



Universidad Autónoma de Zacatecas

“Francisco García Salinas”

Unidad Académica de Ingeniería
Eléctrica



Programa de Ingeniería Electrónica Industrial

Laboratorio de Automatización de Procesos 6A

Impartida por: Kristal Trejo

Práctica 6: Diseño y aplicación de los controladores P y PI

Elaborado por:

- Félix Castañeda Angeles Odalys
- Arteaga Padilla Nallely
- Rodarte López Miguel Ángel

16 de mayo de 2022

Práctica 6: Diseño y aplicación de los controladores P y PI para la regulación de la velocidad de un motor de CC

I. INTRODUCCIÓN

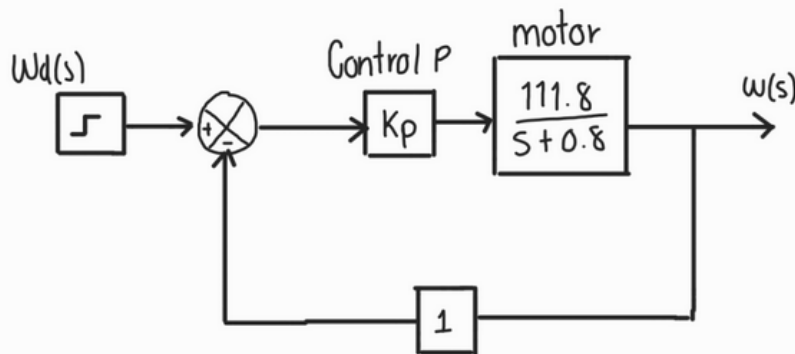
El controlador es un elemento fundamental en un sistema de control ya que, este se encarga de comparar el valor medido con el valor que se desea a la salida, con esta comparación permite calcular el error, es decir la diferencia entre el valor medido y el valor deseado, para así posteriormente reaccionar y corregir este error, de tal manera en la que el sistema pueda tener un valor y comportamiento determinado a la salida.

En la presente práctica se diseñarán los controladores P y PI para obtener una velocidad determinada de un motor de CC. El control proporcional (P) consiste en una ganancia K_p , la cual es ajustable, cuya acción del controlador es como su nombre lo indica proporcional al error. Mientras que el control proporcional integral (PI) tiene como finalidad el corregir errores que el control P en ocasiones no puede solucionar, este control combina las acciones del control proporcional e integral con lo cual puede producir una mejor corrección del error.

II. CÁLCULOS PREVIOS PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

Controlador P

▶ Velocidad deseada $W_d(s) = 1200 \text{ rpm}$



En el motor ya viene incluido la etapa de potencia y el sensor por lo que ambos serán igual a 1

F. T. Lazo cerrado

$$\frac{W(s)}{W_d(s)} = \frac{\frac{111.8 K_p}{s + 0.8}}{1 + \frac{111.8 K_p}{s + 0.8}} = \frac{111.8 K_p}{s + (0.8 + 111.8 K_p)}$$

Error en estado estable (Teorema del valor final)

$$\lim_{s \rightarrow 0} s W(s) = s \cdot \frac{111.8 K_p}{s + (0.8 + 111.8 K_p)} \cdot \frac{12}{s} = \frac{111.8 K_p}{0.8 + 111.8 K_p} (12) < \underline{1200 \text{ rpm}}$$

Tendría que ser 100 para que sea igual a 1200

→ Si $K_p = 1 \Rightarrow$ Velocidad final = 1,191.47 rpm

→ Si $K_p = 0.1 \Rightarrow$ Velocidad final = 1119.86 rpm

→ Si $K_p = 10 \Rightarrow$ Velocidad final = 1199.14 rpm

→ Si $K_p = 100 \Rightarrow$ Velocidad final = 1199.91 rpm

Análisis de estabilidad

$s + (0.8 + 111.8 K_p) \rightarrow$ Polo ubicado en $s = -(0.8 + 111.8 K_p)$

$-(0.8 + 111.8 K_p) < 0$

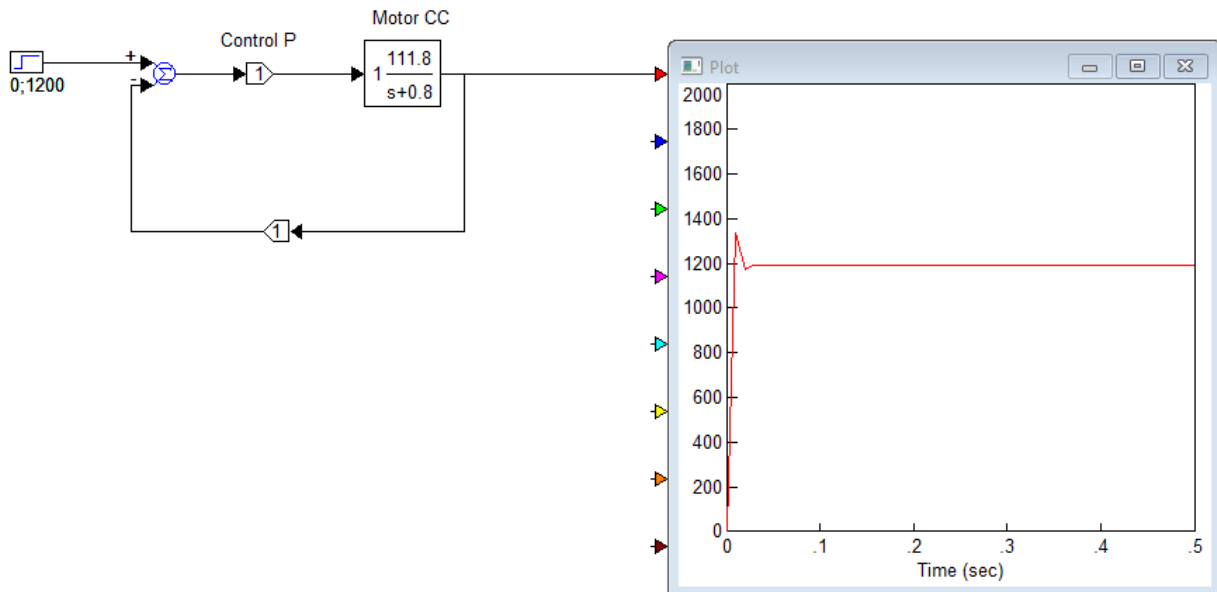
Despejando K_p

$$\cdot 0.8 + 111.8 K_p > 0$$

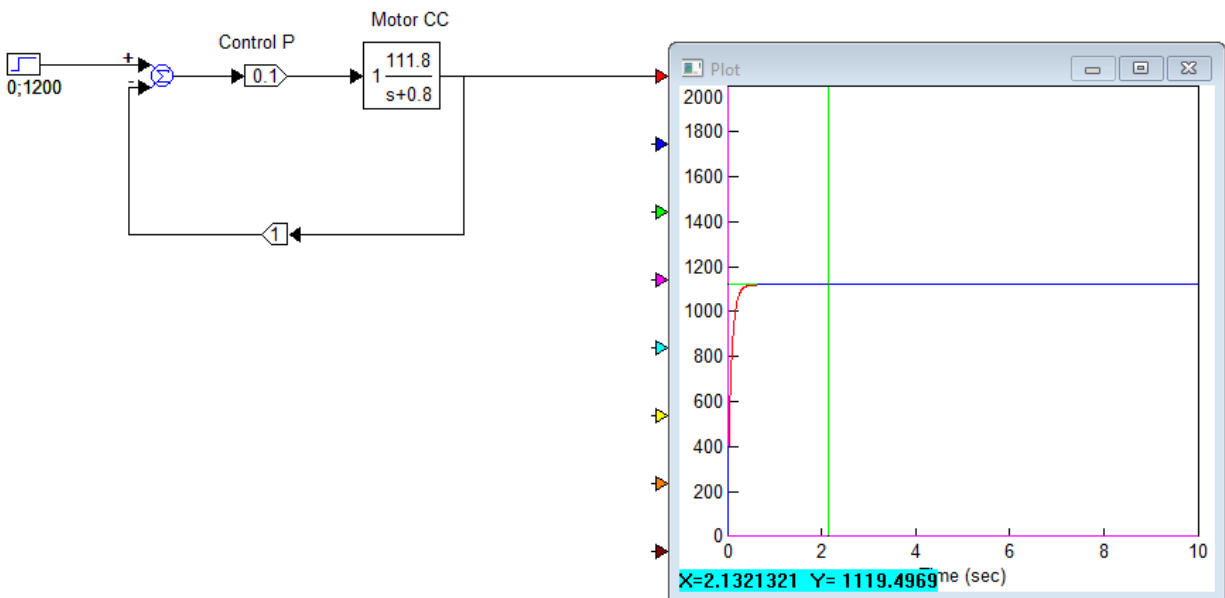
$$\cdot 111.8 K_p > -0.8 \rightarrow K_p > \frac{-0.8}{111.8} = -0.0071$$

Para que el sistema se estable $K_p > 0$

Simulación del sistema corregido con el controlado P



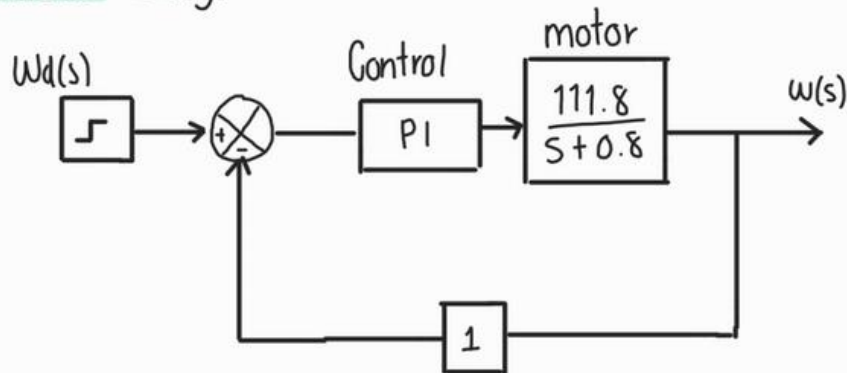
Con la ganancia $K_p=1$, se alcanza el valor deseado, sin embargo, se tiene cierta inestabilidad al inicio de la gráfica, ya que se encuentra un pico, además no se garantiza que el voltaje que entra al motor se encuentre dentro de sus límites de voltaje.



Con la ganancia $K_p= 0.1$, el sistema se encuentra sin oscilaciones, ni picos, sin embargo, no se alcanza el valor final deseado.

Controlador PI

Tiempo de asentamiento 5 seg.



Control PI: $\frac{K_p}{s} \left(s + \frac{1}{T_i} \right) = K_p + K_i/s$

Función de transferencia

$$\left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) \left(\frac{111.8}{s + 0.8} \right) = \left(\frac{s K_p + K_i}{s} \right) \left(\frac{111.8}{s + 0.8} \right) = \frac{111.8 (s K_p + K_i)}{s (s + 0.8)}$$

Lazo cerrado

$$\frac{w(s)}{W_d(s)} = \frac{\frac{111.8 (s K_p + K_i)}{s (s + 0.8)}}{1 + \frac{111.8 (s K_p + K_i)}{s (s + 0.8)}} = \frac{111.8 (K_p s + K_i)}{s^2 + (0.8 + 111.8 K_p) s + 111.8 K_i}$$

Error en estado estable (Teorema de valor final)

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} w(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} s W(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{111.8 (K_p s + K_i)}{s^2 + (0.8 + 111.8 K_p) s + 111.8 K_i} \left(\frac{1200}{s} \right) \\ &= \frac{111.8 K_i}{111.8 K_i} \cdot 1200 = 1(1200) = 1200 \end{aligned}$$

Si alcanzará el valor deseado

Análisis de estabilidad

→ Regla para primer y segundo orden

$$s^2 + (0.8 + 111.8 K_p)s + 111.8 K_i$$

▷ $1 > 0$

▷ $0.8 + 111.8 K_p > 0 \Rightarrow 111.8 K_p > -0.8 \Rightarrow K_p > -0.8/111.8 = -0.0071$
 $K_p > 0$

▷ $111.8 K_i > 0 \Rightarrow$ $K_i > 0$

Ajuste de las ganancias

→ Control: $\frac{K_p(s + 1/T_i)}{s}$

Cancelación del polo

◦ $\frac{1}{T_i} = 0.8 \Rightarrow T_i = \frac{1}{0.8} = 1.25$

} Control
 $\frac{K_p(s + 0.8)}{s}$

→ F.T Lazo cerrado

$$\left[\frac{K_p(s + 0.8)}{s} \right] \left[\frac{111.8}{s + 0.8} \right] = \frac{111.8 K_p}{s}$$

$$\frac{w(s)}{w_d(s)} = \frac{\frac{111.8 K_p}{s}}{1 + \frac{111.8 K_p}{s}} = \frac{111.8 K_p}{s + 111.8 K_p}$$

Con $t_s = 5s$

$$t_s \approx \frac{4}{111.8 K_p} \Rightarrow K_p = \frac{4}{111.8 t_s} = \frac{4}{111.8(5)} = \underline{0.0071}$$

Controlador

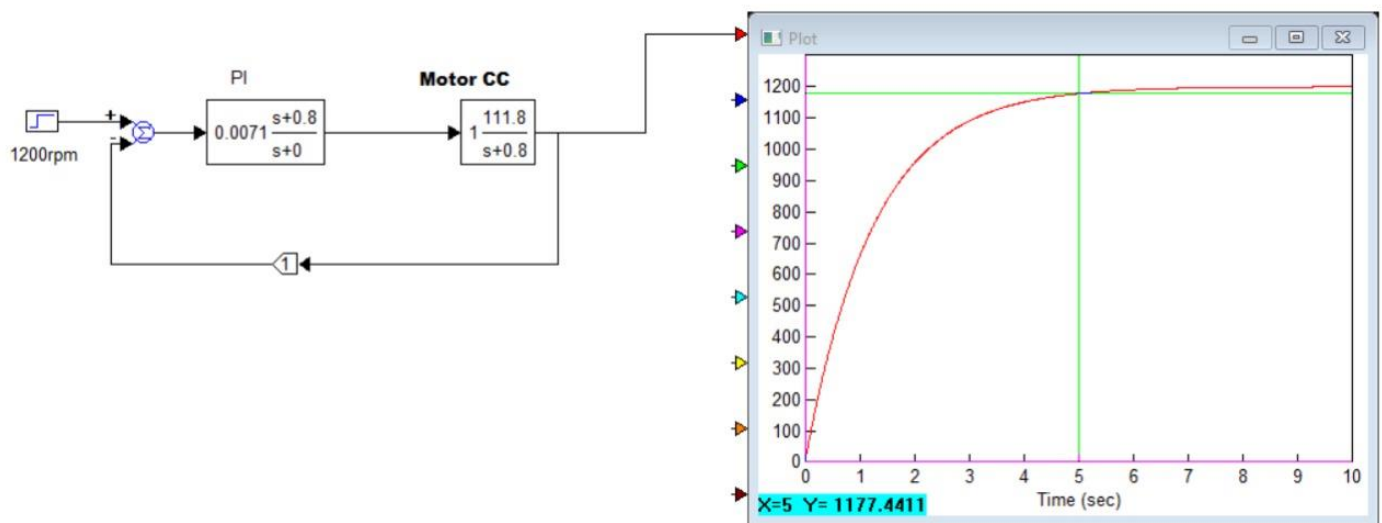
$$\frac{0.0071(s+0.8)}{s}$$

En función de las
2 ganancias

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0.0071}{1.25} = \underline{0.0057}$$

$$0.0071 + \frac{0.0057}{s}$$

Simulación del sistema corregido con el controlado PI

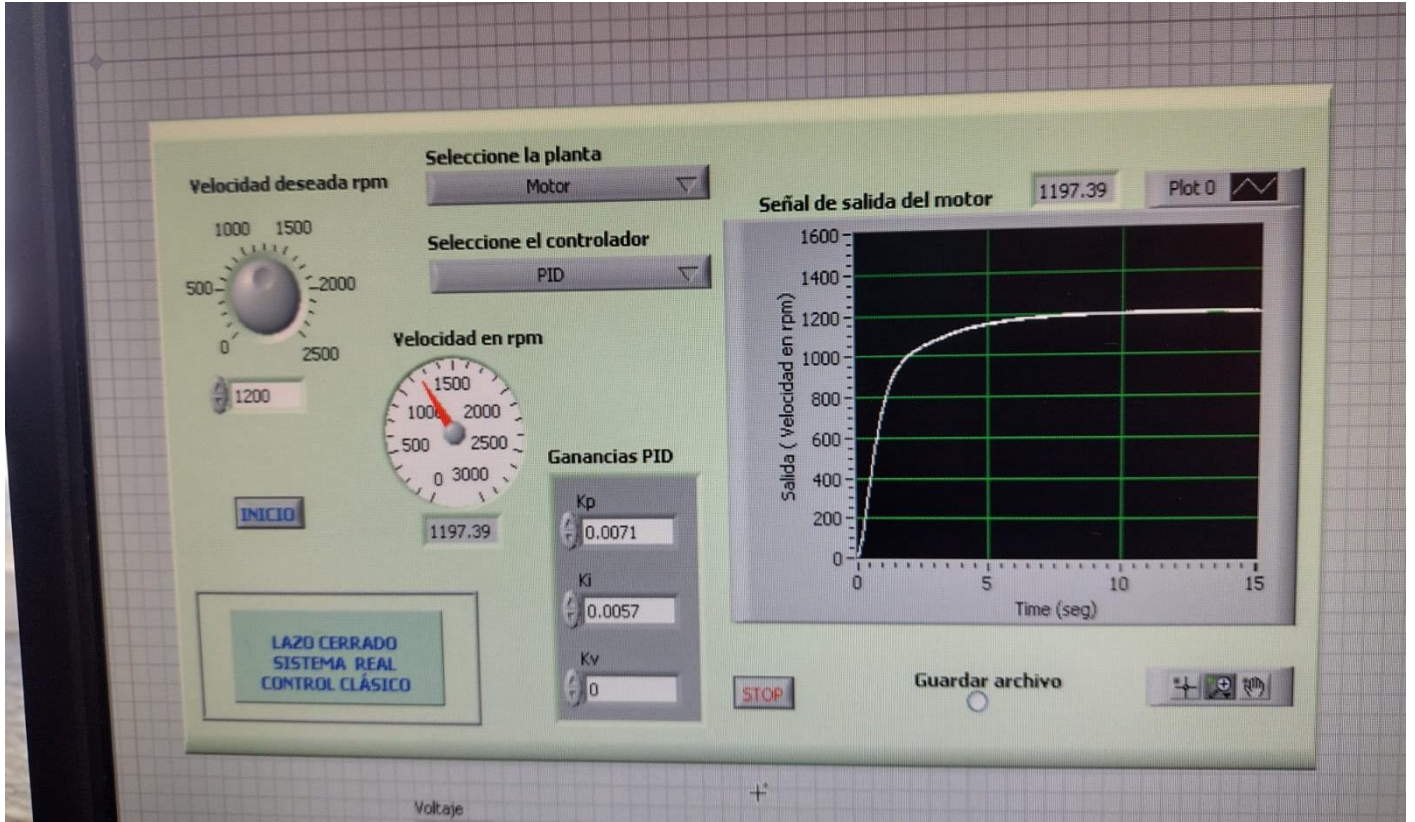


La salida se encuentra dentro del margen de error 2%

III. PASOS PARA REALIZAR LA PRÁCTICA

1.- Conexión de los circuitos de sistema

2.- Gráfica obtenida en LabVIEW



Se alcanzó el valor deseado en la salida con el controlador PI implementado en el sistema de control.

3.- Con los resultados obtenidos en la aplicación del controlador al sistema real del laboratorio, responda las siguientes preguntas:

- a) ¿A qué velocidad llega el sistema implementando en el laboratorio los controladores P y PI?

En el caso del control P no se realizó la implementación esto debido a que K_p puede tomar diversos valores y no uno en específico, e incluso algunos de los valores podrían dañar al equipo, por lo tanto, únicamente se realizó la simulación, en donde dentro del análisis de las simulaciones y considerando aquella en donde se tomó a la ganancia como $K_p=0.1$ para el controlador P se nos presentó una velocidad final teniendo un análisis

corregido de un valor de 1119.49 rpm, no llegando al valor deseado, pero presentando una subida sin picos y estable.

Ahora dentro de nuestro sistema en el controlador PI, se obtuvo en la señal de salida un valor de 1197.39, siendo muy cercano al valor deseado, así mismo en la simulación se pudo observar que a partir de los 5 segundos se obtuvo como resultado una velocidad de 1177.44 teniendo un margen de error del 2% pero siendo mucho más cercano a nuestro valor esperado.

b) ¿Los resultados son similares a los cálculos realizados? ¿Porqué?

Si, presenta los valores esperados en cada una de las simulaciones, incluyendo los errores tomados en la simulación. Esto gracias a un estado estable considerable. Se observó una ligera variación en su entrada de voltaje, pero esta fue corregida y a su vez también calculada con anterioridad.

c) ¿Cuál controlador es el adecuado para el sistema? ¿Porqué?

Tomando en cuenta los resultados y observando sus niveles más óptimos la mejor opción en este caso es en el tipo de controlador PI.

El tipo PI es la estructura más usual del controlador. La acción integral es la forma más simple de eliminar el error en régimen permanente. Otro caso es cuando el desfase que introduce el proceso es moderado.

También se recomienda la acción PI cuando hay retardos en el proceso, ya que, en este tipo de procesos la acción derivativa no resulta apropiada en este tipo de sistemas. Un tercer caso en el que se debería prescindir de la acción derivativa es cuando el proceso está contaminado con niveles de ruido elevados.

d) Conclusiones

Tras la realización de este trabajo se aprecia la importancia del procesamiento digital de imagen para el análisis en los cambios de voltaje, procurando cuidar nuestro propio equipo, ya que se pudo analizar una entrada de voltaje mucho mayor de lo esperado, si bien este se niveló este realce de voltaje a la larga puede dañar nuestro equipo.

El control PI siendo variable podemos jugar con sus valores, afectando la parte integral como la parte proporcional de la acción de control, de esta manera se pudo dar un acercamiento más óptimo a lo esperado sin margen de error y una mayor estabilidad.