Bode). Diseño de filtros de compensación: adelanto de fase, atraso de fase y adelanto-atraso de fase, en el dominio de $s=d+jv$ (por el método del Lugar de Raíces) y en el dominio frecuencial $G(v)$ (mediante Bode). Proceso con más de un medido (lazos múltiples). Diseño de controladores y filtros para sistemas SISO de lazos múltiples. Realimentación de posición y velocidad. Método de ajuste de controladores PI, PD y PID: Ziegler-Nichols, y Cohen y Coon. Ejemplos de aplicación.

Unidad Temática 9: Simulación de Sistemas de Control Lineales

Analogía de la representación de sistemas físicos. Amplificadores operacionales. Sumador, inversor, integrador y derivador. Resolución de modelos LTI, dados por su Función de Transferencia o por las Variables de Estado, mediante la simulación analógica. Diagramas de simulación. Simulación de sistemas empleando MATLAB y SIMULINK. Ejemplos de aplicación.

Unidad Temática 10 : Diseño utilizando el modelo de estado

Formas canónicas del modelo de estado. Conceptos de Controlabilidad y Observabilidad. Test de Kalman de Observabilidad y Controlabilidad. Rango de una matriz. Ecuación Característica de un sistema en función del modelo de estado. Realimentación del vector de estado completo. Matriz

Distribución de carga horaria entre actividades teóricas y prácticas

Tipo de actividad	Carga horaria total en hs. reloj	Carga horaria total en hs. cátedra
Teórica	48	64
Formación Práctica	48	64
Formación experimental	9	12
Resolución de problemas	27	36
Proyectos y diseño	12	16
Práctica supervisada	0	0

ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

<p>· Modalidades de enseñanza empleadas según tipo de actividad (teórica-práctica)</p> <p>La Cátedra se organiza sobre la base del dictado de clases teóricas, y trabajos prácticos, consultas y discusiones correspondientes a las unidades temáticas desarrolladas, fomentando el razonamiento y la creatividad. En la materia se puede considerar como columna vertebral epistemológica la obtención de modelos dinámicos correspondientes a sistemas físicos de variados dominios físicos y su posterior análisis y diseño. La cátedra considera un excelente medio para favorecer el aprendizaje el continuo razonamiento guiado por los docentes, ya sea durante el desarrollo de los temas teóricos como prácticos. Esto es posible por ser una materia de ciencia de la ingeniería en la cual cada tema se desarrolla a partir del planteamiento del problema y luego, por aplicación de conceptos por lo general conocidos por el alumno a esta altura de la carrera, se concibe un camino lógico para resolverlo. En nuestra cátedra se fomenta un ambiente de acercamiento alumno-docente con el fin de favorecer la desinhibición del estudiante y permitirle una activa intervención durante las clases. Los tiempos de dictado de la materia se dividen en la forma clásica de teoría y práctica. En las clases teóricas el profesor expondrá los temas en forma oral, apoyándose en el uso del pizarrón con representaciones, gráficos, esquemas, expresiones matemáticas, y por medio de alternativas informáticas. El Profesor complementa el desarrollo de cada tema teórico con uno o dos problemas de aplicación a los efectos de mejorar la comprensión de los temas y conceptos por parte de los alumnos.</p> <p>· Recursos didácticos para el desarrollo de las distintas actividades (guías, esquemas, lecturas previas, computadoras, software, otros)</p> <p>El estudiante dispone de los libros de la cátedra y los varios fascículos en pdf, en la Web del Departamento de Electrónica donde están todos los temas que se dictarán, por lo que no tiene necesidad (prácticamente) de tomar nota, con lo cual se mejora la atención prestada al docente, y a su vez mejora el rendimiento del tiempo disponible. Las clases de trabajos prácticos, a cargo del JTP y con la supervisión del Profesor, se dictan una vez terminados los temas teóricos que la sustentan. Se plantean sistemas de control reales y se resuelven algunos de ellos en clase, quedando otros para que los estudiantes los analicen y resuelvan por su cuenta. Posteriormente el JTP corrige estos problemas y trabaja con los alumnos (en las clases de consulta) para analizar los posibles errores y/o dificultades. La cátedra entrega al inicio de cada ciclo lectivo los enunciados de la totalidad de los</p>

problemas y TP a desarrollar durante el curso. Se exigirá calidad en la elaboración y presentación, pues se asume que dichos trabajos son informes técnicos desarrollados por estudiantes, que serán futuros profesionales, y deberán estar de acuerdo a dicha categoría en cuanto a su redacción con claridad, prolijidad y homogeneidad de la presentación, con el objeto de incentivar la expresión oral y escrita de los estudiantes. Los trabajos de laboratorio se limitan al presente, a la determinación experimental de las funciones de transferencia de los elementos que corresponden a un lazo de control de posición y velocidad y posteriormente al estudio dinámico (temporal y frecuencial) de los mencionados lazos. Para ello se emplea instrumental de laboratorio acorde y los equipos Feedback disponibles en la Cátedra. Posteriormente los estudiantes emplean los modelos determinados experimentalmente en el Laboratorio, para realizar las simulaciones de los sistemas vistos durante el curso, utilizando software específico (MATLAB y SIMULINK) y computadora. De esta manera el estudiante adquiere un panorama completo del ciclo habitual de análisis y diseño en el área de Control.

EVALUACIÓN

Modalidad (tipo, cantidad, instrumentos)

PROCESO DE EVALUACIÓN EN PROGRESO.

Se realiza normalmente, de dos maneras, a través de los trabajos prácticos personales que realizan los alumnos durante el curso, y también manteniendo un dialogo que permite durante las clases (tanto teóricas como prácticas) evaluar el grado de atención, comprensión y seguimiento de los temas por parte de los estudiantes. Se estima que el alumno avanzará sin dificultades en el aprendizaje de la materia, si pone énfasis en la fundamentación de la misma, periodo en el cual el alumno deberá repasar temas ya vistos en su carrera, particularmente Análisis operacional (Laplace, Fourier), Ecuaciones Diferenciales, Álgebra lineal, matrices y sistemas físicos dinámicos. Debido a la adecuada cantidad de cursantes se mantiene un diálogo abierto con los alumnos que permite a los profesores evaluar que aspectos deben profundizarse y/o reforzarse.

Requisitos de regularidad

Es requerida la aprobación de los Trabajos Prácticos y la aprobación de dos exámenes parciales como contribución habilitante para poder acceder a la acreditación y al examen final.

Requisitos de aprobación

ACREDITACIÓN. La aprobación de la materia exige del alumno el cumplimiento de los requisitos que se indican a continuación:

b.1 Firma de los Trabajos Prácticos. Es requerida la firma de cada uno de los Trabajos Prácticos y la aprobación de los exámenes parciales como condición habilitante para poder acceder a la acreditación y al Examen Final. La carpeta contendrá la totalidad de los problemas propuestos, los que deberán presentarse resueltos para obtener la firma de acreditación. Se dará importancia al grado de trabajo efectuado en la investigación de la solución y presentación de resultados. Los trabajos prácticos de Laboratorio, deberán estar completos con los resultados de las mediciones, curvas, gráficos, ábacos, simulaciones dinámicas y conclusiones. Se tomarán dos evaluaciones parciales. Para tener derecho a presentarse al examen parcial, el estudiante deberá tener por lo menos presentados todos los trabajos involucrados en el parcial correspondiente. Según las normas de la Facultad cada parcial tiene la posibilidad de dos recuperatorios cada uno, los cuales se tomarán al finalizar el periodo de cursada y hasta la fecha del último llamado de marzo del año siguiente. Los exámenes parciales serán presenciales, escritos e individuales, y consisten en la resolución de problemas similares a los desarrollados en los TP, con la inclusión de preguntas conceptuales sobre los temas vistos.

b.2 Examen Final. El alumno deberá presentarse a examen con la carpeta de Trabajos Prácticos firmada, y los exámenes parciales aprobados, lo que acreditará su postulación para rendir examen final. El examen consistirá de en una etapa práctica que podrá ser escrita, seguida de una etapa formal. En la fase práctica, el alumno resolverá problemas equivalentes a los desarrollados durante el curso, el alumno deberá presentar respuestas o resultados concretos para los mismos y podrá consultar tablas y gráficas de apoyatura para el desarrollo. A continuación de la parte práctica, el profesor evaluará los resultados los que deberán ser

correctos al menos para un 75% de lo solicitado, si este es el caso se pasará a una etapa formal en la cual el alumno fundamentará desde el punto de vista teórico algunas preguntas conceptuales dentro del contenido del trabajo efectuado y de la materia en general. La acreditación del examen final requerirá la aprobación de la fase práctica según se indicó y la aprobación de la parte formal, para la calificación, el profesor efectuará una ponderación en función de la claridad de conceptos en las respuestas y la presentación y defensa que el alumno efectúe de su trabajo.

CRITERIOS DE ACREDITACIÓN. El alumno debe tener en cuenta que, el criterio mínimo de preparación previo a su presentación a examen final, debe ser:

- Estudio en profundidad de los apuntes de Cátedra y las notas tomadas durante las clases, esto implica no solamente leer y entender los apuntes sino establecer los esquemas mentales lógicos que permitan profundizar en la interrelación entre los distintos temas.
- Estudio minucioso de los problemas resueltos en la carpeta de Trabajos Prácticos, y de aquellos que quedaron para ser resueltos por los estudiantes, y cuya consulta se efectuó en las clases extra (fuera del horario habitual de los cursos).
- Complementar los mismos con la bibliografía sugerida, particularmente ampliar la base de ejemplos y problemas a ser resueltos.
- Manejar correctamente el vocabulario específico de la materia y los conceptos fundamentales de los sistemas de control automático.

Articulación Horizontal y Vertical con otras materias

Se realizan reuniones en el Departamento de Ing. Electrónica para trabajar sobre la articulación vertical y horizontal. Tanto entre la Cátedra como con las cátedras que conforman el área de Control. Asimismo, también con el bloque de electivas, que tiene injerencia dentro del área

Articulación Horizontal: Electrónica de Potencia

Articulación Vertical: Física I, Física II, Análisis de Señales Y Sistemas, Teoría de Circuitos II, Máquina e Instalaciones Eléctricas, Electrónica Aplicada II

CRONOGRAMA ESTIMADO DE CLASES

SEMANA	Tipo de Actividad	Contenidos
1ª	Teórica	
2ª	Teórica	
3ª	Teórica	
4ª	TP Aula N°1	FT. Bloques. Linealización. Diagramas de Flujo
5ª	Teórica	
6ª	Teórica	
7ª	TP Aula N° 2	Modelización de sistemas Mecánicos
8ª	Teórica	
9ª	Teórica	
10ª	TP Aula N° 3	Modelización de Sistemas electro-mecánicos
11ª	Teórica	
12ª	Teórica	
13ª	TP Aula N° 4	Modelización de sistemas térmicos, hidráulicos y neumáticos
14ª	Teórica	
15ª	Teórica	
16ª	TP Lab N° 1	Determin. Experimental de FT de Servos marca Feedback .
17ª	TP Aula N° 5	Respuesta temporal. Transitorio y permanente

18ª	1º PARCIAL	Evaluación contenidos del 1º Cuatrimestre
19ª	Teórica	
20ª	Teórica	
21ª	TP Aula Nº 6	Respuesta en frecuencia. Bode. Nyquist. Nichols
22ª	Teórica	
23ª	Teórica	
24ª	TP Aula Nº 7	Análisis por el Método del Lugar de raíces
25ª	Teórica	
26ª	Teórica	
27ª	TP Aula Nº 8	Diseño de sistemas en el tiempo (Con Lugar de Raíces)
28ª	Teórica	
29ª	Teórica	
30ª	TP Aula Nº 9	Diseño de sistemas en Frecuencia
31ª	Teórica	
32ª	TP LAB Nº 2	Control de posición y velocidad
33ª	TP Aula Nº 10	Diseño de Controladores realimentando el vector de estado
34ª	2ª PARCIAL	Evaluación contenidos 2º cuatrimestre

BIBLIOGRAFÍA OBLIGATORIA

Ogata, K. (2003) Ingeniería de control moderna. **Usa:** Pearson Educacion

Kuo, B.C. (2001) Automatic Control Systems Prentice Hall, N.Y.,

Bolton, W. (2001) Ingeniería de Control . **México:** Alfaomega 2ª edición,

Navarro Viadana, R (2006) Ingeniería de Control Analógica y Digital” - **México:** McGraw-Hill Interamericana.

González, H. y Mariani, A. M. (2000) - Sistemas de Control, Vol. 1 y Vol. 2”, 3ª Argentina Editorial Nexus

Mariani, A.M Guía de Trabajos Prácticos”, Rev. 2, año 2007.

Bibliografía complementaria

Distefano, “J. J., Stubberud, A.R. and Williams, I. (1990) Feedback and Control System”, McGraw-Hill, N.Y.,

Truxal, J.G. (1995) Automatic Feedback Control Systems Synthesis" McGraw-Hill, N.Y.

Kaitath, T. (1980) Linear Systems", Prentice Hall, N.J.

Desoer, C.A. y Vidyasagar , M. (1975) Feedback Systems: Input-Output Properties", Academic-Press N.Y.,

Doyle, J.C., Francis, B.A, Tannenbaum, A.R. (1992) Feedback Control Theory", MacMillan Publishing Company, N.Y.

Bishop, R(1993) Modern Control Systems Analysis and Design Using MATLAB", Addison-Wesley,

Kuo, B. & Hanselman, D. MATLAB Tools for Control System Analysis and Design. **USA Pearson**

Ogata, K. (1999) Problemas de Ingeniería de Control utilizando MATLAB USA Prentice Hall,

Mariani, A.M. (2004) Guía de Problemas Resueltos, utilizando modelo de estado Arg Editorial Rocamora

Mariani, A.M. (2004) Guía de Problemas Resueltos, utilizando la Función Transferencia. **Argentina:** Editorial Rocamora,

Mariani, A.M. (2005) Aplicaciones de MatLab a la Ingeniería de Control- Editorial CEIT-UTN/FRBA

“Mariani, A.M. (2005) Simulink. Aplicaciones a la Ingeniería de Control Editorial CEIT-UTN/FRBA,

Mariani, A.M. (2006) Representaciones Canónicas de Modelos en el Espacio de Estado- Aplicaciones a la Ingeniería de Control”- Editorial CEIT-UTN/FRBA,

Mariani, A.M. y Ciccolella E. Error en Régimen Estacionario para los Sistemas de Control”-

www.electron.frba.utn.edu.ar

Mariani, A.M. y Ciccolella E. - Análisis del comportamiento no-lineal, observado en un Servomotor con

tren de engranajes integrado”, www.electron.frba.utn.edu.ar