

Victor Manuel Leiva Requene

Ing. Computación

Resumen del Capítulo 8: Diseño de controladores PID y sus variantes

8-1. Introducción

El capítulo 8 del libro "Ingeniería de Control Moderna" de Ogata se enfoca en el diseño y la sintonía de controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo), un método ampliamente utilizado en la ingeniería de control debido a su simplicidad y efectividad. Este capítulo cubre diversas técnicas para la sintonía de controladores PID, incluyendo las reglas empíricas de Ziegler-Nichols, métodos basados en la respuesta en frecuencia, optimización computacional, y modificaciones del esquema PID estándar para mejorar el rendimiento y la robustez del sistema.

8-2. Reglas de Ziegler-Nichols para la sintonía de controladores PID

Las reglas de Ziegler-Nichols son métodos empíricos desarrollados en la década de 1940 para la sintonía de controladores PID. Existen dos métodos principales: el método de la respuesta escalón y el método de la ganancia crítica. El primero implica obtener una respuesta a una entrada escalón y ajustar los parámetros del controlador basándose en la curva de reacción del sistema. El segundo método se basa en ajustar el sistema hasta que oscile con una frecuencia constante y luego usar esta información para calcular los parámetros PID.

El método de la respuesta escalón implica medir el tiempo de retardo y la pendiente inicial de la respuesta del sistema, y luego utilizar estas mediciones para determinar los parámetros del controlador. El método de la ganancia crítica, por otro lado, ajusta la ganancia proporcional hasta que el sistema oscile y usa la frecuencia de oscilación para calcular los parámetros. Ambos métodos proporcionan una base rápida para la sintonía de controladores, aunque pueden requerir ajustes adicionales para optimizar el rendimiento.

8-3. Diseño de controladores PID mediante el método de respuesta en frecuencia

El diseño de controladores PID mediante la respuesta en frecuencia implica analizar la función de transferencia del sistema y utilizar diagramas de Bode para ajustar los parámetros del controlador. Este método permite un diseño

más preciso al tener en cuenta las características de frecuencia del sistema, lo que es crucial para asegurar la estabilidad y el rendimiento deseado.

Para diseñar un controlador PID usando la respuesta en frecuencia, se trazan los diagramas de Bode de la planta y se ajustan los parámetros del controlador para obtener los márgenes de ganancia y fase deseados. Este enfoque permite optimizar el comportamiento del sistema en un rango amplio de frecuencias, mejorando la robustez y la estabilidad del sistema controlado.

8-4. Diseño de controladores PID mediante el método de optimización computacional

El método de optimización computacional utiliza algoritmos de optimización para ajustar los parámetros del controlador PID. Este enfoque puede emplear técnicas como la optimización basada en gradientes, algoritmos genéticos, o métodos de optimización heurística. La ventaja de este método es que puede manejar sistemas no lineales y con restricciones complejas, proporcionando una sintonía óptima que maximiza el rendimiento del sistema.

El proceso de optimización computacional implica definir una función objetivo que evalúe el rendimiento del sistema y luego utilizar un algoritmo de optimización para ajustar los parámetros PID de manera que se minimice o maximice dicha función. Este método es especialmente útil para sistemas complejos donde las técnicas empíricas o basadas en frecuencia no son suficientes.

8-5. Modificaciones de los esquemas de control PID

Existen varias modificaciones al esquema PID estándar para mejorar su rendimiento. Estas modificaciones incluyen el controlador PID con filtrado de la acción derivativa para reducir el ruido, el controlador PID con anti-windup para manejar la saturación del actuador, y el controlador PID adaptativo que ajusta sus parámetros en tiempo real para mantener un rendimiento óptimo bajo condiciones cambiantes.

El filtrado de la acción derivativa se implementa añadiendo un filtro de primer orden para atenuar el ruido en la señal derivativa. El anti-windup se utiliza para prevenir la acumulación excesiva de la acción integral cuando el actuador está saturado, lo que puede llevar a una respuesta lenta del sistema. El control adaptativo ajusta continuamente los parámetros del controlador en función de la dinámica del sistema, mejorando su capacidad para manejar perturbaciones y cambios en las condiciones de operación.

8-6. Control con dos grados de libertad

El control con dos grados de libertad (2DOF) mejora la flexibilidad del sistema de control al permitir separar el diseño de la respuesta a la referencia y la respuesta a las perturbaciones. Esto se logra utilizando dos controladores: uno para la trayectoria de referencia y otro para la regulación de perturbaciones, mejorando así el rendimiento general del sistema.

Este enfoque permite un diseño más preciso y robusto, ya que se pueden optimizar independientemente las respuestas transitoria y en estado estacionario del sistema. El control 2DOF es particularmente útil en aplicaciones donde es crítico minimizar el impacto de perturbaciones mientras se sigue una trayectoria de referencia precisa.

8-7. Método de asignación de ceros para mejorar las características de respuesta

El método de asignación de ceros implica añadir ceros a la función de transferencia del controlador para mejorar las características de la respuesta transitoria del sistema. Al posicionar estratégicamente los ceros, se puede mejorar el tiempo de establecimiento, el sobreimpulso, y la robustez del sistema ante perturbaciones.

Este método se basa en la teoría de control clásico y utiliza herramientas como los diagramas de Bode y los diagramas de lugar de las raíces para diseñar la ubicación óptima de los ceros. La asignación de ceros es una técnica poderosa para afinar las características de la respuesta del sistema y mejorar su rendimiento bajo diversas condiciones operativas.

Ejemplos

1. Ejemplo de sintonía de PID utilizando el método de Ziegler-Nichols:

Se sintoniza un controlador PID para una planta con la función de transferencia ($G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$) utilizando el método de la ganancia crítica. Ajustando la ganancia proporcional hasta obtener oscilaciones sostenidas, se mide la ganancia crítica (K_u) y el período de oscilación (P_u). Utilizando estas mediciones, se calculan los parámetros ($K_p = 0.6 K_u$), ($T_i = 0.5 P_u$), y ($T_d = 0.125 P_u$), obteniendo un controlador sintonizado para un rendimiento óptimo.

2. Ejemplo de diseño de controlador PID mediante optimización computacional:

Para un sistema con función de transferencia ($G(s) = \frac{10}{s(s+2)(s+5)}$), se utiliza un algoritmo genético para optimizar los parámetros PID. Definiendo una función objetivo basada en el error cuadrático medio de la respuesta del sistema, el algoritmo ajusta iterativamente los parámetros (K_p), (T_i), y (T_d) para minimizar el error, logrando una sintonía óptima que mejora significativamente la respuesta transitoria y en estado estacionario del sistema.