



Tecnológico de Monterrey

Control PID via simulink
Análisis de sistemas de control - MR2002B

Alumnos:

Ricardo Sierra Roa A01709887

Profesor:

Claudia Alejandra Pérez Pinacho
Christopher Diego Cruz Ancona
Fernando Gómez Salas

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Queretaro

Fecha de entrega:

12 de septiembre de 2024

Índice

Índice.....	2
Introducción.....	3
Metodología.....	3
Sistema a controlar.....	3
Figura 1. “Sistema a controlar”	3
Controlador Proporcional (P).....	4
Figura 2. “Controlador P”	4
Controlador Proporcional-Integral (PI).....	4
Figura 3. “Controlador PI”	5
Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID).....	5
Figura 4. “Controlador PID”	5
Análisis.....	6
Controlador Proporcional (P).....	6
Figura 5. “Error para controlador P”	6
Figura 6. “Controlador P”	6
Controlador Proporcional-Integral (PI).....	7
Figura 7. “Error para controlador PI”	7
Figura 8. “Controlador PI”	7
Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID).....	8
Figura 9. “Error para controlador PID”	8
Figura 10. “Controlador PID”	8
Conclusiones.....	9
Referencias.....	10

Introducción

En la ingeniería de control, el diseño de sistemas de control en lazo cerrado es fundamental para garantizar el comportamiento deseado de sistemas dinámicos. Los controladores Proporcional (P), Proporcional-Integral (PI) y Proporcional-Integral-Derivativo (PID) son herramientas esenciales en este ámbito, cada uno con características particulares que permiten mejorar la estabilidad, reducir el error en estado estacionario y optimizar la respuesta dinámica de los sistemas. El objetivo principal de este estudio es comparar la efectividad de los controladores P, PI y PID en términos de estabilidad, tiempo de respuesta y eliminación del error en estado estacionario, brindando una visión clara de las ventajas y desventajas de cada método.

Metodología

Sistema a controlar

El sistema a controlar es un especie de péndulo simple que oscila libremente y cuya dinámica está modelada en Simulink (como se puede observar en la figura 1). Este sistema consiste en un brazo rígido con una masa puntual en su extremo, sujeto a una articulación que le permite oscilar en un plano bajo la influencia de la gravedad. El objetivo del control es regular la posición angular del péndulo, buscando que alcance y mantenga una posición de equilibrio deseada.

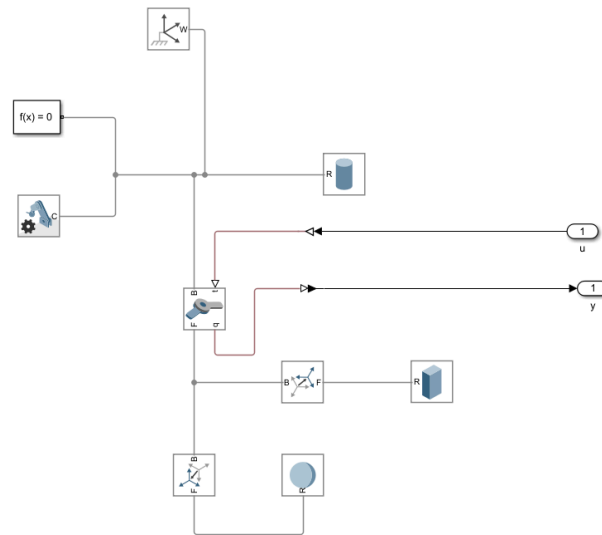


Figura 1. “Sistema a controlar”

Controlador Proporcional (P)

En este primer controlador, el cual es el proporcional (se puede observar en la figura 2). Se logra ajustar la posición angular de un péndulo simple. El controlador calcula la diferencia entre la posición angular deseada y la posición actual del péndulo, generando un error $e(t)$. Este error se multiplica por una constante proporcional K_p , produciendo el par de fuerza $u(t)$ que se aplica al péndulo:

$$u(t) = K_p \cdot e(t)$$

El objetivo del controlador es reducir el error y mantener el péndulo en la posición deseada.

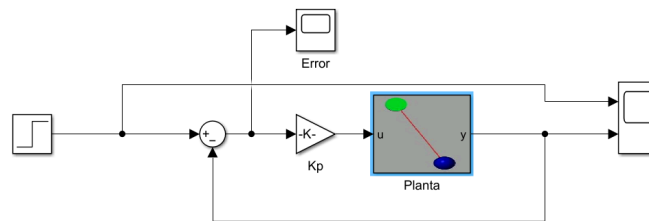


Figura 2. "Controlador P"

Controlador Proporcional-Integral (PI)

Para este segundo controlador (controlador proporcional-integral, figura 3), se puede utilizar para mejorar la regulación de la posición angular del péndulo. A diferencia del controlador proporcional (P), el controlador PI no solo considera el error actual, sino también la acumulación del error a lo largo del tiempo, utilizado de la siguiente forma:

$$u(t) = [K_p \cdot e(t)] + [K_p \cdot \int e(\tau) d\tau]$$

Donde:

- K_p es la ganancia proporcional que ajusta el par de fuerza $u(t)$ en función del error instantáneo $e(t)$.
- K_i es la ganancia integral que ajusta $u(t)$ en función de la suma acumulada del error a lo largo del tiempo.

Dentro de este controlador el término integral nos ayuda a eliminar el error estacionario, cosa que en el controlador proporcional no se puede lograr y al combinar ambos, el controlador PI nos proporciona una respuesta más precisa y estable, logrando minimizar el error acumulado y mejorando la estabilidad del sistema.

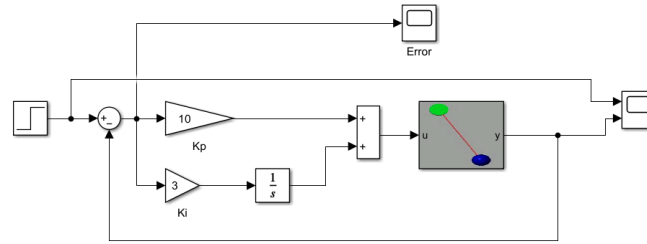


Figura 3. “Controlador PI”

Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID)

En este último controlador (controlador proporcional-integral-derivativo, figura 4), es un sistema el cual es una extensión del controlador PI, este controlador no solo toma en cuenta el error actual y la acumulación del error a lo largo del tiempo, sino también la tasa de cambio del error. La ecuación de este controlador es:

$$u(t) = [K_p \cdot e(t)] + [K_i \cdot \int e(\tau) d\tau] + [K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}]$$

Donde:

- K_p es la ganancia proporcional que ajusta el par de fuerza $u(t)$ en función del error actual $e(t)$.
- K_i es la ganancia integral que corrige el error acumulado en el tiempo.
- K_d es la ganancia derivativa que anticipa futuras desviaciones al considerar la tasa de cambio del error.

A diferencia del controlador PI, este incluye el termino derivativo $K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$ el cual mejora la respuesta del sistema al proporcionar una acción basada en la tendencia del error, ayudando a reducir las oscilaciones y mejorando la estabilidad. En este controlador se combinan las ventajas del P y el PI, añadiendo un mejor control, resultando en un sistema más preciso y con menor tiempo de respuesta.

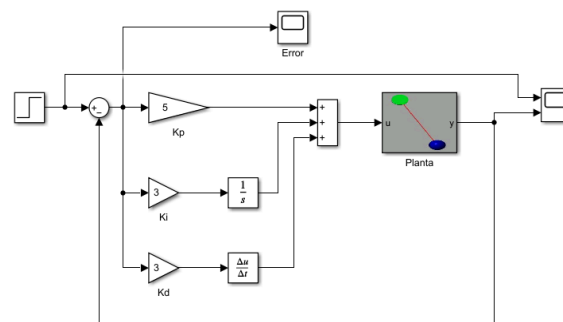


Figura 4. “Controlador PID”

Análisis

Controlador Proporcional (P)

Como podemos observar en la **figura 6**, se presenta la respuesta del sistema con un controlador proporcional configurado con $K_p = 10$ donde observamos la siguientes características:

1. Tiempo de respuesta

En la gráfica mostrada en la **figura 6**, podemos observar que se muestra un respuesta relativamente rápida al cambio en la referencia, lo cual es esperado debido al valor relativamente alto de K_p . Lo que indica que el controlador es capaz de realizar una corrección significativa en respuesta al error detectado.

2. Error de estado estacionario

Podemos observar que el sistema reacciona rápidamente, sin embargo, no se logra eliminar completamente el error en estado estacionario, lo cual podemos comparar tanto en la **figuras 5 y 6**. Esto es debido a que un controlador proporcional únicamente logra reducir el error, pero no eliminar por completo.

3. Estabilidad del sistema

Finalmente, concluimos que el sistema es estable bajo la configuración actual, sin presentar una gran inestabilidad, sin embargo, dado al alto valor de K_p esto aumenta la posibilidad de pequeñas variaciones o ruidos en el sistema provocando oscilaciones no deseadas.

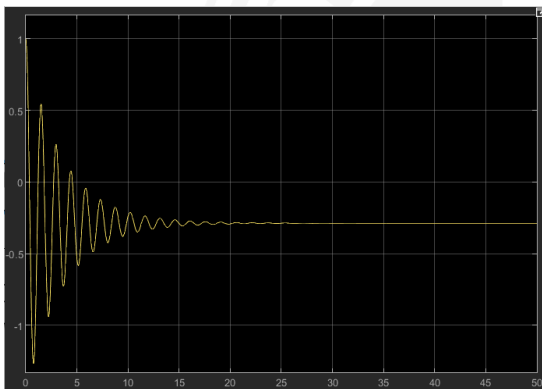


Figura 5. "Error para controlador P"

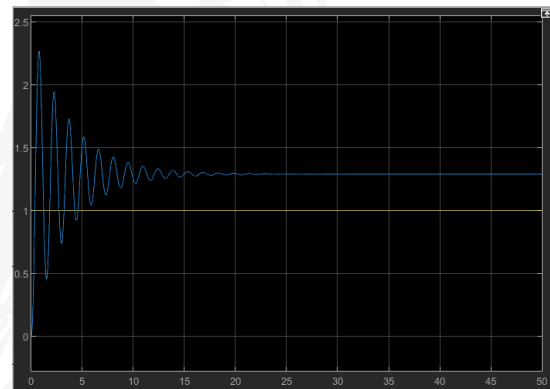


Figura 6. "Controlador P"

Controlador Proporcional-Integral (PI)

En la **figura 8** podemos ver la respuesta del sistema con un controlador proporcional-integral configurado con $K_p = 10$ y $K_i = 3$ el cual presenta la siguientes características:

1. Tiempo de respuesta

En la gráfica mostrada en la **figura 8**, se observa que la respuesta del sistema sigue siendo relativamente rápida, similar a la observada con el controlador proporcional solo. Esto se debe al valor alto de K_p , que permite que el controlador realice una corrección significativa en respuesta al error detectado.

2. Error de estado estacionario

En la **figura 7**, podemos observar que, a diferencia del controlador proporcional solo, el controlador PI logra reducir significativamente el error en estado estacionario. Esto se debe al término integral K_i , que acumula el error a lo largo del tiempo y lo corrige, lo que permite que el sistema alcance la referencia deseada con mayor precisión.

3. Estabilidad del sistema

Finalmente, concluimos que el sistema es estable bajo la configuración actual. El término integral ayuda a eliminar el error en estado estacionario, pero también introduce la posibilidad de que el sistema experimente pequeñas oscilaciones o sobreajustes si el valor de K_i no se sintoniza adecuadamente. Sin embargo, con $K_i = 3$, el sistema mantiene una estabilidad aceptable, sin grandes inestabilidades.

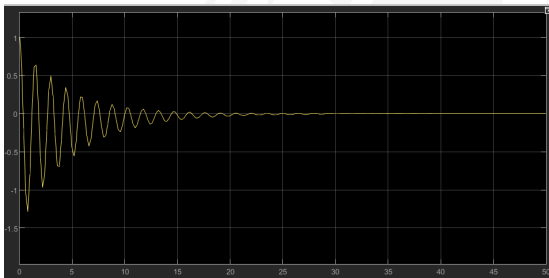


Figura 7. "Error para controlador PI"

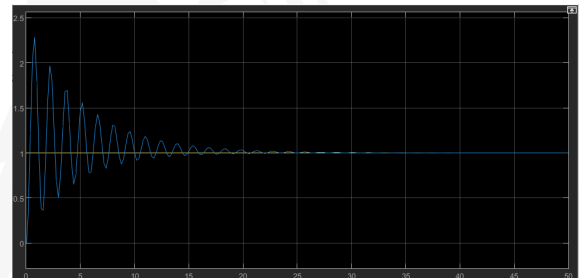


Figura 8. "Controlador PI"

Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID)

Finalmente en la **figura 10** podemos ver la respuesta del sistema con un controlador proporcional-integral-derivativo configurado con $K_p = 5$, $K_i = 3$ y $K_d = 3$ el cual presenta la siguientes características:

1. Tiempo de respuesta

En la gráfica mostrada en la **figura 10**, se observa que la respuesta del sistema sigue siendo rápida, pero con una mayor precisión en comparación con los controladores anteriores. El término derivativo K_d introduce una acción anticipada que mejora la rapidez de la respuesta sin sacrificar la estabilidad.

2. Error de estado estacionario

En la **figura 9**, se puede observar que el controlador PID no solo reduce el error en estado estacionario, sino que prácticamente lo elimina. El término integral K_i continúa acumulando y corrigiendo el error, mientras que el término derivativo K_d ayuda a prever y contrarrestar cualquier cambio brusco, lo que resulta en una respuesta más suave y precisa.

3. Estabilidad del sistema

Finalmente, concluimos que el sistema es estable bajo la configuración actual. El término derivativo ayuda a suavizar la respuesta del sistema y a reducir las oscilaciones que podrían haber sido introducidas por los términos proporcional e integral. Con los valores $K_p = 5$, $K_i = 3$ y $K_d = 3$, el sistema logra un equilibrio adecuado entre velocidad de respuesta, precisión y estabilidad.

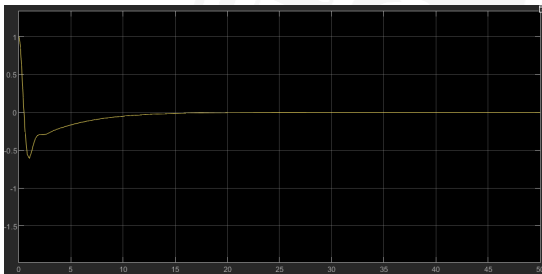


Figura 9. "Error para controlador PID"

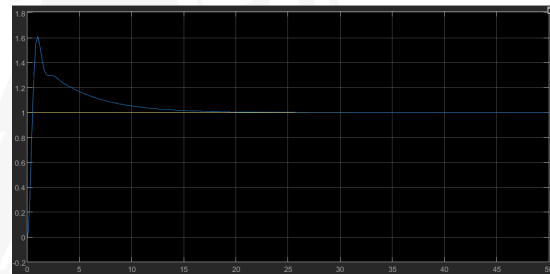


Figura 10. "Controlador PID"

Conclusiones

En esta práctica, pudimos evaluar el desempeño de los controladores P, PI y PID en la regulación de la posición angular de un péndulo simple mediante simulaciones en Simulink. Se analizaron el tiempo de respuesta, el error en estado estacionario y la estabilidad del sistema para cada controlador. El controlador P mostró una rápida respuesta al cambio en la referencia debido a un alto valor de K_p , pero no logró eliminar completamente el error en estado estacionario, y un valor alto de K_p puede inducir oscilaciones indeseadas. El controlador PI, con la adición del término integral K_i , mejoró significativamente la eliminación del error en estado estacionario, aunque el término integral puede causar oscilaciones si no se ajusta correctamente. El controlador PID combinó las ventajas de los controladores P y PI, añadiendo un término derivativo K_d que mejoró la rapidez de la respuesta sin comprometer la estabilidad, resultando en un control más preciso y estable.

Podemos concluir que la elección del controlador más adecuado depende de los requisitos específicos del sistema a controlar. El controlador P es simple y rápido, pero tiene limitaciones en la precisión final. El controlador PI es más preciso, pero puede inducir oscilaciones si no se ajusta correctamente. Finalmente, el controlador PID ofrece la mejor combinación de rapidez, precisión y estabilidad, siendo el más versátil de los tres para aplicaciones donde se requiere un control preciso y estable.

Referencias

LibreTexts. (2022, October 30). “Controladores PI, PD y PID”. LibreTexts Español.

Recuperado de:

<https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa Industrial y de Sistemas/Libro: Introducci%C3%B3n a los Sistemas de Control %28Iqbal%29/03: Modelos de sistemas de control de retroalimentaci%C3%B3n/3.3: Controladores PI, PD y PID>

