

# Víctor Manuel Leiva Requene

## Capítulo 1: Introducción a los sistemas de control

### 1. Introducción

El primer capítulo de "Ingeniería de Control Moderna" por Katsuhiko Ogata presenta una visión general de los fundamentos de los sistemas de control, abarcando tres áreas principales: teoría de control clásica, teoría de control moderna y teoría de control robusta.

- 1. Teoría de control clásica:** También conocida como teoría de control convencional, se enfoca en técnicas analíticas tradicionales para sistemas lineales, utilizando herramientas como el diagrama de Bode, el lugar de las raíces y el análisis temporal. Este enfoque es adecuado para sistemas simples con modelos matemáticos precisos y perturbaciones mínimas.
- 2. Teoría de control moderna:** Esta teoría emplea métodos matemáticos más complejos, adecuados para sistemas multivariables con múltiples entradas y salidas. Se basa en representaciones en el espacio de estados, álgebra lineal y teoría de matrices, permitiendo una descripción detallada de la dinámica del sistema. Incluye técnicas de optimización cuadrática y teoría de control óptimo para resolver problemas de control más sofisticados.
- 3. Teoría de control robusta:** Introducida brevemente en el capítulo 10, esta teoría aborda sistemas con incertidumbres y variaciones en los parámetros. Se enfoca en el diseño de sistemas que mantengan un desempeño aceptable frente a incertidumbres y perturbaciones, utilizando herramientas como el análisis de sensibilidad y la teoría de  $H_\infty$ , garantizando robustez y fiabilidad en aplicaciones críticas.

### 2. Ejemplos de Sistemas de Control

Para ilustrar la teoría de control, Ogata proporciona numerosos ejemplos prácticos que abarcan diversos campos de la ingeniería. En el área de controladores de temperatura, por ejemplo, se describen sistemas que mantienen la temperatura de un horno industrial o de un ambiente controlado. Estos sistemas suelen usar sensores para medir la temperatura actual y ajustar la energía suministrada para mantener la temperatura deseada. Un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) es una herramienta común en estos sistemas, ya que ajusta la salida del controlador en función de la diferencia entre la temperatura deseada y la medida.

En el campo de sistemas de navegación para vehículos autónomos, los ejemplos incluyen sistemas avanzados que permiten a los vehículos moverse de manera autónoma y segura. Estos sistemas combinan sensores como cámaras, LIDAR, y GPS con algoritmos de control sofisticados que interpretan los datos de los sensores para tomar decisiones de navegación. Los algoritmos de control deben ser capaces de manejar la complejidad de los entornos dinámicos, evitando obstáculos y siguiendo trayectorias

precisas. Esto implica el uso de técnicas avanzadas de control y procesamiento de señales.

Los reguladores de velocidad para motores eléctricos son otro ejemplo práctico importante. Estos sistemas son esenciales en una variedad de aplicaciones industriales, desde la maquinaria de fabricación hasta los electrodomésticos. Un regulador de velocidad ajusta la velocidad de un motor eléctrico en función de la carga y otros factores. Los controladores PID también son comunes aquí, ya que proporcionan una manera efectiva de mantener la velocidad deseada ajustando continuamente la alimentación eléctrica del motor. Estos sistemas destacan la importancia del control en la optimización del rendimiento y la eficiencia energética.

### **3. Control en Lazo Cerrado en Comparación con Control en Lazo Abierto**

La diferencia fundamental entre los sistemas de control en lazo abierto y lazo cerrado reside en cómo se utiliza la información de salida para ajustar la acción de control. En sistemas de lazo abierto, la acción de control se determina sin tener en cuenta la salida del sistema. Esto significa que una vez que se establece la señal de control, no se realizan ajustes basados en la respuesta del sistema. Un ejemplo clásico es una lavadora que sigue un ciclo predefinido sin considerar si la ropa está realmente limpia. Las ventajas de este enfoque incluyen la simplicidad y el bajo costo, pero las desventajas son la falta de precisión y la incapacidad de adaptarse a cambios en el entorno o en las condiciones del sistema.

En contraste, los sistemas de lazo cerrado, también conocidos como sistemas de retroalimentación, utilizan la salida del sistema para ajustar continuamente la acción de control. Un ejemplo común es un termostato en un sistema de calefacción, que mide la temperatura actual y ajusta la calefacción para mantener una temperatura deseada. La retroalimentación permite al sistema corregir errores y ajustar su comportamiento en tiempo real, lo que mejora significativamente la precisión y la estabilidad. Sin embargo, estos sistemas son más complejos y costosos de diseñar y mantener debido a la necesidad de sensores y mecanismos de retroalimentación.

La sección también discute las ventajas y desventajas de ambos tipos de sistemas. Los sistemas de lazo cerrado son generalmente preferidos en aplicaciones donde la precisión y la estabilidad son críticas, como en control de temperatura, velocidad de motores, y sistemas de navegación. Por otro lado, los sistemas de lazo abierto pueden ser suficientes en aplicaciones simples donde la precisión no es tan crucial. La elección entre lazo abierto y cerrado depende en gran medida de los requisitos específicos de la aplicación y las condiciones operativas.

### **4. Diseño y Compensación de Sistemas de Control**

El diseño y compensación de sistemas de control son aspectos cruciales para asegurar que los sistemas cumplan con los requisitos de rendimiento. En la compensación en serie, se añaden componentes adicionales en serie con el controlador principal para mejorar la respuesta del sistema. Por ejemplo, un compensador adelanto (lead

compensador) puede ser utilizado para aumentar la estabilidad y mejorar la rapidez de la respuesta del sistema, lo cual es esencial en aplicaciones donde la velocidad de respuesta es crítica.

La compensación en paralelo involucra la adición de componentes en paralelo con el controlador principal. Un compensador atraso (lag compensator), por ejemplo, se usa para mejorar la precisión a largo plazo del sistema sin comprometer su estabilidad. Esta técnica es útil en aplicaciones donde es importante minimizar el error en estado estacionario. La combinación de compensadores en serie y paralelo permite ajustar de manera precisa las características dinámicas del sistema para cumplir con especificaciones de rendimiento específicas.

El ajuste de la respuesta del sistema se refiere a la modificación de sus características dinámicas para lograr un rendimiento óptimo. Esto puede incluir la sintonización de controladores PID, donde se ajustan las ganancias proporcional, integral y derivativa para optimizar la respuesta del sistema. Otros métodos de ajuste pueden incluir técnicas de optimización y algoritmos adaptativos que permiten que el sistema se ajuste automáticamente a cambios en las condiciones operativas. La capacidad de diseñar controladores robustos que puedan mantener un buen rendimiento a pesar de variaciones y perturbaciones es fundamental para el éxito en aplicaciones prácticas.

## **5. Contenido del Libro**

El libro de Ogata está cuidadosamente estructurado para facilitar un aprendizaje progresivo y profundo de la teoría de control. Los capítulos iniciales se enfocan en los fundamentos del control, incluyendo la modelización matemática de sistemas físicos y el análisis de su respuesta temporal y frecuencia. Estas bases son esenciales para entender cómo se comportan los sistemas dinámicos y cómo se pueden controlar de manera efectiva.

Los capítulos intermedios introducen técnicas más avanzadas, como el análisis en el espacio de estados y el diseño de sistemas de control utilizando representaciones matriciales. Estas técnicas son fundamentales para el control de sistemas multivariables y más complejos, proporcionando herramientas para diseñar controladores que pueden manejar múltiples entradas y salidas de manera coordinada. Además, se exploran métodos de optimización y control óptimo, que son esenciales para diseñar sistemas de alto rendimiento.

Finalmente, los capítulos avanzados cubren temas especializados como la teoría de control robusta, sistemas no lineales y métodos de optimización avanzada. Estos temas son cruciales para aplicaciones donde los sistemas deben mantener su rendimiento bajo condiciones de incertidumbre y perturbaciones. Además, cada capítulo incluye problemas resueltos y sin resolver, proporcionando a los lectores oportunidades para aplicar lo aprendido y reforzar su conocimiento. Los problemas resueltos ofrecen ejemplos detallados que ilustran los conceptos teóricos, mientras que los problemas sin resolver desafían a los lectores a profundizar en su comprensión y aplicar su conocimiento a situaciones nuevas y complejas.