

LABORATORIO No 4:Compensadores.

(Noviembre de 2023)

Mariana Jimenez Duarte, Dago Mauricio Quiroz Hoyos, Laura Valentina Buitrago Diaz
mariana.jimenezd@uqvirtual.edu.co, dagom.quirozh@uqvirtual.edu.co, laurav.buitragod@uqvirtual.edu.co
Universidad del Quindío

Resumen

Este laboratorio se enfoca en poner en práctica el diseño de un compensador para el control de un sistema deseado, encontrando el modelo lineal según los puntos de equilibrio sobre dicho sistema de prueba propuesto. Para esta práctica se desea conocer los parámetros deseados como el tiempo de establecimiento y sobre impulso comprobando el funcionamiento con su respectiva simulación.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se expone el diseño de un compensador para el sistema de prueba elegido, hélice con un grado de libertad, el cual permite corregir el comportamiento de dicho sistema modificando el lazo directo, esto mejora la respuesta del lazo cerrado y elimina el error estático de posición entre la salida deseada y la salida real del sistema.

Según la función de transferencia del sistema propuesto se experimentó hasta definir los puntos de equilibrio, con esto se identificó el polo deseado, para el cual se llevó a cabo el procedimiento necesario en el ajuste del comportamiento del sistema, empleando el método del lugar de las raíces. Asimismo, se analizó los parámetros para el diseño de un compensador en adelanto o un compensador en atraso, esto depende según lo requerido, si se desea mejorar la respuesta transitoria o mejorar el valor del estado estable del error.

En esta práctica se analizaron los métodos utilizados en el diseño del compensador, así como los resultados obtenidos en las simulaciones y pruebas correspondientes. Además, se detalló en las ventajas que ofrece este método para mejorar el comportamiento y la precisión del sistema.

Al finalizar se habrá profundizado en los diferentes métodos que se pueden realizar a un sistema para mejorar su comportamiento, esto con ayuda de las herramientas base para verificar y analizar el error que se encuentra.

II. MÉTODOS E INSTRUMENTOS

A. Instrumentos

Software:

LabVIEW, Matlab y Arduino.

Tabla 1. Lista de componentes.

Cantidad	Elemento	Referencia o valor
1	Microcontrolador	Arduino Uno
1	Microcontrolador	Puente H
1	Fuente	5v
1	Potenciómetro	10k
1	Motor	DC

B. Métodos.

La metodología de esta práctica partió de la función de transferencia del sistema de prueba propuesto que se muestra en la figura 1, obtenida según los puntos de equilibrio definidos.

$$G_s = \frac{-1.779s + 25.74}{s^2 + 6.338s + 19.44}$$

Posteriormente se realizó el análisis de la ubicación del polo deseado en el lugar de las raíces, con el fin de mejorar el error estático de posición realizando el diseño correspondiente del método de los compensadores.



Figura 1. Sistema propuesto hélice con un grado de libertad. Se realizó el procedimiento requerido para obtener los

parámetros, fue necesario tener en cuenta el criterio de magnitud y ángulo. Se partió del análisis del diseño de un compensador en adelante, estos cálculos se comprobaron desde simulink utilizando el diagrama de la figura 2.

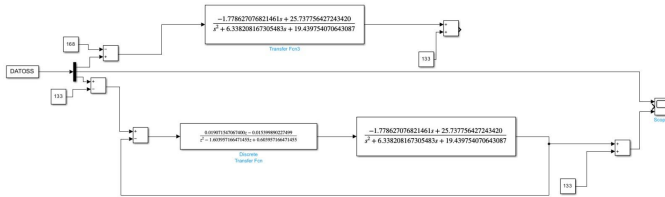


Figura 2. Diagrama desde simulink.

Se implementó un código en la IDE de Arduino para lograr simular el sistema y verificar su funcionamiento, para esto fue necesario pasar la función de tiempo continuo a tiempo discreto.

```
// Definición de pines del puente H L298N
#include <TimerOne.h>
const int motorPin1 = 2; // Conectar al pin IN1 del puente H
const int motorPin2 = 3; // Conectar al pin IN2 del puente H
const int enablePin = 5; // Conectar al pin Enable del puente H
int valorSensor;
volatile float Time = 0;
volatile float setpoint = 133; // Valor de referencia deseado
// Ganancia integral
float Y = 0; // Salida total
void setup() {
  Timer1.initialize(20000); //Inicializamos el timer en 50 milisegundos
  Timer1.attachInterrupt(Temporizador);
  Serial.begin(115200);
  // Configurar pines como salidas
  pinMode(motorPin1, OUTPUT);
  pinMode(motorPin2, OUTPUT);
  pinMode(enablePin, OUTPUT);
  //pinMode(potPin, INPUT);
  // Inicializar el motor detenido
  digitalWrite(motorPin1, LOW);
  digitalWrite(motorPin2, LOW);
  // Habilitar el puente H estableciendo el pin Enable en HIGH
  digitalWrite(enablePin, HIGH);
}
const double b1 = 0.019071547067400, b2 = -0.015399890227499; /**ganancia
const double a1 = -1.603957166471455 , a2 = 0.603957166471455;
double E = 0, E_1 = 0, E_2 = 0; //Entrada del sistema y retrasos
double U = 0, U_1 = 0, U_2 = 0; //Salida del sistema y retraso
void loop() {
  if(Serial.available() > 0) {
    char seleccion = Serial.read();
    if(seleccion == 'A') {
      Serial.print(Time);
      Serial.print(" ");
      Serial.print(U);
      Serial.print(" ");
      Serial.print(valorSensor);
      Serial.print(" ");
      Serial.println(setpoint);
    };
    if(seleccion == 'D') {
      while (Serial.available() == 0);
      int data = Serial.read();
      setpoint = data;
    }
  }
  void Temporizador(void)
  {
    Time = Time + 0.02;
    valorSensor = analogRead(A0);
    // Calcula el error
    E = setpoint - valorSensor; //ERROR
    U = -a1 * U_1 - a2 * U_2 + b1 * E_1 + b2 * E_2; //Ecuación de diferencia
    E_2 = E_1;
    E_1 = E;
    U_2 = U_1;
    U_1 = U;
    U = U + 133;
    // Saturacion
    if (U < 63) U = 63;
    if (U > 255) U = 255;
    analogWrite(enablePin, U);
    digitalWrite(motorPin1, HIGH);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
  }
}
```

Figura 2. Diagrama desde simulink.

Por último se emuló el sistema desde la herramienta de

LabVIEW comprobando los resultados obtenidos visualizados en la interfaz de LabVIEW.

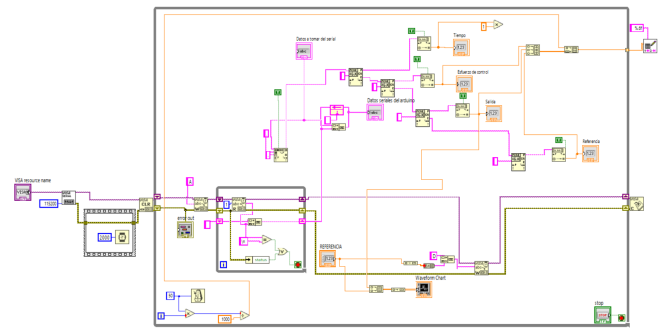


Figura 3. Diagrama desde LabVIEW.

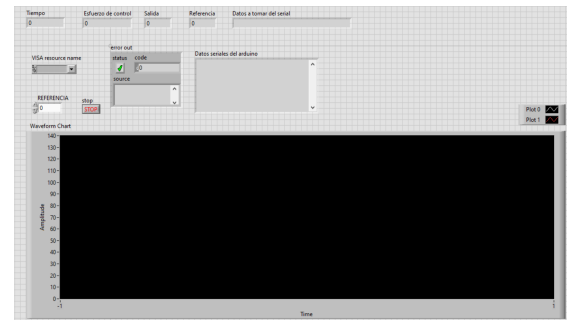


Figura 4. Interfaz desde LabVIEW.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para esta práctica se propone un compensador en adelante, el cual permite modificar el lugar de las raíces para obtener un polo deseado y mejorar las características del lazo cerrado de la función de transferencia.

Se parte del tiempo de establecimiento y el porcentaje de sobre impulso que tiene el sistema, con esto, encontrar el polo deseado. Posteriormente diseñar el compensador que mejore dicha respuesta.

$$T_s = 1s$$

$$\%Mp = 3.5\%$$

$$\text{Polo deseado: } \sigma \pm wd$$

Para obtener el polo deseado se hizo uso de las ecuaciones para un sistema de segundo orden.

$$wn = 5.48$$

$$\xi = \frac{4}{T_{sw}} = 0.73$$

$$\sigma = -\xi wn = 4$$

$$wd = wn \sqrt{1 - \xi^2} = 3.74$$

Con lo anterior se tiene el siguiente polo deseado: $4 + 3.74j$

Ceros: $-1.779s + 25.74 = 0$

Polos: $s_1 = -3.169 + 3.065j$ $s_2 = -3.169 - 3.065j$

Se expresan los polos y polos en la función original

$$G_s = \frac{-1.779(s-14.47)}{(s-(-3.169+3.065j))(s-(-3.169-3.065j))}$$

Se debe cumplir el criterio del ángulo, esto se logra según los valores que tomen a y b.

$$Kc = \left(\frac{s+a}{s+b}\right)\left(\frac{1}{s}\right) \times G_s = 180^\circ$$

$$(\angle s + a) + (\angle s - 14.47) - (\angle s + b) - (\angle s) - (\angle s - (-3.169 + 3.065j)) - (\angle s - (-3.169 - 3.065j))$$

$$\angle s + a = 29^\circ$$

$$\angle s + b = 10^\circ$$

$$\angle s + a - \angle s + b = 19^\circ$$

Con lo anterior se encuentra las respectivas distancias de a y b

$$a = 4\left(\frac{3.74}{\tan(s+a)}\right) = 10.7471$$

$$b = 4\left(\frac{3.74}{\tan(s+b)}\right) = 25.21$$

El polo deseado anterior no es propio para la implementación del método de los compensadores por ende se busca un polo más lento que se encuentre en el lugar de las raíces, esto haciendo uso de matlab para hallar dicho polo.

Polo deseado: $-2.7236 + 2.7198j$

$$\angle s + a + \angle s - 14.47 - \angle s - \angle s - (-3.169 + 3.065j) - \angle s - (-3.169 - 3.065j) - 180^\circ = 180^\circ \Rightarrow 371.88$$

El polo deseado es más rápido que el polo del sistema pero este hace más lenta la respuesta, puesto que hay un cero inestable, de igual forma, se cumple con la respuesta deseada. Es válido esto, sin embargo el polo deseado debería ser más lento que el del sistema y para conservar la FT a y b se ubicaron en la gráfica como se muestra en la figura 5.

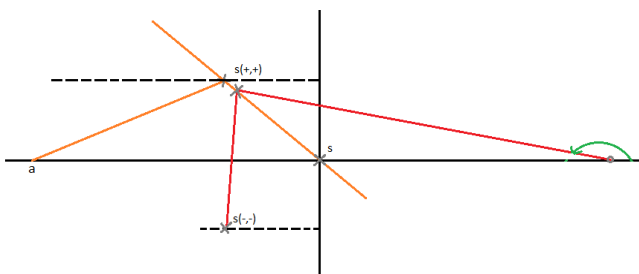


Figura 5. Gráfica ubicación de los polos.

Partiendo de la distancia de a

$$a = 10.7471$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{2.7198}{10.7471}\right) = 18.7$$

$$b = 2.7236 + \frac{2.7198}{\tan(6.9)} = 25.14$$

En la gráfica anterior se obtienen los respectivos ángulos

$$\angle s = \tan^{-1}\left(\frac{2.7198}{2.7236}\right) = 44.9^\circ$$

$$\angle s = 180 - 44.9 = 135.1^\circ$$

$$\angle s(+, +) = \tan^{-1}\left(\frac{3.065-2.7198}{3.169-2.7236}\right) = 37.8^\circ$$

$$\angle s(-, -) = \tan^{-1}\left(\frac{3.065+2.7198}{3.169-2.7236}\right) = 85.6^\circ$$

Para obtener el valor de Kc, se tiene la siguiente función de transferencia del compensador en adelante de lazo cerrado haciendo uso del criterio de magnitud.

$$Kc\left(\frac{s+10.7471}{s+25.2126}\right)\left(\frac{-1.779(s-14.47)}{(s-(-3.169+3.065j))(s-(-3.169-3.065j))}\right)$$

$$Kc\left(\frac{7.71433}{21.5397}\right)\left(\frac{(18.8448)}{(1.0706)(6.8555)}\right) = 1$$

$$Kc = 1.087467481$$

Resolviendo cada aporte de magnitud de cada cero y polo se logró obtener la expresión del controlador.

$$Gc(s) = 1.08746\left(\frac{s+10.7471}{s+25.2126}\right)$$

Para poder simular el sistema y observar la emulación desde el interfaz de LabVIEW se obtuvo la ecuación diferencial con la función de transferencia en tiempo discreto.

$$Gc(z) = \frac{0.190715470674z - 0.0153998902227499}{z^2 - 1.603957166471455z + 0.603957166471455}$$

Siendo:

$$b_0 = 0.190715470674$$

$$b_1 = 0.0153998902227499$$

$$a_1 = 1.603957166471455$$

$$a_2 = 0.603957166471455$$

Se obtiene así la siguiente ecuación:

$$Gc(z) = \frac{b_0z - b_1}{z^2 - a_1z + a_2} \cdot \frac{z^{-2}}{z^{-2}}$$

$$Gc(z) = \frac{b_0z^{-1} - b_1z^{-2}}{1 - a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} = \frac{y(z)}{u(z)}$$

$$y(z) = -a_1y(k-1) - a_2y(k-2) + b_0u(k-1) + b_1u(k-2)$$

Por medio de simulink se observaron los datos simulados y emulados desde la interfaz de LabVIEW, analizando su

comportamiento y el funcionamiento del sistema ante la respuesta del compensador en adelante como se muestra en la figura 6.

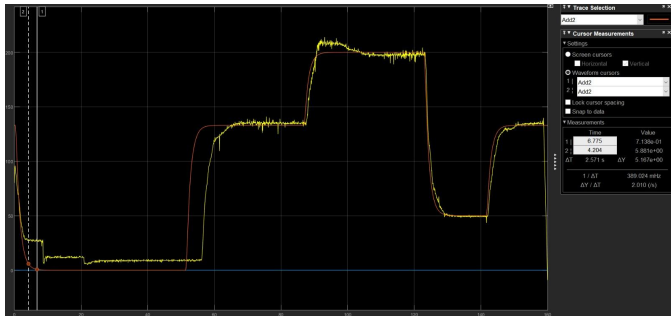


Figura 6. Respuesta simulada y emulada.

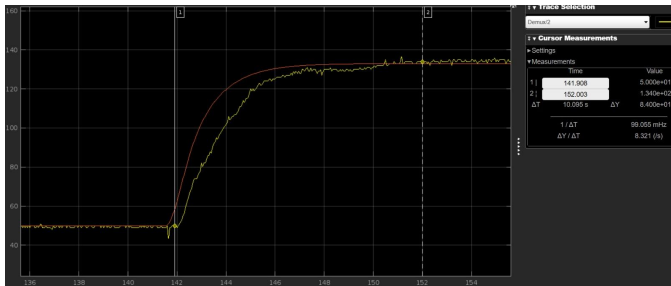


Figura 7. Respuesta detallada.

Es importante mencionar que el primer polo deseado no fue útil ya que se tenía que escoger un polo más lento, puesto que se veía forzado desde el punto del compensador.

Tabla 2. Resultados obtenidos.

Parámetros	Simulación	Emulación	%Error
%Sobrepulso	0	0	0
Tiempo de establecimiento	150s	152s	1.33%
Ganancia	1	1	0

En la tabla 2 se realiza una comparación de los datos obtenidos tanto simulados como emulados, de los cuales se evidencia que la respuesta del compensador en adelante es muy similar a la respuesta simulada por lo que se concluye que el polo deseado ubicado en el lugar de las raíces es el indicado.

IV. CONCLUSIONES

Los compensadores permiten ajustar y mejorar el comportamiento de sistemas dinámicos, lo que lleva a una mejor respuesta. Al corregir desviaciones y errores en la salida de un sistema, los compensadores ayudan a minimizar el error estático y a prevenir oscilaciones no deseadas, mejorando así la precisión y la estabilidad.

Los compensadores pueden diseñarse y ajustarse para cumplir con diferentes objetivos de desempeño, ya sea priorizando la respuesta transitoria, la estabilidad o cualquier otro requerimiento específico del sistema.

Durante el desarrollo de esta práctica se presentaron problemas en el comportamiento deseado del sistema. Se identificó que se necesitaba un polo más lento en el diseño del compensador, esto llevó a una respuesta del sistema que no cumplía completamente con las necesidades establecidas, como la capacidad del sistema para adaptarse y responder adecuadamente a los cambios de la señal de entrada.

En situaciones donde se requiere un polo más lento el diseño del compensador debe realizarse con especificaciones diferentes para garantizar la estabilidad y el rendimiento óptimo del sistema.

V. REFERENCIAS

[1] Control2/Laboratorio #1_ EMULACIÓN DE UN SISTEMA DE TERCER ORDEN (1).pdf at main · Dago02/Control2 (github.com)