

- SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID

- Sintonización de controladores PID

- Controladores
    - Tipos de controladores
    - Controladores PID
    - Diseño y sintonización de controladores PID
    - Conclusiones y debate

- Controladores

Un controlador (regulador) es un dispositivo cuyo objetivo fundamental es el de “controlar” que la variable (objeto de control) cumpla con lo estimado en los parámetros de diseño del sistema.

Para cumplir con la función de control, el controlador utiliza la diferencia entre el valor de consigna (señal de control, señal de entrada) y la señal medida (que proviene de los sensores).

La capacidad y precisión del valor de consigna y de la señal medida, determinan la habilidad del controlador para realizar correctamente el control.

- Tipos de controladores

En la industria se emplean al menos cinco tipos de controladores:

- On/off
  - Proporcional
  - Integral
  - Derivativo
  - Combinaciones P. I. D

- Tipos de controladores

Un controlador on/off es un dispositivo cuyo régimen de trabajo se aproxima al de un relé activado por un valor de consigna.

Para el caso de un controlador on/off de una electroválvula, el régimen de trabajo se describe como:

Controladores on/off

- Tipos de controladores

Controladores PID. Tomado de diseño de reguladores en el dominio del tiempo. Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Oviedo. Abril 2003.

- Tipos de controladores

Controladores PID. Tomado de diseño de reguladores en el dominio del tiempo. Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Oviedo. Abril 2003.

- Tipos de controladores

Controladores PID. Tomado de diseño de reguladores en el dominio del tiempo. Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Oviedo. Abril 2003.

- Tipos de controladores

Cuando en el sistema se emplea un controlador proporcional, la señal a la salida del controlador es múltiplo (gananciaKP) del porcentaje de cambio en la señal medida.

Existe un valor límite de la ganancia del controlador proporcional. Más allá de este límite el sistema alcanza valores superiores a los deseados, fenómeno conocido como sobreoscilación. Por razones de seguridad, la sobreoscilación no debe superar el 30%.

El controlador proporcional no considera el tiempo. Por esta razón, para solucionar el error permanente y lograr que el sistema contenga alguna componente que considere la variación respecto al tiempo, se incluyen las acciones integral y derivativa.

Controladores proporcionales

- Tipos de controladores

El modo de control integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional.

El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional.

El error es integrado, es decir es promediado o sumado por un período determinado, para posteriormente ser multiplicado por una constante KI.

Cuando la respuesta integral es adicionada al modo proporcional para formar el control P + I, se obtiene una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

Controladores integrales

- Tipos de controladores

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error.

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

El error se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante KD.

El control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada. Cuando el tiempo de acción derivada es grande, hay inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño, la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones

Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva.

Controladores derivativos

- Controladores PID

Los controladores PID probablemente sean el diseño de control más empleado, por ser el más sencillo, pero no se aplican en sistemas complejos como los MIMO.

PID son las siglas de proporcional-integral-derivativo, y, se refieren a los tres términos que operan sobre la señal de error para producir la señal a la salida del controlador.

Considerando que  $u(t)$  es la señal de consigna que se envía al sistema,  $y(t)$  es la señal medida,  $r(t)$  es la salida deseada, y,  $e(t) = r(t) - y(t)$ , el error existente; un controlador PID se define matemáticamente como:

- Controladores PID

El primer sumando aplica una señal proporcional al error.

El segundo evalúa la evolución del error, y, se vuelve más significativo cuando el error es pequeño pero constante.

El tercer término considera la tendencia en el error, y, se nota más cuando el error se produce por instantes.

- Controladores PID

La dinámica deseada en lazo cerrado se obtiene ajustando los tres parámetros KP, KI y KD.

Este ajuste a menudo se hace iterando de manera empírica y sin conocimiento previo del modelo del sistema.

A menudo se puede asegurar la estabilidad usando únicamente el término proporcional.

- Controladores PID

- Controladores PID

Controladores PID. Tomado de diseño de reguladores en el dominio del tiempo. Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Oviedo. Abril 200

- Controladores PID

Efectos de los componentes en un controlador PID

- Diseño y sintonización de controladores

Diseñar controladores en el dominio del tiempo, implica emplear una metodología de tres pasos:

- Definir las especificaciones de diseño. Determinar qué debe hacer el sistema y cómo debe hacerlo.
- Determinar la estructura del sistema de control y el tipo de controlador.
- Determinar los parámetros del controlador para cumplir con las especificaciones del diseño

#### • Diseño y sintonización de controladores PID

Las especificaciones de diseño de controladores incluyen:

- Precisión requerida en el régimen establecido de trabajo
- Las exigencias al proceso transitivo (respuesta transitiva)
- Requerimientos sobre el control de perturbaciones (interferencias)

#### Especificaciones de diseño

#### • Diseño y sintonización de controladores PID

Existen varias alternativas para diseñar y sintonizar controladores:

- Mediante el lugar de las raíces
- Técnicas de la respuesta en frecuencia de Bode
- Criterios de sintonización de Nyquist
- Criterios de sintonización de Nichols
- Sintonización ensayo-error

#### Alternativas para el diseño y sintonización de controladores

#### • Diseño y sintonización de controladores PID

Un controlador PID aporta dos ceros, un polo en el origen y una ganancia.

La sintonización fina, por el lugar de las raíces, se logra modificando los ceros y la ganancia del controlador PID para obtener una respuesta óptima.

Mediante el lugar de las raíces

#### • Diseño y sintonización de controladores PID

La sintonización de controladores PID se basan en las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols.

Un controlador PID aporta dos ceros, un polo en el origen y una ganancia.

La sintonización fina, por el lugar de las raíces, se logra modificando los ceros y la ganancia del controlador PID para obtener una respuesta óptima.

Sintonización fina de controladores PID

#### • Diseño y sintonización de controladores PID

La adición de un polo a la función de transferencia en lazo abierto tiene el efecto de “jalar” el lugar geométrico de las raíces a la derecha, lo que contribuye a disminuir la estabilidad del sistema.

Mediante el lugar de las raíces: efecto de la adición de un polo

#### • Diseño y sintonización de controladores PID

La adición de un cero a la función de transferencia en lazo abierto tiene el efecto de jalar el lugar geométrico de las raíces hacia la izquierda, con lo cual el sistema tiende a ser más estable

Mediante el lugar de las raíces: efecto de la adición de un cero

#### • Diseño y sintonización de controladores PID

Ziegler y Nichols propusieron una serie de reglas para afinar controladores PID con base a una respuesta experimental. Definieron dos métodos.

Reglas de Ziegler-Nichols

#### • Diseño y sintonización de controladores PID

Este método permite aproximar los parámetros del controlador PID para un sistema cuya respuesta al escalón corresponda a:

## Primer método de Ziegler-Nichols

- Diseño y sintonización de controladores PID

La respuesta descrita no tiene oscilaciones y posee un retardo tal que se forma una “ese”.

Esta respuesta se caracteriza con el tiempo de atraso  $L$  y la constante de tiempo  $T$ .

Esta respuesta se puede aproximar por un sistema de primero orden con atraso de transporte:

Primer método de Ziegler-Nichols

- Diseño y sintonización de controladores PID

Con los valores de  $L$  y  $T$  se aproximan los parámetros del controlador PID, de acuerdo al siguiente criterio:

Primer método de Ziegler-Nichols

- Diseño y sintonización de controladores PID

Se utiliza para sistemas cuya respuesta al escalón tiene la forma de oscilaciones sostenidas como:

Segundo método de Ziegler-Nichols

- Diseño y sintonización de controladores PID

La aplicación de este método implica seguir el siguiente algoritmo:

Eliminar los efectos de la parte integral y derivativa.

Utilizar sólo la ganancia proporcional para llevar al sistema a oscilaciones sostenidas. El valor de ganancia proporcional en la que el sistema oscila, se denomina ganancia crítica.

Calcular el periodo crítico que corresponde a la ganancia crítica.

Aproximar los parámetros del controlador PID, sobre la base de la ganancia y el período críticos, de acuerdo a:

Tipo de controlador

Segundo método de Ziegler-Nichols

- Diseño y sintonización de controladores PID

When you are designing a PID controller for a given system, follow the steps shown below to obtain a desired response.

1. Obtain an open-loop response and determine what needs to be improved
2. Add a proportional control to improve the rise time
3. Add a derivative control to improve the overshoot
4. Add an integral control to eliminate the steady-state error
5. Adjust each of  $K_p$ ,  $K_i$ , and  $K_d$  until you obtain a desired overall response.

Ensayo y error para sintonización de controladores PID