

Sistemas lineales de control.

Presentación.

Sistemas lineales consiste en la teoría matemática desarrollada para analizar sistemas dinámicos que cumplen con las propiedades de superposición y homotecia. Los sistemas lineales son útiles para el modelado y síntesis de controladores de una gran cantidad de sistemas y fenómenos físicos que se presentan en la ingeniería, desde circuitos eléctricos, motores eléctricos de corriente continua, dinámicas térmicas e hidráulicas en equipos de proceso, etc. En este curso, se presentan conceptos básicos de la teoría de sistemas lineales, útiles para el modelado, análisis de estabilidad y síntesis de controladores y observadores.

Objetivo general.

Como objetivo general se pretende que el estudiante conozca y desarrolle habilidades de aplicación de los conceptos básicos de la teoría de control moderna, que serán útiles en los cursos subsecuentes de control de motores y procesos y robótica.

Objetivos particulares.

Conocimientos. El estudiante deberá adquirir los conocimientos para:

- Identificar las características generales de un sistema lineal.
- Aplicar los conceptos básicos de controlabilidad, observabilidad y estabilidad de un sistema lineal.
- Aplicar las técnicas básicas para el control de sistemas lineales y diseño de observadores.

Aptitudes. El estudiante deberá ser capaz de:

- Modelar sistemas físicos como modelos lineales.
- Verificar las propiedades de controlabilidad, observabilidad y estabilidad de un sistema lineal.
- Diseñar leyes de control por retroalimentación lineal del estado y PID para sistemas lineales.
- Diseñar observadores lineales y filtros de Kalman para sistemas lineales.

Actitudes. El estudiante deberá ser:

- Proactivo al realizar investigación de la temática del curso.
- Crítico al determinar que técnica o método es el más adecuado para el control de sistemas particulares.

Prerrequisitos.

No se requiere haber cursado previamente otras asignaturas del programa.

Sobre conocimientos previos, el estudiante deberá conocer conceptos básicos de álgebra lineal, ecuaciones diferenciales ordinarias y transformadas de Laplace, a nivel de cursos de licenciatura.

Metodología.

El presente curso tiene una orientación teórica. Los contenidos se desarrollan con la revisión de la bibliografía y material de apoyo (presentaciones, video, simulaciones, etc.). Se incluyen actividades de simulación en laboratorios virtuales y MatLab con un doble fin: por un lado, que el estudiante visualice el significado de los conceptos que se revisan; y por otro lado, como motivación del curso, i.e., la asimilación de los conceptos básicos necesarios para el control de dispositivos y procesos.

Temario.

1. Conceptos preliminares sobre algebra lineal.
 - Producto punto, norma, distancia.
 - Espacios, subespacios y variedades lineales.
 - Base, dimensión y rango.
 - Ortogonalidad y proyecciones.
 - Representación matricial de una transformación lineal.
 - Kernel e imagen de una transformación lineal.
 - Imagen inversa.
 - Práctica: Resolución de ejercicios de transformaciones lineales a mano y utilizando MatLab.
2. Introducción a sistemas lineales de control.
 - Sistemas dinámicos.
 - Causalidad, superposición, homotecia, linealidad, invariancia en el tiempo, determinismo.
 - Lazo abierto y lazo cerrado (ganancia, estabilidad, sensibilidad, robustez).
 - Práctica: Simulación, identificación de propiedades de sistemas en lazo cerrado.
3. Modelado de sistemas.
 - Modelado de sistemas eléctricos.
 - Modelado de sistemas mecánicos.
 - Modelado de sistemas térmicos.
 - Modelado de sistemas hidráulicos.
 - Práctica: Ejercicios de modelado y simulación de sistemas.
4. Representación en espacio de estados.
 - Ecuación de estado.
 - Solución de la ecuación de estado.
 - Ecuación característica, valores propios y vectores propios.
 - Transformación de similitud y formas canónicas.
 - Ejemplos de modelos.
 - Linearización por series de Taylor.
 - Práctica: Cálculo de la ecuación de estado de un sistema físico, cálculo de los valores y vectores propios (*MatLab*).
5. Controlabilidad y observabilidad.
 - Concepto y criterio de controlabilidad.
 - Concepto y criterio de observabilidad.
 - Relación entre controlabilidad, observabilidad y funciones de transferencia.
 - Efectos de transformación de similitud.
 - Práctica: Determinación de las propiedades de controlabilidad y observabilidad de una series de modelos (*MatLab*).
6. Estabilidad.
 - Conceptos de estabilidad.
 - Valores propios.
 - Criterio de Routh-Hurwitz.
 - Estabilidad de Lyapunov en sistemas lineales.
 - Práctica: Determinación de estabilidad de una serie de modelos (*MatLab*).
7. Funciones de transferencia.
 - Respuesta al impulso.
 - Función de transferencia.
 - Polos dominantes.
 - Diagrama de bloques.
 - Funciones de transferencia-ecuación de estado.
 - Práctica: Simulación de un modelo en diagrama de bloques (*MatLab*).
8. Síntesis de controladores.
 - Retroalimentación lineal del estado.

Fórmulas de Ackerman y Bass-Gura.

Respuesta transitoria al escalón.

Efectos de adición de polos y ceros.

Lugar de las raíces.

Control PID.

Práctica: Laboratorio virtual. Diseño de control de nivel, por retro lineal de estados y PID, de un sistema de tanques de agua interconectados y simulación. Discusión sobre los métodos de control utilizados.

10. Síntesis de observadores.

Observador de Luemberg.

Sistemas con perturbaciones.

Filtro de Kalman.

Práctica: Diseño de un observador y filtro de Kalman para un sistema lineal (MatLab). Discusión sobre los métodos utilizados.

Propuesta de evaluación.

Las actividades a realizar requieren de la asimilación y aplicación de los conocimientos, aptitudes y actitudes planteados en los objetivos particulares. Por tanto, el curso se evaluará con el cumplimiento y calidad de dichas actividades propuestas. Adicionalmente, se plantea un examen sobre los conceptos básicos del curso (enlistados como conocimientos en los objetivos particulares), de los cuales se desea el estudiante tenga dominio.

Software.

MatLab.

Laboratorio.

Corto plazo: laboratorios virtuales.

Mediano plazo: laboratorio remoto, control de nivel de tanques de agua, control de un motor eléctrico.

Bibliografía.

- Chen, Chi-Tsong, *Linear systems theory and design*, Oxford University Press, 3rd edition, 1999.
- Dorf, Richard C., *Modern control systems*, 9th edition, Prentice Hall, 2001.