

## Ejercicio N° 1

### EL4004 Fundamentos del Control de Sistemas (Otoño 2011)

Profesora : Dra. Doris Sáez H.  
Auxiliar : Bernardo Severino  
Ayudante : Camila Soto Berindoague  
([camisoto@ing.uchile.cl](mailto:camisoto@ing.uchile.cl))  
Daniel Pola  
Hugo Navarrete

### DISEÑO DE CONTROL PARA EL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

#### A) OBJETIVOS

Diseñar e implementar controladores PID digitales. Comparar sus resultados en un sistema simulado y en la planta real.

#### B) INSTRUCCIONES

Para el desarrollo del Ejercicio 1 se solicita:

- 1) Trabajar en equipo según los roles asignados.
- 2) Seguir el siguiente calendario de actividades. No se permiten atrasos.

Actividad	Fecha de entrega	Lugar de entrega
Enunciado ejercicio 1	Jueves 24/03	
Recepción Informe 1: Diseño de controladores (E)	Lunes 11/04 a las 12:00	Secretaría Docente 1º piso.
Sesión de laboratorio	Semana del 11/04 – 15/04	Laboratorio de Automática
Recepción Informe 2: Parte experimental (F)	2 días después de la sesión de laboratorio	Secretaría Docente 1º piso.

- 3) Pauta de evaluación:

Actividad	% Nota Ejercicio 1
Informe 1	60%
Sesión de laboratorio	30%
	Trabajo en equipo
	5% Auto-evaluación
	5% Co-Evaluación
	20% Evaluación Docente
Informe 2	10%

### C) INTRODUCCIÓN

El motor de corriente continua es una de primeras máquinas eléctricas desarrolladas y empleadas en la industria. Su funcionamiento se basa en convertir energía eléctrica en mecánica. Esta máquina es una de las más versátiles en la industria, pero con la llegada de la electrónica han caído en desuso pues los motores de corriente alterna del tipo asíncrono, pueden ser controlados de igual forma a precios más asequibles para el consumidor medio de la industria. Además, la mantención de las máquinas de corriente de continua es mucho mayor comparada con otro tipo de tecnologías por el desgaste que presentan sus componentes. Sin embargo su fácil control de posición, par y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en las áreas de control y automatización de procesos. Los motores de corriente continua se utilizan en diversas aplicaciones, como en el ámbito industrial, en sistemas de tracción para el transporte y en el ámbito doméstico.



*Figura 1: Tren ligero español*



*Figura 2: Correas transportadoras - Minera Maricunga*

La presente actividad posee como finalidad tener un acercamiento al control en una planta experimental, donde en primer lugar se diseñarán controladores en forma discreta y continua para el motor de corriente continua para luego aplicarlos en el equipo del laboratorio de Automática del DIE, ubicado en el segundo piso del Laboratorio de Electrotecnologías.

Para ello se cuenta con un motor de corriente continua con entrada de voltaje admisible entre 0 y 5 [V] y una salida asociada a un frecuencia-voltaje. A continuación se presenta la modelación de la planta y requerimientos para el diseño de controladores.



*Figura 3: Motor de Corriente Continua del Laboratorio de Automática*

## D) IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Se realizó en el laboratorio una identificación de parámetros para obtener la función de transferencia del motor de corriente continua.

Para ello, utilizando Matlab se obtuvieron datos de entrada-salida del motor. Con estos datos y basándose en el modelo ARX (Auto Regressive with eXternal input)

$$A(z)Y(z) = B(z)U(z) + e(z)$$

Donde  $A(z)$  y  $B(z)$  son polinomios de grado 2 y 1 respectivamente.

Se obtuvo la siguiente función transferencia discreta:

$$G(z) = \frac{-0.006942z + 0.2779}{z^2 - 0.3603z - 0.3729}$$

## E) DISEÑO DE CONTROLADORES

E.1. Esquematice el diagrama de bloques en lazo cerrado del sistema. Indique la variable manipulada, variable controlada, sensor, actuador y posibles perturbaciones. Señale la principal ventaja que presenta el control en lazo cerrado frente al control en lazo abierto.

Sea la siguiente referencia en Voltaje del sistema de control, se solicita:

$$r(t) = \begin{cases} 4 & 100 \leq t < 150 \\ 3 & 50 \leq t < 100 \\ 2.5 & 0 \leq t < 50 \end{cases}$$

E.2. Diseñe un controlador P, basado en el modelo discreto, tal que se obtenga una sobre oscilación de un 10%. Calcule el tiempo de estabilización. Calcule el error en estado estacionario  $e_{ss}$  para la referencia dada. Simule la respuesta en lazo cerrado usando Matlab Simulink para la referencia. Grafique variables controlada y manipulada. Justifique y comente sus resultados.

E.3. Diseñe un controlador PI discreto tal que se obtenga un tiempo de estabilización  $t_s = 1[s]$  y una sobre oscilación del 6%. Calcule el error en estado estacionario  $e_{ss}$  para la referencia. Simule la respuesta en lazo cerrado usando Matlab Simulink y la referencia. Grafique variables controlada y manipulada. Justifique y comente sus resultados. Explique los efectos al incorporar la acción integradora en el controlador. Además, encuentre la ecuación de recurrencia del controlador.

E.4. Diseñe un controlador PD discreto tal que se obtenga un tiempo de estabilización  $t_s = 1[s]$  y una sobre oscilación del 6%. Calcule el error en estado estacionario  $e_{ss}$  para la referencia dada. Simule la respuesta en lazo cerrado usando Matlab Simulink y la referencia. Grafique variables controlada y manipulada. Justifique y comente sus resultados. Explique los efectos al incorporar la acción derivativa en el controlador. Además, encuentre la ecuación de recurrencia del controlador.

E.5. Diseñe un controlador PID discreto tal que se obtenga un tiempo de estabilización  $t_s = 1[s]$  y una sobre oscilación del 6%. Calcule el error en estado estacionario  $e_{ss}$  para la referencia dada. Simule la respuesta en lazo cerrado usando Matlab Simulink y la referencia. Grafique variables controlada y manipulada. Justifique y comente sus resultados. Además, encuentre la ecuación de recurrencia del controlador.

E.6. Use la curva de reacción de Ziegler & Nichols para construir controladores P, PI y PID discretos. Simule la respuesta en lazo cerrado usando Matlab Simulink con la referencia dada. Grafique variables controlada y manipulada. Justifique y comente sus resultados.

E.7. Explique las ventajas y desventajas de los controladores diseñados.

## **F) PARTE EXPERIMENTAL EN LABORATORIO DE AUTOMATICA**

F.1. Implemente los controladores PI diseñados en la sección anterior en el Motor CC del Laboratorio de automática.

F.2. Analice y comente sus resultados experimentales. Compare con los resultados que obtuvo por simulación en E).

**Obs:** Recordar traer el día del laboratorio un pendrive para guardar los datos de las variables requeridas.