



**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIVERSIDAD DEL VALLE**

LABORATORIO DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL

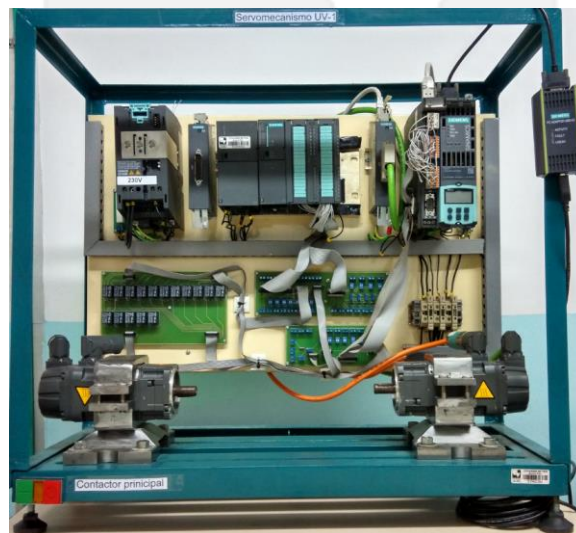
**PRÁCTICAS DE CONTROL LINEAL PARA
EL SERVOMECANISMO UV**

ELABORADO POR:

RICARDO ANDRÉS PÉREZ GARCÍA

DIRIGIDO POR:

EDINSON FRANCO MEJIA Ph.D.



CONTENIDO	Pág
INTRODUCCIÓN -----	5
METODOLOGÍA -----	5
EVALUACIÓN -----	5
1 PRÁCTICA 1: RECONOCIMIENTO DE LA BUCLA TÍPICA DE REALIMENTACIÓN Y MANEJO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL STARTER PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECHANISMO UV -----	6
1.1 Introducción -----	7
1.2 Objetivos específicos -----	7
1.3 Marco teórico -----	7
1.3.1 Servomecanismo UV -----	7
1.3.2 Componentes -----	8
1.3.3 Estructura del Sistema de Control -----	11
1.3.4 Principio de funcionamiento -----	11
1.3.5 Sistema de control de Velocidad del Servomecanismo UV -----	12
1.4 Procedimiento -----	13
1.5 Informe -----	14
2 PRÁCTICA 2: RESPUESTA EN EL TIEMPO Y MODELADO DE SISTEMAS DINAMICOS PARA CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECHANISMO UV -----	15
2.1 Introducción -----	16
2.2 Objetivos específicos -----	16
2.3 Marco teórico -----	16
2.3.1 Respuesta temporal continua -----	16
2.3.1.1 Respuesta permanente: -----	16
2.3.1.2 Respuesta transitoria -----	17
2.3.1.3 Técnicas de identificación de procesos -----	19
2.4 Procedimiento -----	22
2.5 Informe -----	23
3 PRÁCTICA 3: LUGAR GEOMÉTRICO DE LAS RAÍCES PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECHANISMO UV -----	24
3.1 Introducción -----	25
3.2 Objetivos específicos -----	25
3.3 Marco teórico -----	25
3.3.1 Lugar geométrico de las raíces -----	25
3.3.1.1 Sistemas en red cerrada -----	25
3.3.1.2 Variación de los polos de red cerrada -----	26
3.3.1.3 Criterios de magnitud y ángulo -----	27
3.4 Procedimiento -----	27
3.5 Informe -----	28

4	PRÁCTICA 4: RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL CONTROL DE VELOCIDAD PARA EL SERVOMECANISMO UV	29
4.1	Introducción	30
4.2	Objetivos específicos	30
4.3	Marco teórico	30
4.3.1	Características de respuesta en frecuencia	30
4.3.1.1	Margen de Ganancia	30
4.3.1.2	Margen de fase	31
4.3.1.3	Pico y Frecuencia de Resonancia	31
4.3.1.4	Frecuencia de Corte y Ancho de Banda	31
4.3.1.5	Diagrama de Bode de sistemas con tiempo muerto	32
4.4	Procedimiento	32
4.5	Informe	33
5	PRÁCTICA 5: ANÁLISIS Y SINTONIA DE LAS ACCIONES DE CONTROL P Y PI PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECANISMO UV	34
5.1	Introducción	35
5.2	Objetivos específicos	35
5.3	Marco teórico	35
5.3.1	Clasificación de los controladores industriales:	35
5.3.1.1	Acción Proporcional P	35
5.3.1.2	Acción Integral I	36
5.3.1.3	Acción Proporcional-Integral PI	36
5.3.2	Métodos de sintonía o ajuste empírico	36
5.3.2.1	Método de sintonía mediante la curva de reacción de Ziegler-Nichols	36
5.3.2.2	Método de la curva de reacción de Cohen-Coon	37
5.3.2.3	Método de oscilación de Ziegler-Nichols	37
5.4	Procedimiento	37
5.5	Informe	39
6	PRÁCTICA 6: DISEÑO DE CONTROLADORES P Y PI POR MEDIO DEL LUGAR GEOMÉTRICO DE LAS RAICES PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECANISMO UV	40
6.1	Introducción	41
6.2	Objetivos específicos	41
6.3	Marco teórico	41
6.3.1	Diseño de un controlador de acción proporcional P	41
6.3.2	Diseño de un controlador de acción proporcional integral I PI	42
6.4	Procedimiento	44
6.5	Informe	45
7	PRÁCTICA 7: SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓN Y MANEJO DE LA FUNCIÓN TECNOLÓGICA POSICIONADOR SIMPLE PARA EL SERVOMECANISMO UV	46
7.1	Introducción	46
7.2	Objetivos específicos	47
7.3	Marco teórico	47
7.3.1	Módulo de función del Sinamics S110	47

7.3.1.1 Regulación de posición-----	47
7.3.2 Sistema de control de posición del Servomecanismo UV -----	47
7.3.2.1 Posicionador Simple (PosS)  -----	48
7.4 Procedimiento -----	49
7.5 Informe -----	49
8 PRÁCTICA 8: RESPUESTA EN EL TIEMPO Y MODELADO DE SISTEMAS DINAMICOS PARA CONTROL DE POSICIÓN DEL SERVOMECANISMO UV -----	51
8.1 Introducción -----	52
8.2 Objetivos específicos -----	52
8.3 Marco teórico -----	52
8.3.1 Modelo del sistema de control de posición en lazo abierto-----	52
8.3.2 Modelo del sistema de control de posición en lazo cerrado-----	53
8.4 Procedimiento -----	53
8.5 Informe -----	54
BIBLIOGRAFIA-----	56

INTRODUCCIÓN

El cuaderno que se presenta es un texto guía que contiene información del manejo de la plataforma de servomecanismos –UV (sin incluir el PLC) y que permite al usuario (estudiante) el aprendizaje experimental de conceptos de fundamentos de sistemas de automáticos de control lineal a través de metodología conductivista.

Este texto contiene seis prácticas de laboratorio a desarrollar por el estudiante con el fin de analizar y diseñar el sistema de control de velocidad del servomecanismo UV, y dos prácticas para analizar y estudiar el sistema de control de posición. Cada práctica está estructurada por una fundamentación teórica en sistemas de control lineal y el procedimiento experimental con el fin de validar los conceptos con las herramientas tecnológicas empleadas en este sistema.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en el desarrollo de cada práctica es conductivista y el estudiante deberá leer esta guía en detalle, preparar lo indicado en el preinforme, antes de interactuar con el proceso. Una vez realizada la práctica el estudiante deberá realizar el informe como se detalla en cada práctica.

EVALUACIÓN

Antes de iniciar el procedimiento experimental se realizará una pequeña evaluación oral de la práctica a desarrollar, además de entregar las consultas del preinforme. El informe se debe presentar en el formato de presentación de artículos y la nota asignada a cada práctica se calculará de la siguiente manera:

Preinforme:	20%
Práctica:	40%
Informe:	40%

NOMENCLATURA

TP: Trabajo Presencial en el aula
Lab: Trabajo en el Laboratorio
TI: Trabajo Independiente
V: Visitas

Enseñanza tradicional: Enseñanza en aula donde el profesor parte de una verdad absoluta y condiciona al aprendiz a llegar al mismo resultado definiéndole el problema, los objetivos, el procedimiento y los materiales.

Metodología conductivista: Se entiende que es sinónimo de la enseñanza tradicional, impone al estudiante un procedimiento rígido para llegar a resultados pre-establecidos. En este contexto, se usa para definir la metodología en prácticas de laboratorio.

1 PRÁCTICA 1: RECONOCIMIENTO DE LA BUCLA TÍPICA DE REALIMENTACIÓN Y MANEJO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL STARTER PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECANISMO UV

Objetivo

Reconocer el proceso de regulación de velocidad del Servomecanismo UV y desarrollar competencias para su operación en el modo de regulación de velocidad con encóder.

Elementos y materiales

El Servomecanismo UV es una plataforma equipada con el fin de controlar dos motores síncronos de corriente alterna a través de las unidades de control de los accionamientos Sinamics S110 o desde un controlador superior PLC S7-300. Para el desarrollo de esta práctica se emplea un accionamiento Sinamics S110 con el fin de regular la velocidad sobre un motor de corriente alterna de imanes permanentes (síncrono) 1KF7, los elementos y materiales necesarios son los siguientes:

- 1 Unidad de control CU305 DP 6SL3 040-0JA00-0Axx.
- 1 Unidad de potencia Module 340 6SL3210-1SB12-3Axx (240V AC).
- 1 Motor síncrono 1KF7032-xAF2x-xxxx 3000U/min (Imanes permanentes).
- 1 Encóder 1K7xxx-xxxxx-xAxx (sen/cos incremental), 2048, 1Vpp.
- 1 Acondicionador de señal SMC20 (sensor módulo Cabinet-Mounted).
- Adaptador Simatic PC USB A2.
- Software STARTER.
- Manual de operación para el control de velocidad y posición del Servomecanismo UV utilizando STARTER.

Tiempo

TP: 0.5 h; Lab: 2 h; TI: 2 h; V: 0 h

Prerrequisitos

Para realizar esta práctica el estudiante deberá conocer el principio básico de un Servomecanismo DC y las diferentes terminologías empleadas en el sistema de control de velocidad.

Preinforme

Actividades

- Estudiar el concepto de control de servomecanismos, su funcionamiento y aplicaciones en la industria.
- Investigar sobre variadores de velocidad y sus principales técnicas de control
- Realizar con detalle esta guía.

1.1 Introducción

Un paso fundamental para el estudio y análisis del Sistema de Control de un proceso es hacer el reconocimiento de la bucla típica de control del sistema, en la cual se realiza la identificación de sus componentes, su estructura y principio de funcionamiento, esta práctica tiene como objetivo principal guiar al lector para un reconocimiento del sistema y adquisición de habilidades en el software de puesta en marcha y medición del equipo.

1.2 Objetivos específicos

- Reconocer los componentes físicos y la estructura que conforman el lazo típico de control de velocidad en el Servomecanismo UV.
- Poner en marcha el Servomecanismo UV con la plataforma STARTER.
- Aprender a medir y a exportar los datos asociados a los experimentos desarrollados en el de Servomecanismo UV con la plataforma STARTER.

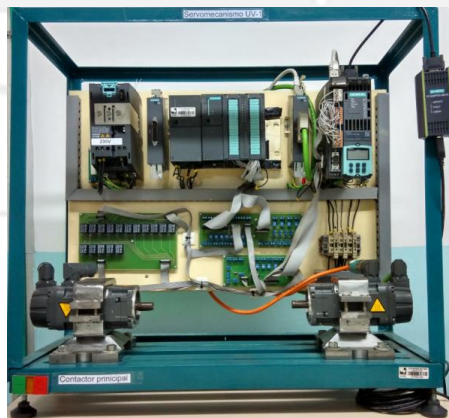
1.3 Marco teórico

1.3.1 Servomecanismo UV

El Servomecanismo UV (ver figura 1) es una plataforma industrial compuesta por elementos marca SIEMENS de características industriales, con el fin de controlar la variable de posición y velocidad de un motor de corriente alterna, este servosistema trabaja principalmente a través de la unidad de control del accionamiento o variador de velocidad Sinamics S110 el cual cuenta con un sistema integrado de posicionamiento básico ideal para tareas que exigen posicionar ejes de forma simple, rápida y exacta [1].

El principal funcionamiento de este servosistema o accionamiento es controlar la velocidad y la posición de motores de corriente alterna, el motor es accionado por medio del variador SINAMICS S110 compuesto por una unidad de control y una de potencia.

Figura 1 Servomecanismo UV.



Algunas aplicaciones son:

- Manipuladores
- Equipos de alimentación y toma de piezas
- Apiladores
- Máquinas de montaje automático
- Automatización de laboratorios
- Ejes de reglaje; y seguidores por ejemplo : paneles fotovoltaicos

1.3.2 Componentes

Accionamiento Sinamics s110: El accionamiento eléctrico SINAMICS S110 es un dispositivo que está compuesto por dos módulos, un módulo de control CU320 y uno de potencia PM340 [2] (ver figura 2).

Figura 2 Variador de velocidad Sinamics S110



Fuente: Página 2, [3]

Módulo de potencia PM 340: Es el modulo encargado de la fuerza del accionamiento, y este opera a través de las señales controladas en el módulo de control, este módulo de potencia está caracterizado de la siguiente manera.

- Rectificador de diodos del lado de red
- Condensadores electrolíticos del circuito intermedio con circuito de precarga
- Ondulador de salida
- Chopper de freno para resistencia de freno (externa)
- Alimentación de 24 V DC/1 A
- Ventiladores para refrigerar los semiconductores de potencia

Los Power Modules cubren el rango de potencias de 0,12 kW a 90,0 kW y están disponibles en ejecuciones con o sin filtro de red, la figura 3 corresponde a la unidad de potencia del variador S110 PM 340 [2].

Unidad de Control CU305 DP: es la unidad la que se realizan las funciones de regulación y control del accionamiento, la Figura 4 representa la unidad de control CU305 DP del variador de velocidad S110 [2].

Figura 3 Unidad de potencia PM340.



Fuente: Tabla 3-1. Vista general de Power Modules PM340, página 53 [2]

Figura 4 Unidad de Control CU305 DP



Fuente: Página 12, [3]

Acondicionador de señal SMC20: Este módulo se utiliza para evaluar señales de los encoders incrementales con señales senos de 1Vpp o de encoders absolutos con eNDat 2.1 o ss1, cuando los motores no tienen comunicación DRIVE CLiQ es necesario utilizar un acondicionador de señal DRIVE CLiQ es necesario un SMC20 como se ve en la figura 5.

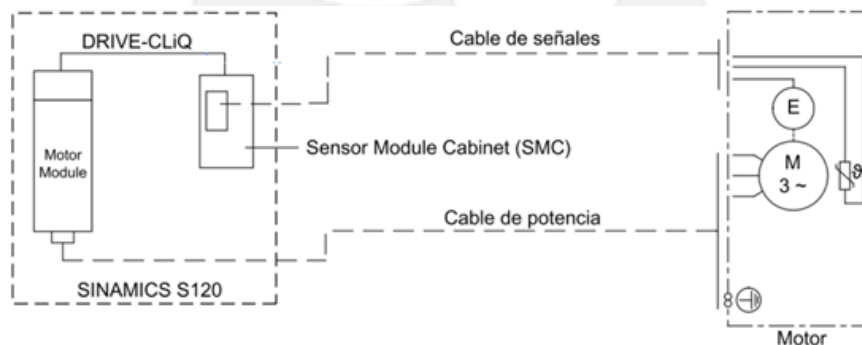
Figura 5 Sensor Module Cabinet SMC20



Fuente: Página 28 [3]

El sensor módulo Cabinet-Mounted procesa las señales que vienen del encoder y envía a la unidad de control la información vía DRIVE-CLiQ por ejemplo información sobre velocidad, posición real y dado el caso la temperatura del motor, la figura 6 contiene la conexión del captador a través de un Sensor Module Cabinet [4].

Figura 6 Conexión del captador de señal



Fuente: Figura 6-6 Conexión de encoder sin DRIVE-CLiQ, página 38 [4]

Motor Síncrono 1FK7: Es un motor muy compacto donde es excitado por imanes permanentes, estos motores tienen la ventaja de adaptarse de manera óptima a cualquier aplicación empleando los diversos componentes opcionales como reductores, captadores y encoders disponibles (sistemas integrados para regulación de velocidad y posición) [4], asociados a los variadores SINAMICS S120 componen un potente sistema con alta funcionalidad y alta capacidad de sobre carga ver figura 7.

Campo de aplicación

- Máquinas herramienta
- Robots y sistemas de manipulación
- Transformación de madera, vidrio, cerámica y piedras
- Máquinas de embalaje, de transformación de plásticos y textiles
- Ejes auxiliares

Figura 7 Motor síncrono 1FK7.



Fuente: Página 29 [3]

Figura 8 Adaptador Simatic PC USB A2



Fuente: Página 11 [5]

La serie de motores síncronos 1FK7 contienen sistemas incorporados de encoders con o sin interfaz DRIVE-CLiQ, entre estos sistemas se pueden encontrar:

- Encóder incremental sen/cos 1 VPP 2048 S/R
- Encóder absoluto 1), multivuelta.
- 2048 S/R en 1FK704 a 1FK710.
- 512 S/R en 1FK702 a 1FK703 y rango de desplazamiento 4096 R (vueltas) con interfaz EnDat

Características generales:

Las características eléctricas y en general para un motor 1FK7 que trabaja con un módulo de potencia de alimentación a AC 230 V están contenidas en la tabla 1.

Tabla 1. Datos técnicos de motor 1FK7

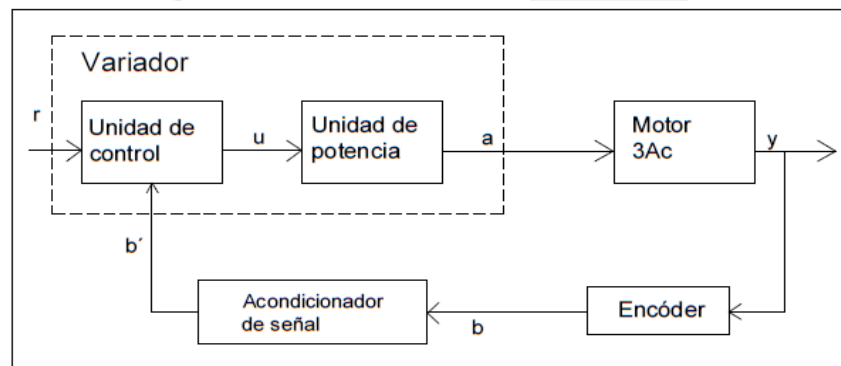
Datos técnicos	Símbolo	Unidad	-5AF21	
Datos para proyecto y dimensionamiento				
Velocidad de giro asignada	n_N	r/min	3000	
Número de polos	2p		6	
Par asignado (100 K)	M_N (100 K)	Nm	1	
Corriente asignada (100 K)	I_N	A	1,6	
Par a rotor parado (60 K)	M_0 (60 K)	Nm	0,85	
Par a rotor parado (100 K)	M_0 (100 K)	Nm	1,15	
Corriente a rotor parado (60 K)	I_0 (60 K)	A	1,4	
Corriente a rotor parado (100 K)	I_0 (100 K)	A	1,7	
Momento de inercia (con freno)	J_{motBr}	10^{-4} kgm ²	0,69	
Momento de inercia (sin freno)	J_{mot}	10^{-4} kgm ²	0,61	
Punto óptimo de funcionamiento				
Velocidad óptima	n_{opt}	r/min	3000	
Potencia óptima	P_{opt}	kW	0,31	
Datos límites				
Velocidad máx. admisible (mec.)	$n_{máx\ mec}$	r/min	10000	
Velocidad máx. admisible (convertidor)	$n_{máx\ inv}$	r/min	6440	
Par máximo	$M_{máx}$	Nm	4,5	
Corriente máxima	$I_{máx}$	A	7	
Constantes físicas				
Constante de par	k_T	Nm/A	0,67	
Constante de tensión	k_E	V/1000 min ⁻¹	45	
Resistencia del devanado a 20°C	R_{tr}	ohmios	5,2	
Inductancia cíclica	L_D	mH	18,5	
Constante de tiempo eléctrica	T_{el}	ms	3,6	
Rigidez torsional del eje	T_{mec}	ms	2,2	
Constante de tiempo mecánica	T_{th}	min	25	
Constante de tiempo térmica	C_t	Nm/rad	6500	
Peso con freno	m_{motBr}	kg	3	
Peso sin freno	m_{mot}	kg	2,7	
Power Module recomendado 6SL3210-1SB12-3UA0				
Intensidad asignada	$I_N\ inv$	A	2,3	
Intensidad máxima convertidor	$I_{máx\ inv}$	A	4,6	
Par máximo con $I_{máx\ inv}$	$M_{máx\ inv}$	Nm	3	

Adaptador Simatic PC USB A2: Este adaptador permite la conexión de ordenadores portátiles o PC mediante puerto USB para controladores Simatics S7, esta conexión puede ser establecida mediante comunicación MPI (Multi Point Interface) o puerto Profibus de los sistemas Simatic S7 ver figura 8 [5].

1.3.3 Estructura del Sistema de Control

La estructura general del sistema de control del Servomecanismo UV permite comprender la bucla típica de realimentación y operación básica empleada del accionamiento, en donde el objetivo principal es controlar la planta o el motor, de tal forma que se mide la señal de la planta en este caso el motor 1FK7 a través de un encóder interno del motor, acondicionando la señal a través de un SMC20 para comparar la señal a controlar con la señal de referencia en la unidad de control CU305, en donde se aplica una técnica de control y se ordena al actuador en este caso la unidad de potencia PM340 modificar los parámetros de entrada de la planta o motor, el Servomecanismo UV puede controlar diferentes variables del motor síncrono 1FK7 como por ejemplo par, velocidad y posición (ver figura 9).

Figura 9. Estructura del sistema de control del Servomecanismo UV



Los elementos que componen la bucla típica de realimentación se definen de la siguiente manera.

Planta: Motor síncrono 1FK7 -230V

Elementos de realimentación: Encóder Incremental y acondicionador de señal SMC20

Controlador: Unidad de control CU305

Actuador: Unidad de potencia PM340

Nota: Es posible accionar el sistema desde un controlador superior como un PLC S7300 por medio de una comunicación PROFIBUS o acondicionamiento de señales con la unidad de control CU305.

Las señales de control se definen de la siguiente manera:

- r:** Señal de referencia (velocidad, posición)
- u:** Señal de control: Señal enviada desde el controlador hasta el actuador (señal de salida del controlador PI)
- a:** Señal actuante: señal enviada desde la unidad de potencia hacia el motor (corriente trifásica del inducido)
- b:** Señal de realimentación (encóder)
- b':** Señal de realimentación (SMC20)
- y:** Señal de salida o controlada (Velocidad, posición).

1.3.4 Principio de funcionamiento

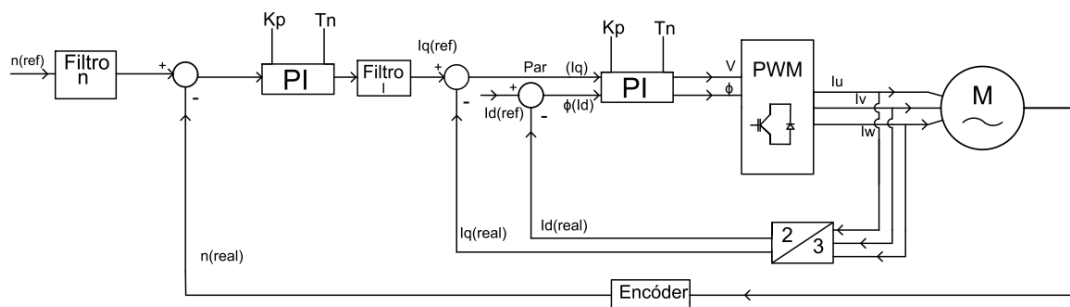
Con el fin de controlar la velocidad del motor la unidad de control emplea una técnica de control vectorial o control de campo orientado, permitiendo controlar la velocidad de un motor de corriente alterna como un motor de corriente continua (servorregulación).

La técnica de control vectorial busca relacionar la corriente de alimentación de un motor de corriente alterna con la corriente de armadura y de campo de un motor de corriente continua por medio de una transformación vectorial de la corriente trifásica de alimentación de las fases i_a, i_b, i_c desfasadas cada una en 120° , en la corriente por el eje de cuadratura i_q y por el eje directo i_d desfasadas en 90° [6].

A partir de esta relación y considerando que la corriente por el eje de cuadratura refleja la potencia activa y la corriente por el eje directo refleja la potencia reactiva de la máquina es posible controlar la velocidad de un motor de corriente alterna de forma análoga a como se controla la velocidad de un motor de corriente continua, teniendo en cuenta que la potencia activa es proporcional a la corriente de armadura y la potencia reactiva es proporcional a la corriente de campo [7].

A partir de esta información el sistema de control que describe de mejor forma la servorregulación empleada por SIEMENS en el accionamiento se representa en la figura 10.

Figura 10. Servorregulación para control de Velocidad empleado por Siemens

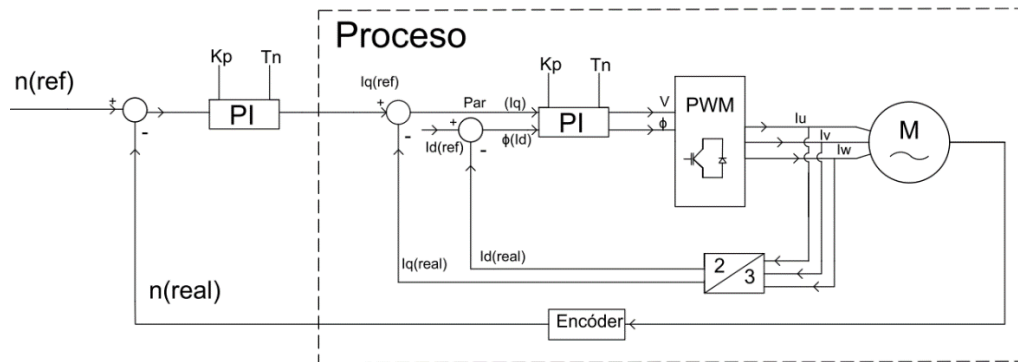


El controlador utilizado para el lazo de velocidad y corriente del sistema es un PI, por lo general un lazo de control velocidad se le adiciona un lazo de control interno de corriente con el fin de mejorar la dinámica y el error estacionario del proceso, el servomecanismo utiliza un inversor trifásico PWM que recibe la señal de control del controlador PI con el fin de variar la velocidad del motor a partir de la frecuencia y la tensión de alimentación.

1.3.5 Sistema de control de Velocidad del Servomecanismo UV

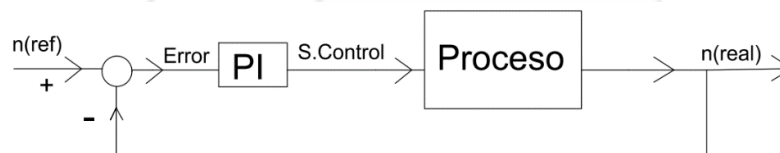
A partir del principio de funcionamiento del sistema, la estructura y los componentes del sistema de control del Servomecanismo empleado por Siemens, se define el sistema de control de velocidad a trabajar para las prácticas experimentales con el fin de cumplir con los objetivos planteados en las prácticas de control lineal. Considerando que el sistema presenta restricciones de operación, configuración y parametrización, no es posible modificar los lazos de control del accionamiento imposibilitando trabajar directamente con el lazo abierto de control de velocidad. Por lo tanto el sistema de control a trabajar será el que se compone a partir del lazo de regulación de velocidad del Servomecanismo el cual emplea un controlador PI ver figura 11.

Figura 11. Lazo de control PI equivalente para el Control de velocidad



Donde la velocidad es la variable a controlar por medio de un lazo de control (PI), la planta o el proceso es el motor con el lazo de regulación de corriente y la dinámica del inversor y el lazo de realimentación es de ganancia unitaria. La figura 12 representa el sistema de control equivalente a trabajar.

Figura 12. Sistema de control PI de velocidad del Servomecanismo UV



Nota: Es posible modificar los parámetros del controlador PI del lazo de velocidad, de modo que se puede trabajar solamente con una acción proporcional.

Para la señal de referencia del sistema r se toma la señal de referencia de velocidad $n(\text{ref})$ la cual es definida por Siemens como el parámetro $r60$ en el accionamiento y para la señal de salida y se toma la señal real de velocidad $n(\text{real})$ la cual es definida por Siemens como el parámetro $r63$ en el accionamiento (ver medición y exportación de datos).

1.4 Procedimiento

El desarrollo experimental de esta práctica se realiza a través de la plataforma STARTER para puesta en marcha y medición del equipo, por lo tanto es necesario ver la sección 2 (sin la sección 2.4) para regulación de velocidad y la sección 3 para la medición y exportación de datos del manual de operación para el Control de Velocidad del Servomecanismo UV Utilizando STARTER.

Ejercicio 1

Reconocimiento de la bucla típica

- Reconocer el lazo típico de control de Velocidad y sus componentes, para el Servomecanismo UV (acompañarlo de una lista de chequeo).

Ejercicio 2

Creación del proyecto y puesta en marcha

- Crear un proyecto en la plataforma STARTER para el Servomecanismo UV.
- Poner en marcha el Servomecanismo UV para la regulación de velocidad con encóder.
- Asignar una velocidad de referencia para el motor de 1000 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm en sentido directo.
- Cambiar el sentido de giro del motor para las tres diferentes velocidades mencionadas en el punto anterior.

- En el punto de operación de 3000 rpm aplicar un cambio en la referencia de amplitud positiva y negativa de 150 rpm (escalón).

Ejercicio 3

Medición y exportación

- Realizar la medición de la velocidad de referencia y la velocidad real del sistema para los puntos anteriores empleando la función TRACE de la herramienta STARTER.
- Exportar las mediciones realizadas en hojas de datos (Excel, Bloc de notas).
- Nota: Para la velocidad de referencia medir el parámetro r60 y para la velocidad real el parámetro r63, la unidad de medida empleada para la velocidad del Servomecanismo UV está en rpm.

1.5 Informe

Cada grupo debe entregar por escrito el INFORME que estará estructurado de la siguiente manera:

1. Desarrollo de la práctica
 - 1.1 Ejercicio 1: Desarrollo (descripción del ejercicio)
 - 1.2 Ejercicio 2: Desarrollo (descripción del ejercicio) y mediciones.
 - 1.3 Ejercicio 3: Desarrollo (descripción del ejercicio) y mediciones.
2. Análisis descriptivo del proceso, bucla típica de realimentación, funcionamiento y control de velocidad del Servomecanismo UV
3. Conclusiones
4. Bibliografía

Universidad
del Valle

2 PRÁCTICA 2: RESPUESTA EN EL TIEMPO Y MODELADO DE SISTEMAS DINAMICOS PARA CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECANISMO UV

Objetivo

Adquirir habilidades para analizar el desempeño estático y dinámico del proceso de regulación de velocidad y a partir de esta información obtener el modelo matemático.

Elementos y materiales

El Servomecanismo UV es una plataforma equipada con el fin de controlar dos motores síncronos de corriente alterna a través de las unidades de control de los accionamientos Sinamics S110 o desde un controlador superior PLC S7-300. Para el desarrollo de esta práctica se emplea un accionamiento Sinamics S110 con el fin de regular la velocidad sobre un motor de corriente alterna de imanes permanentes (síncrono) 1KF7, los elementos y materiales necesarios son los siguientes:

- 1 Unidad de control CU305 DP 6SL3 040-0JA00-0Axx.
- 1 Unidad de potencia Module 340 6SL3210-1SB12-3Axx (240V AC).
- 1 Motor síncrono 1KF7032-xAF2x-xxxx 3000U/min (Imanes permanentes).
- 1 Encóder 1K7xxx-xxxxx-xAxx (sen/cos incremental), 2048, 1Vpp.
- 1 Acondicionador de señal SMC20 (sensor módulo Cabinet-Mounted).
- Adaptador Simatic PC USB A2.
- Software STARTER.
- Manual de operación para el control de velocidad y posición del Servomecanismo UV utilizando STARTER
- Herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación.

Tiempo

TP: 0.5 h; Lab: 2.5 h; TI: 3 h; V: 0 h

Prerrequisitos

Se requiere para desarrollar esta práctica que el estudiante haya realizado de manera exitosa la práctica 1, además de reconocer topología empleada en sistemas de red abierta y de red cerrada y la representación de modelos dinámicos en la frecuencia compleja S , de igual forma se deben tener destrezas en la importación de datos y creación de modelos utilizando herramientas matemáticas tecnológicas con el fin de analizar la respuesta temporal del sistema.

Preinforme

Actividades

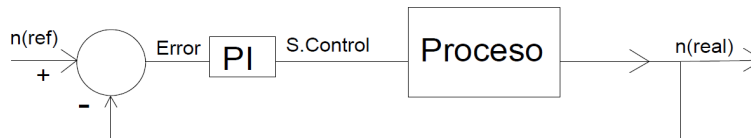
- Consultar:
Sistemas de segundo orden sobreamortiguado, subamortiguado y críticamente amortiguado.
Sistemas de Control de lazo abierto y lazo cerrado.
- Realizar con detalle la lectura de la práctica

2.1 Introducción

La identificación de procesos permite desarrollar habilidades experimentales, enriqueciendo además los conceptos teóricos de Sistemas Automáticos de Control así como el manejo de las nuevas herramientas tecnológicas. En el caso específico del Servomecanismo UV, comprender el procedimiento experimental y analítico de la identificación dinámica para el caso del lazo de control de velocidad, permitirá al estudiante desarrollar habilidades en el análisis que le serán muy útiles cuando se esté desempeñando en el campo laboral.

Considerando las restricciones y limitaciones de configuración del sistema de control nombrado en la práctica anterior, no es posible abrir el lazo de regulación de velocidad del Servomecanismo UV ver figura 1, de modo que las técnicas de identificación del proceso empleadas tradicionalmente (lazo abierto) del Laboratorio de Sistemas Automáticos de Control para los Servomecanismos marca Feedback [8]–[10], no aplican para este sistema lo que genera la necesidad de implementar nuevas herramientas experimentales para el análisis en los sistemas de control lineal de Servomotores industriales. Esta práctica tiene como objetivo guiar a lector en la identificación del modelo dinámico del proceso implementando una técnica de lazo cerrado para el Sistema de control de Velocidad del Servomecanismo UV (ver figura 13).

Figura 13. Sistema de control PI de velocidad del Servomecanismo UV



2.2 Objetivos específicos

- Obtener la curva dinámica del Servomecanismo UV utilizando STARTER
- A partir de la información de la respuesta temporal en lazo cerrado, obtener un modelo dinámico del proceso de lazo abierto
- Validar los modelos obtenidos

2.3 Marco teórico

2.3.1 Respuesta temporal continua

La respuesta temporal de un sistema está conformada por dos tipos de respuestas, la respuesta permanente la cual es la parte de la señal cuando el tiempo tiende a infinito y la transitoria que ocurre de pasar del estado inicial al estado estacionario.

2.3.1.1 Respuesta permanente:

La respuesta permanente de un sistema de control define la exactitud con la cual la salida del sistema sigue la señal de prueba, caracterizando la respuesta en término del error de estado estacionario.

Error de estado estacionario:

Este error es una medida de la precisión del sistema o de la salida del sistema con respecto a la señal de entrada, el error permanente se define por el teorema del valor final para un sistema de red cerrada de la siguiente forma:

$$Ess = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} E(s) \quad (1)$$

Error permanente debido a entradas escalón

El error permanente e_{ss} para una entrada de referencia escalón $R(s) = \frac{P}{s}$ se define como error permanente de posición E_{ss} y es:

$$E_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{R(s)}{1 + G * H(s)} = \frac{P}{1 + \lim_{s \rightarrow 0} GH(s)} \quad (2)$$

Donde: $H(s)$: Elementos de realimentación, $R(s)$: Entrada del sistema, $G(s)$: Proceso
Se define a:

$$K_p' = \lim_{s \rightarrow 0} GH(s) \quad (3)$$

Como la constante de error de posición es:

$$E_{ss} = \frac{P}{1 + K_p'} \quad (4)$$

Si $GH(s)$ tiene al menos una integración, la constante de error de posición tiende a infinito por lo tanto el error de posición es cero $E_{ss} = 0$ [11].

2.3.1.2 Respuesta transitoria

La respuesta transitoria es la parte de la señal de respuesta que tiende a cero cuando el tiempo tiende a infinito, la señal más usada para el análisis transitorio es el escalón gracias a que tiende a un estado estacionario definido y exigir dinámicamente al sistema.

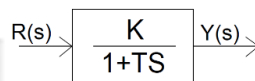
La función de transferencia $T(S)$ de un sistema describe el modelo del sistema en el dominio de la frecuencia, esta función de transferencia consta de un polinomio en el denominador y un polinomio en el numerador; de manera que $T(S) = \frac{N(S)}{D(S)}$. Las raíces del polinomio $N(S)$ son los ceros del sistema y las raíces de polinomio $D(s)$ son los polos del sistema. Los ceros se asocian a dinámicas de adelanto, y los polos a dinámicas de retraso [8].

2.3.1.2.1 Sistemas de primer orden

Un sistema de primer orden se expresa como el de la figura 14 y cuya función de transferencia [12]:

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{K}{1 + T * s} \quad (5)$$

Figura 14. Sistema de primer orden



Los sistemas de primer orden presentan una característica de almacenar energía, es por esto que a respuesta temporal de este sistema presenta una parte natural y una parte forzada.

2.3.1.2.2 Respuesta escalón unitario de sistemas de primer orden:

Como la transformada de Laplace de la función escalón unitario es $1/s$, sustituyendo $R(s) = 1/s$ la salida del sistema es:

$$C(s) = \frac{K}{1 + T * s} * \left(\frac{1}{s}\right) \quad (6)$$

Aplicando la transformada inversa de Laplace:

$$C(t) = K \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) u(t) \quad (7)$$

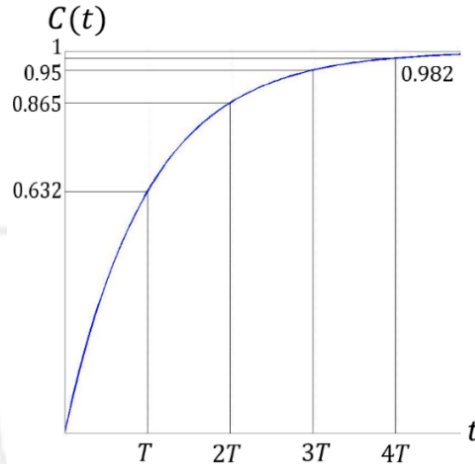
Esta ecuación establece que la salida al inicio es cero y finalmente se convierte en la unidad multiplicada por la ganancia del sistema, una característica importante de este sistema es que en

$t = T$ el valor de $C(t) = 0.632$, entonces la respuesta $C(t)$ ha alcanzado el 63.2% de su cambio total, esta característica se puede ver fácilmente al sustituir $t = T$ y para un valor de $K = 1$.

$$C(T) = 1(1 - e^{-1}) = 0.632 \quad (8)$$

En cuanto más pequeña sea la constante de tiempo T , más rápida es la respuesta del sistema, la figura 15 representa un sistema de primer orden con ganancia unitaria ante una entrada escalón [12].

Figura 15. Sistema de primer orden



Duración de transitorio:

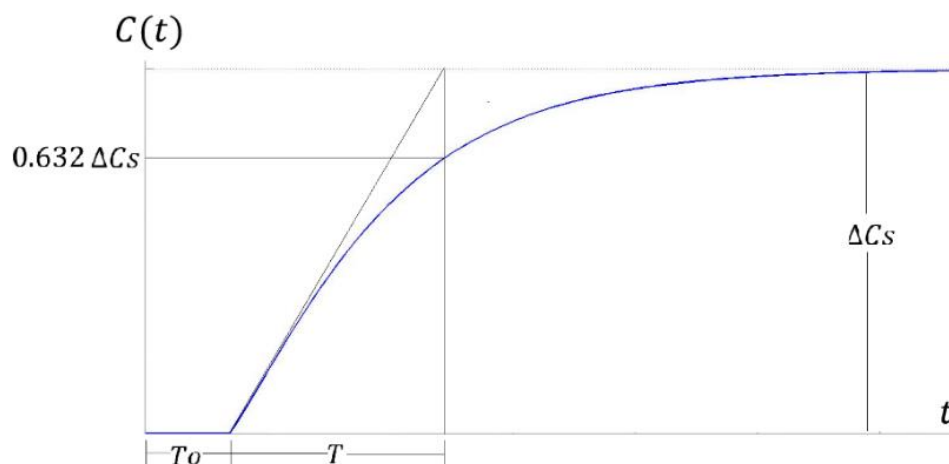
$3T$ Banda de tolerancia $\pm 5\%$

$4T$ Banda de tolerancia $\pm 2\%$

2.3.1.2.3 Sistemas con tiempo muerto:

Los tiempos muertos o retardos puros constituyen una parte fundamental de la dinámica de muchos procesos industriales. El tiempo muerto es el tiempo que transcurre desde el instante en que se produce un cambio en una variable de entrada al proceso hasta el instante en que el efecto de dicha variación comienza a observarse en la variable de salida ver figura 16.

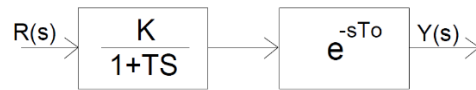
Figura 16. Sistema con tiempo muerto ante entrada escalón



Fuente: Figura 7-2. FOPDT Model parametres, página 328 [13]

Si en la respuesta de un sistema de primer orden se considera un atraso o retardo en el transporte como el de la figura 17 el diagrama de bloques se puede representar como:

Figura 17. Diagrama de bloques sistema de primer orden con tiempo muerto



Donde la función de transferencia $G_p(s)$ es [13]:

$$G_p(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K}{T * s + 1} * e^{-sT_o} \quad (9)$$

Este modelo se puede convertir utilizando la aproximación $e^{-sT_o} \approx \frac{1 - \frac{T_o}{2}s}{1 + \frac{T_o}{2}s}$, obteniendo [14]:

$$f_{dt} = \frac{K}{T * s + 1} * \frac{1 - \frac{T_o}{2} * s}{1 + \frac{T_o}{2} * s} \quad (10)$$

2.3.1.3 Técnicas de identificación de procesos

Existen diferentes métodos para describir el desempeño de un sistema con el propósito de realizar su análisis y diseño de control, los métodos usualmente empleados para este propósito son el análisis en el dominio del tiempo y la frecuencia, en el primer análisis identifica un modelo que permita describir el proceso y sus parámetros dinámicos como el tiempo de respuesta y el error de estado estacionario a partir de la respuesta temporal del sistema. La respuesta temporal se obtiene al excitar el sistema con una señal de prueba de magnitud conocida (escalón) y registrando tanto la entrada aplicada como la salida o respuesta del sistema, de modo que es necesario realizar una prueba experimental que permita identificar el modelo dinámico del proceso.

Las técnicas de identificación de procesos son métodos que permiten describir el proceso dinámicamente a partir de la respuesta transitoria del sistema ante señales conocidas de prueba, estas técnicas tienen como propósito encontrar un modelo matemático en el dominio del tiempo y la variable compleja S . Existen diferentes técnicas de identificación experimental las cuales dependen del sistema a analizar, en las técnicas de lazo abierto el controlador aún no se ha instalado y si lo está debe estar operando en modo "manual" durante la prueba, en las técnicas de lazo cerrado el controlador se encuentra operando en modo "automático" es decir no se puede excitar directamente el proceso.

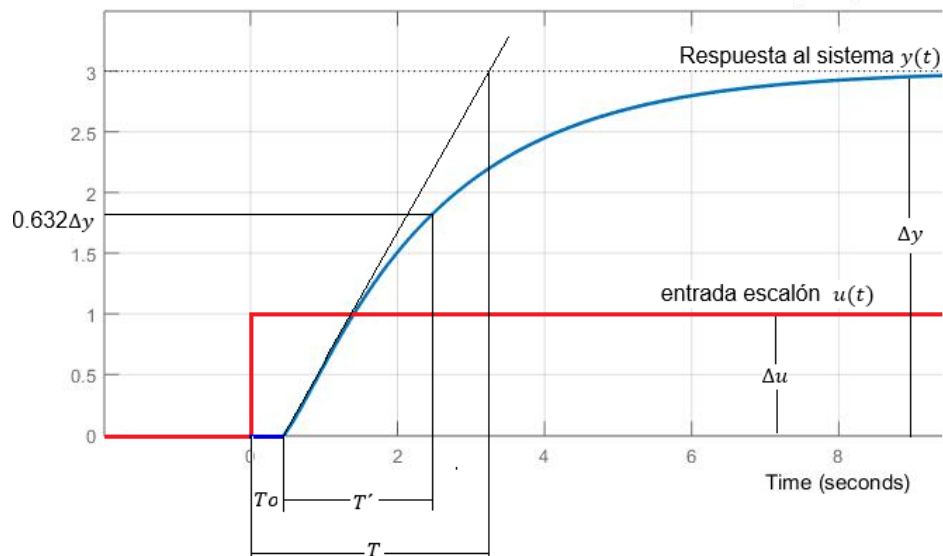
2.3.1.3.1 Identificación de procesos en lazo abierto métodos basados en la curva de reacción del proceso

Los métodos de identificación de un proceso en lazo abierto examinan la respuesta temporal del sistema aplicando señales de pruebas directamente a la entrada obteniendo la curva de reacción del proceso. Algunos métodos de identificación a partir de la curva de reacción consisten en trazar la recta tangente a este para determinar los parámetros que permiten describir el modelo (ver figura 18), a continuación se exponen dos de los métodos usualmente empleados [15].

Modelo del proceso:

$$G_p(s) = \frac{K}{T * s + 1} * e^{-sT_o} \quad (11)$$

Figura 18. Curva de reacción y métodos de la tangente



Fuente: Figura 2. Métodos de la tangente, página 4 [15]

2.3.1.3.1.1 Método de la tangente de Ziegler y Nichols

Este es un método de identificación que se propone como parte de un procedimiento de sintonización de controladores, para desarrollar este método se requiere trazar una recta tangente a la curva de reacción del proceso en su punto de máxima pendiente (ver figura 18) para obtener un modelo de primer orden más tiempo muerto (11) donde se debe identificar la ganancia K , la constante de tiempo T y el tiempo muerto T_o para el sistema.

Donde La ganancia es K es el cambio total en la salida dividido por el cambio en la entrada:

$$K = \frac{y_f - y_i}{u_f - u_i} \quad (12)$$

El tiempo muerto T_o es el tiempo en el cual transcurre el escalón de entrada y el punto en que la recta tangente corta el eje de tiempo. La constante de tiempo T es el tiempo que transcurre desde el tiempo muerto y el tiempo en que la tangente corta el valor final de la salida Δy .

2.3.1.3.1.2 Método de la tangente modificado de Miller

Este procedimiento es una variación del método anterior de Ziegler y Nichols basado en la recta tangente (ver figura 18), El cambio consiste en la forma en que se halla la constante de tiempo T calculándola como el tiempo requerido para que la respuesta alcance su valor de 63.2% del cambio total a partir del tiempo muerto, esta variación hace que la respuesta del modelo y el sistema real coincida por lo menos en un punto en el instante $T = T_o + T'$.

2.3.1.3.2 Identificación de proceso en lazo cerrado métodos de control P

A diferencia de las técnicas de identificación en lazo abierto, las técnicas de lazo cerrado primero se debe obtener la información del comportamiento bajo un control realimentado de acción proporcional y a partir de esta encontrar los parámetros del modelo del proceso.

Existen diferentes técnicas de lazo cerrado entre las cuales se destacan los métodos que utilizan la última información y los métodos de control P. En los métodos que utilizan la última información es necesario llevar el sistema hasta inestabilidad y a partir de esta información obtener los parámetros del proceso, en los métodos de control P se identifican los parámetros del proceso a partir de la respuesta subamortiguada del sistema encontrando un modelo de primer orden más tiempo muerto

para el sistema en lazo abierto y un modelo de segundo orden más tiempo muerto para el sistema en lazo cerrado (método de Jutan y Rodríguez) [16].

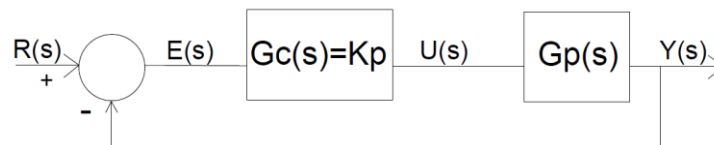
Gran parte de los procesos industriales tienen características dinámicas de orden superior, por lo que es de gran utilidad para la sintonización y diseño de los controladores emplear modelos de orden reducido que permitan describir las dinámicas de orden superior, por esta razón uno de los modelos más empleados con este fin es el de un sistema de primer orden con tiempo muerto.

2.3.1.3.2.1 Método de Yuwana y Seborg

Este método es un procedimiento de identificación del proceso en lazo cerrado en donde se emplea un controlador de acción proporcional de ganancia K_p conocida, sin la necesidad de llevar a inestabilidad el sistema, este procedimiento trata de caracterizar la respuesta del sistema (subamortiguada) ante un cambio de la referencia de magnitud conocida (escalón), la respuesta del sistema en lazo cerrado se identifica como un sistema de segundo orden más tiempo muerto con el fin de obtener un modelo de primer orden más tiempo muerto para el proceso [17].

Para este método se tiene el siguiente sistema de lazo cerrado con un controlador de ganancia K_p (ver figura 19).

Figura 19. Sistema con controlador K_p



Fuente: Figura 4-47. Modelo de un motor de cd excitado de forma separada, página 176 [18]

Si el proceso $G_p(s)$ es un modelo de primer orden más tiempo muerto
Entonces

$$G_p(s) = \frac{K}{T * s + 1} * e^{-sT_0} \quad (13)$$

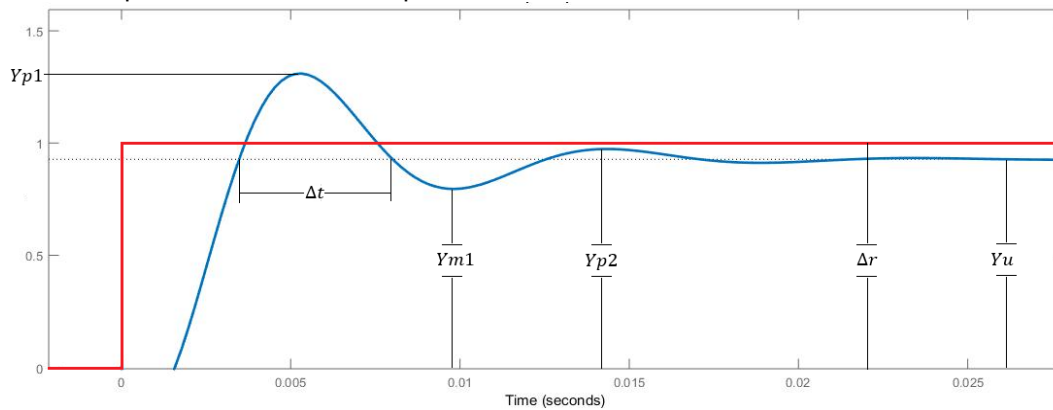
La respuesta en lazo cerrado será de la forma: (14)

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K' * e^{-sT_0}}{1 + T * s + K' * e^{-sT_0}}$$

Donde $K' = K_p * K$

Para determinar el modelo de primer orden más tiempo muerto del proceso se deben medir los siguientes valores de la respuesta subamortiguada del sistema de lazo cerrado: Y_{m1} , Y_{p1} , Y_{p2} , Y_u y Δt (ver figura 20).

Figura 20. Respuesta de lazo cerrado para control P



Fuente: Figura 2.12 Respuesta de lazo cerrado para control P, página 35 [17]

Luego se procede a identificar el modelo del proceso a partir de las siguientes ecuaciones:

$$K = \frac{Y_u}{K_p * (\Delta r - Y_u)}; K' = k_p * K \quad (15)$$

$$T = T = \frac{\Delta t}{\pi} \left[\left(\xi \sqrt{K' + 1} + \sqrt{\xi^2 (K' + 1) + K'} \right) * \left(\sqrt{(1 - \xi^2)(1 + K')} \right) \right] \quad (16)$$

$$T_o = \frac{2\Delta t \sqrt{(1 - \xi^2)(1 + K')}}{\pi [\xi \sqrt{K' + 1} + \sqrt{\xi^2 (K' + 1) + K'}]} \quad (17)$$

Donde Δr es el cambio de amplitud de referencia (escalón) y $\xi = \frac{\xi_1 + \xi_2}{2}$

$$\xi_1 = - \frac{\ln \left[\frac{Y_u - Y_{m1}}{Y_{p1} - y_u} \right]}{\sqrt{\pi^2 \text{Ln}^2 \left[\frac{Y_u - Y_{m1}}{Y_{p1} - y_u} \right]}} \quad (18)$$

$$\xi_2 = - \frac{\ln \left[\frac{Y_{p2} - Y_u}{Y_{p1} - y_u} \right]}{\sqrt{4\pi^2 \text{Ln}^2 \left[\frac{Y_{p2} - Y_u}{Y_{p1} - y_u} \right]}} \quad (19)$$

Nota: Considerar que para aplicar este método Y_u siempre es menor que Δr , ya que se utiliza un controlador proporcional.

2.4 Procedimiento

Para el desarrollo experimental de esta práctica es necesario desactivar el parámetro de acción integral T_i del regulador de velocidad PI con el propósito de trabajar solo empleando un controlador con acción proporcional K_p . Para modificar estos parámetros del controlador empleando la herramienta STARTER es necesario ver la sección 4 del manual de operación para el control de velocidad y de posición del Servomecanismo UV utilizando STARTER. Poner en marcha el accionamiento para los siguientes puntos de operación del sistema: 2500, 3000 y 3500 rpm y realizar las pruebas siguientes:

Ejercicio

Poner en marcha el accionamiento para los siguientes puntos de operación del sistema: 2500, 3000 y 3500 rpm y realizar las siguientes pruebas:

- Aumentar la ganancia del controlador del regulador de velocidad K_p y excitar con un escalón de 150 rpm alrededor del punto de operación hasta obtener una respuesta subamortiguada (tomar el mismo valor de ganancia para los tres puntos).

Nota: Al aumentar la ganancia del controlador tener precaución de no llevar hasta inestabilidad el sistema, de modo que se recomienda realizar pequeños aumentos de ganancia hasta obtener una respuesta subamortiguada ante el escalón aplicado, la ganancia proporcional no debe exceder el valor de $k_p = 0.09 \text{ Nms/rad}$.

- Utilizar la función TRACE para observar la respuesta temporal del sistema ante cambios de la referencia para el punto anterior.
- Realizar para los tres puntos de operación diferentes la medición y exportación de la respuesta subamortiguada del sistema en cada una de las excitaciones (sentido positivo y negativo).
- Importar los datos de la medición utilizando herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación (pasar milisegundos a segundos), y para cada punto de operación obtener un modelo que permita identificar el proceso (G_p) de la figura 13, a partir de la respuesta Subamortiguada del sistema empleando el método de Yuwana y Seborg de lazo cerrado ver la ecuación (13) del cuaderno de guías experimentales.
- Encontrar un modelo equivalente como promedio de los tres modelos obtenidos anteriormente.
- Validar el modelo obtenido del proceso con los datos obtenidos en Matlab o Scilab, comparando la medición hecha de la respuesta subamortiguada del sistema con la respuesta al escalón del modelo obtenido con realimentación unitaria y ganancia del controlador conocida.

Para la medición y extracción de datos se utiliza la función TRACE del software STARTER visto en la práctica anterior, se recomienda utilizar la función TRACE con limitación de tiempo debido a que tiene una mejor frecuencia de muestreo y registra de forma directa los cambios de referencia. Tomar como señal de referencia el parámetro de consigna de velocidad antes del filtro r_{60} y como señal de salida del sistema el parámetro de velocidad real r_{63} .

2.5 Informe

Cada grupo debe entregar por escrito el INFORME que estará estructurado de la siguiente manera:

1. Desarrollo de la práctica
 - 1.1 Ejercicio
 - Desarrollo (descripción del ejercicio)
 - Mediciones
 - Validación (datos experimentales vs modelo)
2. Análisis estadístico de los modelos obtenidos
3. Conclusiones
4. Bibliografía

3 PRÁCTICA 3: LUGAR GEOMÉTRICO DE LAS RAÍCES PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECANISMO UV

Objetivo

Analizar el desempeño dinámico y la estabilidad del sistema, a partir del efecto de la variación de uno de sus parámetros del lazo de control como es la ganancia del controlador, contrastando la respuesta temporal del sistema con la respuesta temporal del modelo obtenido experimentalmente.

Elementos y materiales

El Servomecanismo UV es una plataforma equipada con el fin de controlar dos motores síncronos de corriente alterna a través de las unidades de control de los accionamientos Sinamics S110 o desde un controlador superior PLC S7-300. Para el desarrollo de esta práctica se emplea un accionamiento Sinamics S110 con el fin de regular la velocidad sobre un motor de corriente alterna de imanes permanentes (síncrono) 1KF7, los elementos y materiales necesarios son los siguientes:

- 1 Unidad de control CU305 DP 6SL3 040-0JA00-0Axx
- 1 Unidad de potencia Module 340 6SL3210-1SB12-3Axx (240V AC)
- 1 Motor síncrono 1KF7032-xAF2x-xxxx 3000U/min (Imanes permanentes)
- 1 Encóder 1K7xxx-xxxxx-xAxx (sen/cos incremental), 2048, 1Vpp
- 1 Acondicionador de señal SMC20 (sensor módulo Cabinet-Mounted)
- Adaptador Simatic PC USB A2
- Software STARTER
- Manual de operación para el control de velocidad y posición del Servomecanismo UV utilizando STARTER
- Herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación

Tiempo

TP: 0.5 h; Lab: 1.5 h; TI: 1.5 h; V: 0 h.

Prerrequisitos

Se requiere para desarrollar esta práctica que el estudiante haya realizado de manera exitosa la práctica 2, además de conocer la ubicación de los polos en el plano complejo S y destrezas teóricas e informáticas para el gráfico de lugar geométrico de las raíces.

Preinforme

Actividades

- Consultar:
 - Estabilidad relativa y absoluta de un sistema de control.
 - Construcción del lugar geométrico de las raíces técnica analítica (manual) e informática (Matlab).
 - Efectos en el lugar de las raíces de la adición de polos y ceros.
 - Ganancia crítica K_c y periodo crítico T_c .
- Realizar una lectura previa de la guía de la práctica

3.1 Introducción

En un sistema de Control la característica dinámica se determina a partir de una función de transferencia compuesta por polos y ceros los cuales se ubican en el plano complejo, los sistemas de control en lazo abierto tienen definida su característica dinámica la cual describe el comportamiento temporal del proceso, sin embargo es posible modificar el comportamiento dinámico del proceso a partir de un sistema de control realimentado o lazo cerrado, en el cual se varían los parámetros del lazo de control ubicando los polos del sistema en lazo cerrado en un lugar del plano que cumpla con las especificaciones deseadas de funcionamiento [12].

Con el fin de comprender el comportamiento dinámico y la estabilidad del sistema de control de Velocidad del Servomecanismo UV para el análisis y diseño, esta práctica plantea el procedimiento experimental para contrastar el modelo dinámico obtenido del proceso en la práctica anterior con la respuesta temporal del sistema ante variaciones de los parámetros del controlador, empleando herramientas informáticas que permitan describir el sistema para validar el modelo obtenido del proceso ante cambios de su dinámica.

3.2 Objetivos específicos

- Construir el lugar geométrico de las raíces con herramientas informáticas
- Analizar el comportamiento dinámico y estabilidad del sistema de acuerdo con el lugar geométrico de las raíces.
- Obtener la ganancia crítica del sistema

3.3 Marco teórico

3.3.1 Lugar geométrico de las raíces

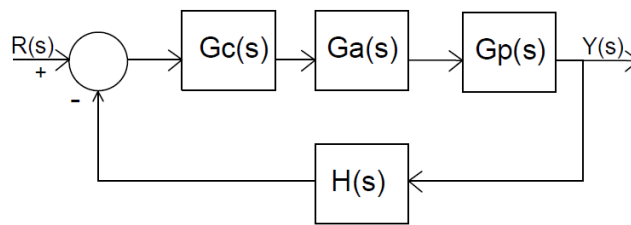
Es importante en el análisis y diseño de control de un sistema lineal que se conozca la localización de los polos del sistema de lazo cerrado, si este sistema cuenta con una ganancia de lazo variable la localización de los polos en el plano en lazo cerrado dependerán del valor de ganancia asignada. El método del lugar geométrico de las raíces permite dibujar o bosquejar las trayectorias correspondientes de la ubicación de las raíces de la ecuación característica del sistema en el plano cuando se varía algún parámetro de ella.

Walter. R. Evans sugirió un método simple en el cual se pueden encontrar las raíces de la ecuación característica, en este método se representa las raíces de la ecuación característica para todos los valores de un parámetro del sistema. Permitiendo predecir los efectos que tiene la ubicación de los polos de lazo cerrado al variar la ganancia o los polos y ceros de lazo abierto, de modo que es fundamental comprender de manera correcta el método para generar estos lugares de las raíces manualmente o implementando una herramienta computacional como MATLAB [11].

3.3.1.1 Sistemas en red cerrada

Un sistema de red cerrada es un sistema en el cual se interconecta una serie de elementos los cuales hacen variar la dinámica del sistema de lazo abierto con el fin de controlar el proceso, la bucla típica de control permite describir la forma de interconectar estos elementos con el fin de controlar el proceso [19] (Ver figura 21).

Figura 21. Bucla típica de control



Fuente: Propia

Donde:

$G_p(s)$: Proceso a controlar

$G_a(s)$: Actuador

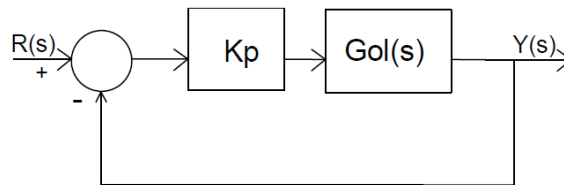
$G_c(s)$: Controlador

$H(s)$: Elementos de realimentación

$R(s)$: Referencia o entrada del sistema

$Y(s)$: Salida del sistema

Cada elemento que compone la bucla típica de control contiene su propia función de transferencia en la cual se describe su desempeño temporal o dinámico, para comprender el comportamiento del sistema ante variaciones del controlador de forma práctica se considera la función de transferencia del controlador con ganancia $G_c(s) = K_p$, la función de transferencia de la realimentación $H(s) = 1$ (ganancia unitaria) y la función $G_{ol}(s) = G_a(s) * G_p(s)$ como la función de transferencia que representa la dinámica del actuador más la planta $G_{ol}(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$, obteniendo el sistema de la figura 22.

Figura 22. Sistema de control con controlador $G_c = K_p$ en red cerrada

3.3.1.2 Variación de los polos de red cerrada

Para el sistema de control de la figura anterior la forma canónica de la función de transferencia de lazo cerrado es:

$$T(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \quad (20)$$

Donde

$$G(s) = G_{ol}(s) * K_p = \frac{K_p N(s)}{D(s)} \quad (21)$$

A partir de (20) y (21) y considerando un valor de ganancia variable K_p se tiene la siguiente función de transferencia.

$$T(s) = \frac{K_p N(s)}{D(s) + K_p N(s)} \quad (22)$$

Donde se define la ecuación característica del sistema como:

$$D(s) + K_p N(s) = 0 \quad (23)$$

En esta ecuación se aprecia que para valores pequeños de ganancia ($K \approx 0$) las raíces de la ecuación característica son aproximadamente igual a las raíces de los polos de red abierta $D(s) = 0$, y para valores grande de ganancia K ($K \rightarrow \infty$) las raíces de la ecuación característica son aproximadamente las raíces de los ceros de red abierta de $N(s) = 0$, de modo que es posible describir el comportamiento dinámico del sistema a partir de la variación de la ganancia del controlador K concluyendo que para un rango de K entre $[0, \infty)$ a medida que el valor de ganancia aumenta los polos del sistema en lazo cerrado van desde los polos de red abierta hasta los ceros de red cerrada en donde finalizan el recorrido.

3.3.1.3 Criterios de magnitud y ángulo

Estos criterios evalúan los valores de las raíces que pertenecen al lugar geométrico del sistema. El criterio de ángulo permite graficar los puntos o las raíces que cumplan con la condición de ángulo en el plano complejo S , y el criterio de magnitud determina las raíces de la ecuación característica (polos de lazo cerrado) correspondientes a un valor específico de la ganancia [12][11].

Para que una raíz de valor S_1 pertenezca al lugar geométrico de las raíces debe cumplir de acuerdo con la ecuación (21) que:

$$G(s_1) = -1 \quad (24)$$

El criterio de magnitud se establece a partir de la condición de norma para la ecuación (29) donde:

$$|G(s_1)| = 1 \quad (25)$$

O rescribiendo

$$|K_p| = \frac{D(s_1)}{N(s_1)} \quad (26)$$

El criterio de ángulo se establece a partir de la condición de ángulo para la ecuación (29) donde:

$$\angle GH(s_1) = \pm 180(2L + 1), L = 0, 1, 2, \dots \quad (27)$$

3.4 Procedimiento

Repetir el procedimiento 4 de configuración del manual de operación del Servomecanismo UV igual que en la práctica 2, con el fin de ajustar el controlador del regulador de velocidad  para trabajar solo con la acción proporcional del controlador.

Ejercicio

Poner en marcha el Servomecanismo UV tomando como base uno de los puntos de operación ya trabajados anteriormente y realizar las siguientes pruebas.

- Varíe la ganancia del controlador proporcional y registre las respuestas temporales obtenidas ante entradas escalón para cada ganancia (mínimo 5 ganancias).
- Con base en el modelo dinámico obtenido con anterioridad generar el lugar geométrico de las raíces y encontrar la ganancia crítica del sistema K_c y el periodo crítico T_c utilizando herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación.
- Comparar las respuestas dinámicas obtenidas con el modelo con los resultados obtenidos experimentalmente para cada ganancia registrada haciendo uso de herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación.
- Analice los datos obtenidos experimentales con los teóricos.

Nota: Para comparar las respuestas obtenidas para cada ganancia registrada se debe comparar los resultados obtenidos experimentalmente con la respuesta al escalón del modelo obtenido con realimentación unitaria y ganancia del controlador conocida.

3.5 Informe

Cada grupo debe entregar por escrito el INFORME que estará estructurado de la siguiente manera:

1. Desarrollo de la práctica
- 1.1 Ejercicio
 - Desarrollo
 - Mediciones
 - Validación (datos experimentales vs modelo)
2. Análisis estadístico de los modelos obtenidos
3. Conclusiones
4. Bibliografía



4 PRÁCTICA 4: RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL CONTROL DE VELOCIDAD PARA EL SERVOMECANISMO UV

Objetivo

General: A partir de análisis por respuesta en frecuencia determinar la estabilidad y características dinámicas y estáticas del sistema.

Elementos y materiales

El Servomecanismo UV es una plataforma equipada con el fin de controlar dos motores síncronos de corriente alterna a través de las unidades de control de los accionamientos Sinamics S110 o desde un controlador superior PLC S7-300. Para el desarrollo de esta práctica se emplea un accionamiento Sinamics S110 con el fin de regular la velocidad sobre un motor de corriente alterna de imanes permanentes (síncrono) 1KF7, los elementos y materiales necesarios son los siguientes:

- 1 Unidad de control CU305 DP 6SL3 040-0JA00-0Axx
- 1 Unidad de potencia Module 340 6SL3210-1SB12-3Axx (240V AC)
- 1 Motor síncrono 1KF7032-xAF2x-xxxx 3000U/min (Imanes permanentes)
- 1 Encóder 1K7xxx-xxxxx-xAxx (sen/cos incremental), 2048, 1Vpp
- 1 Acondicionador de señal SMC20 (sensor módulo Cabinet-Mounted)
- Adaptador Simatic PC USB A2.
- Software STARTER
- Manual de operación para el control de velocidad y posición del Servomecanismo UV utilizando STARTER
- Herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación.

Tiempo

TP: 0.5 h; Lab: 2 h; TI: 3 h; V: 0 h.

Prerrequisitos

Se requiere para desarrollar esta práctica que el estudiante haya realizado de manera exitosa la práctica 3, además de conocer cómo se representa una función de transferencia en la frecuencia a partir del Diagrama de Bode y el trazo de este empleando una herramienta computacional.

Preinforme

Actividades

- Consultar
Diagramas de Bode o diagramas logarítmicos
Correlación entre la respuesta transitoria a un escalón y la respuesta en frecuencia de sistemas generales
Margen de retardo y margen de módulo.
Frecuencia y pico de resonancia de un sistema de segundo orden
- Realizar con detalle la lectura de la práctica

4.1 Introducción

El análisis en frecuencia de un sistema hace referencia a la respuesta de un sistema en estado estacionario ante una entrada senoidal, variando la frecuencia de la señal de referencia en cierto rango para estudiar su respuesta. Existe una relación estrecha entre el comportamiento transitorio del sistema y su comportamiento en la frecuencia, de modo que las características en el dominio del tiempo se pueden predecir con base a las características de la respuesta en frecuencia.

En métodos de diseño de sistemas de control no existe un procedimiento definido para lograr que un sistema cumpla con los requisitos especificados, sin embargo una ventaja del método de la respuesta en frecuencia es utilizar sus datos medidos para realizar el diseño de Control del Sistema sin la necesidad de obtener su modelo [11], [18], Además de ser método muy utilizado para controlar el Ancho de Banda del sistema y la amplificación de ruido en el lazo.

Con el fin de obtener los parámetros característicos de la respuesta en frecuencia del sistema de control de Velocidad del Servomecanismo UV para su análisis y diseño, esta práctica plantea el procedimiento experimental para obtener estos parámetros analíticamente a partir del diagrama de Bode entregado por la herramienta STARTER de puesta en marcha y medición del equipo.

4.2 Objetivos específicos

- Obtener el diagrama de Bode del Sistema de Control de Velocidad para el sistema de lazo cerrado utilizando STARTER
- Determinar las características y parámetros de margen de estabilidad, margen de fase, margen de ganancia, pico de resonancia, frecuencia de resonancia, frecuencia de corte y ancho de banda del sistema.

4.3 Marco teórico

4.3.1 Características de respuesta en frecuencia

Considerando el sistema de lazo cerrado mencionado en las prácticas anteriores se tiene la siguiente función de transferencia de lazo cerrado:

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \quad (28)$$

Considerando que en estado estable $s = j\omega$ se tiene:

$$T(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{R(j\omega)} = \frac{G(j\omega)}{1 + G(j\omega)} \quad (29)$$

Esta función $T(j\omega)$ se puede representar en términos de su magnitud y ángulo [18]:

$$T(j\omega) = |T(j\omega)| \angle T(j\omega) \quad (30)$$

Donde la magnitud $|T(j\omega)|$ es:

$$|T(j\omega)| = \left| \frac{G(j\omega)}{1 + G(j\omega)} \right| \quad (31)$$

Y el Angulo de $\angle T(j\omega)$ es:

$$\angle T(j\omega) = \phi_T(j\omega) = \angle G(j\omega) - \angle(1 + G(j\omega)) \quad (32)$$

4.3.1.1 Margen de Ganancia

Se entiende como margen de ganancia como el menor recíproco de la función de transferencia de lazo abierto $G(j\omega)$ en la frecuencia de fase crítica ω_π donde el ángulo es 180° [12][18] ver figura 23.
Margen de ganancia

$$GM = 20\log_{10} \left(\frac{1}{|G(jw_{\pi})|} \right) \quad (33)$$

$$GM = -20\log_{10} |G(jw_{\pi})| \text{ [db]} \quad (34)$$

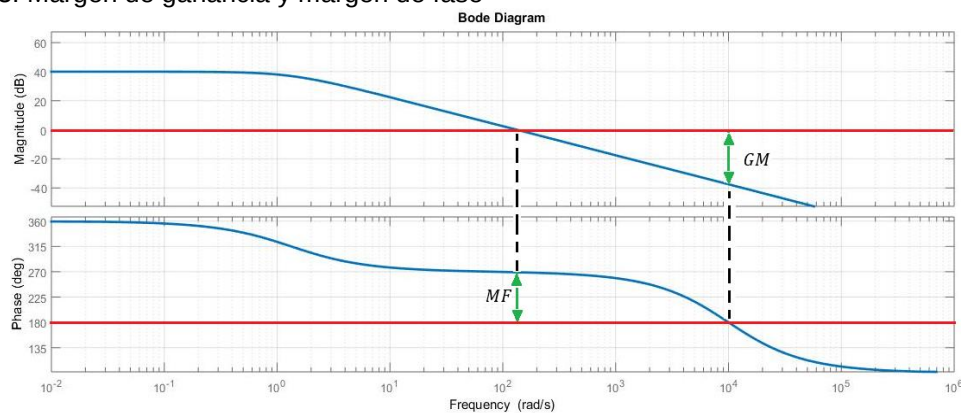
4.3.1.2 Margen de fase

Se define como el menor ángulo en grados posible de $G(jw)$ que debe girar alrededor del origen para que el cruce de ganancia por el punto crítico $(-1,0)$; donde w_g se denomina frecuencia de ganancia crítica [12][18] ver figura 23.

Margen de fase

$$MF = 180^\circ + \angle G(jw_g) \text{ [}^\circ\text{]} \quad (35)$$

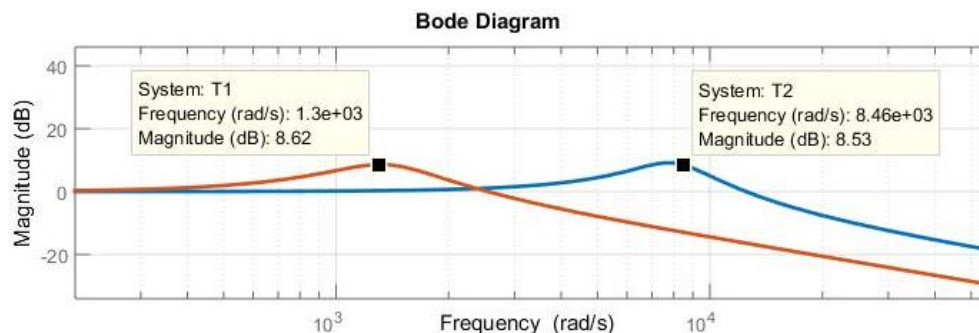
Figura 23. Margen de ganancia y margen de fase



4.3.1.3 Pico y Frecuencia de Resonancia

El pico de resonancia T_r se define el valor máximo de la función $|T(jw)|$, esta magnitud indica la estabilidad relativa de un sistema estable en lazo cerrado, donde un valor máximo de T corresponde a un sobrepaso máximo de la respuesta al escalón, la frecuencia de resonancia w_r se define como la frecuencia en la cual ocurre el pico de resonancia T_r [18] [12] ver figura 24.

Figura 24. Pico y frecuencia de resonancia



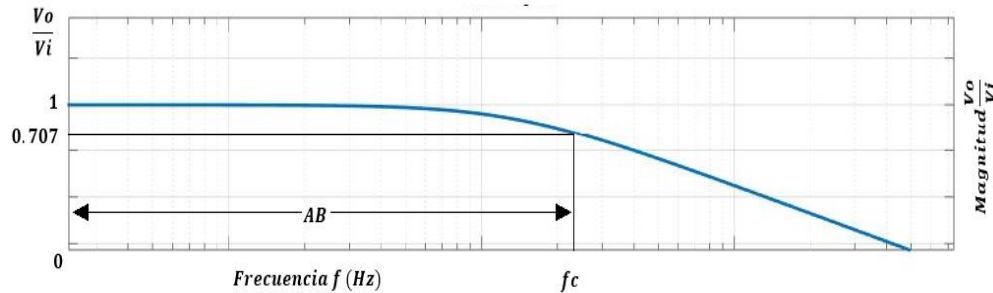
4.3.1.4 Frecuencia de Corte y Ancho de Banda

La frecuencia de corte w_c se define como la frecuencia para la cual la magnitud en decibels de la función de transferencia $|T(jw)|$ está al 70.7 % o 3db debajo de su valor dependiendo del tipo de sistema, para sistemas de característica frecuencial paso bajo el valor es la frecuencia cero del

sistema, para sistemas de característica en frecuencia paso alto el valor es a alta frecuencia, y para sistemas pasa bandas el valor es la magnitud máxima en la banda pasante [12] ver figura 25.

El ancho de banda (AB) es el rango de la frecuencia en la cual $|T(j\omega)|$ cae al 70.7 % o 3db debajo de su valor en la frecuencia cero, el ancho de banda permite indicar las propiedades de la respuesta transitoria y las características de filtrado del sistema y robustez del sistema [18] ver figura 25.

Figura 25. Frecuencia de corte y Ancho de banda filtro paso bajo.



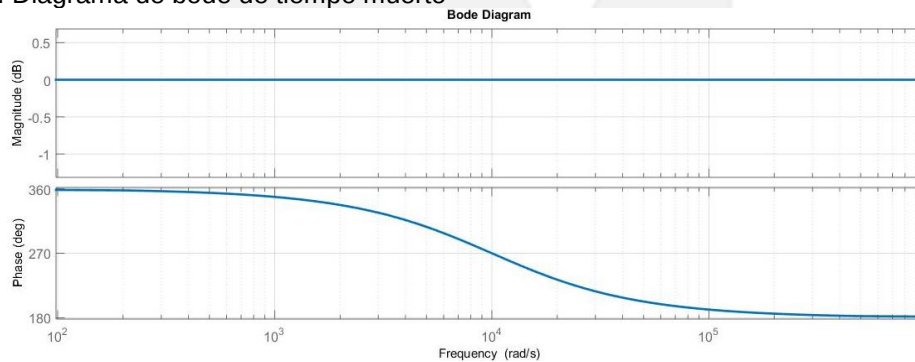
4.3.1.5 Diagrama de Bode de sistemas con tiempo muerto

En el gráfico de diagrama de bode el efecto del tiempo muerto en un sistema es adicionar una fase de $-T_o * \omega$ radianes en la curva de fase sin que afectar la curva de magnitud, la función de transferencia del tiempo muerto es:

$$e^{-j\omega T_o} = 1\angle(-T_o * \omega) \quad (36)$$

Para altas frecuencias la fase del sistema decrece exponencialmente, de modo que se considera un sistema de fase no mínima [18] [12] ver figura 29 .

Figura 26. Diagrama de bode de tiempo muerto



4.4 Procedimiento

Para el desarrollo experimental de esta práctica se debe trazar el diagrama de Bode a partir de la función de medida  del software STARTER de la plataforma, para trazar este diagrama es necesario ver la sección 5 del manual de operación del Servomecanismo UV.

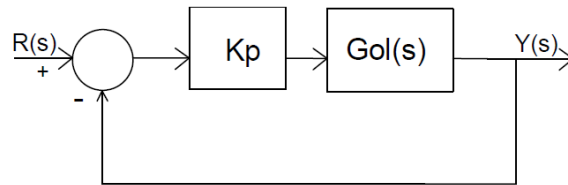
Ejercicio

- Trazar el diagrama de Bode empleando la función de medida  de STARTER para el sistema de regulación de velocidad empleando un controlador proporcional de ganancia ($k_p = 0.003$).

- Obtener el modelo dinámico de la función de transferencia del sistema en lazo cerrado $T(s)$ a partir del diagrama de Bode, se recomienda emplear los cursores de medición para medir la ganancia (dB) y la frecuencia (Hz) del sistema (Considerar el sistema como un modelo de primer orden más tiempo muerto y utilizar la ecuación (36) para encontrar el tiempo muerto del sistema).
- Encontrar el modelo del sistema en lazo abierto $G_{ol}(s)$ a partir del modelo de lazo cerrado $T(s)$, considerar para el sistema de la figura 27 Si $T(s) = \frac{N1(s)}{D1(s)}$, Entonces:

$$G_{ol}(s) = \frac{N1(s)}{N1(s) - D1(s)} * \left(\frac{1}{K}\right) \quad (37)$$

Figura 27. Sistema de control con acción proporcional de ganancia k_p



- Para el modelo en lazo abierto $G_{ol}(s)$, trazar el diagrama de Bode haciendo uso de herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación, y determinar el margen de fase y margen de ganancia.
- Trazar el diagrama de Bode del Sistema en lazo cerrado utilizando MATLAB, considerar una realimentación unitaria y la ganancia del controlador proporcional conocida $k_p = 0.003$.
- Determinar para el punto anterior la frecuencia de resonancia, el pico de resonancia, la frecuencia de corte y ancho de banda

4.5 Informe

Cada grupo debe entregar por escrito el INFORME que estará estructurado de la siguiente manera:

1. Desarrollo de la práctica

1.1 Ejercicio

- Desarrollo
- Mediciones
- Validación (datos experimentales vs modelo)

2. Análisis estadístico de los modelos obtenidos

3. Conclusiones

4. Bibliografía

5 PRÁCTICA 5: ANÁLISIS Y SINTONIA DE LAS ACCIONES DE CONTROL P Y PI PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECANISMO UV

Objetivo

Analizar y ajustar de las acciones de control P y PI del lazo de control de velocidad del Servomecanismo UV.

Elementos y materiales

El Servomecanismo UV es una plataforma equipada con el fin de controlar dos motores síncronos de corriente alterna a través de las unidades de control de los accionamientos Sinamics S110 o desde un controlador superior PLC S7-300. Para el desarrollo de esta práctica se emplea un accionamiento Sinamics S110 con el fin de regular la velocidad sobre un motor de corriente alterna de imanes permanentes (síncrono) 1KF7, los elementos y materiales necesarios son los siguientes:

- 1 Unidad de control CU305 DP 6SL3 040-0JA00-0Axx.
- 1 Unidad de potencia Module 340 6SL3210-1SB12-3Axx (240V AC).
- 1 Motor síncrono 1KF7032-xAF2x-xxxx 3000U/min (Imanes permanentes).
- 1 Encóder 1K7xxx-xxxxx-xAxx (sen/cos incremental), 2048, 1Vpp.
- 1 Acondicionador de señal SMC20 (sensor módulo Cabinet-Mounted).
- Adaptador Simatic PC USB A2.
- Software STARTER.
- Manual de operación para el control de velocidad y posición del Servomecanismo UV utilizando STARTER-
- Herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación.

Tiempo

TP: 0.5 h; Lab: 2 h; TI: 1.5 h; V: 0 h.

Prerrequisitos

Se requiere para desarrollar esta práctica que el estudiante haya realizado de manera exitosa la práctica 4, de conocer cómo se representa una función de transferencia en la frecuencia a partir del Diagrama de Bode y el trazo de este empleando una herramienta computacional.

Preinforme

Actividades

- Consultar
Cuando es útil emplear un controlador P y un controlador PI en un sistema de control?
Efectos de variar los parámetros de las acciones de control P, y PI en el comportamiento de un sistema
- Realizar con detalle la lectura de la práctica

5.1 Introducción

Un aspecto fundamental en el desarrollo de un Sistema de Control de un proceso, es definir o reconocer el controlador a emplear con el fin de obtener el rendimiento deseado del sistema. Para definir este controlador es necesario conocer su principio de funcionamiento y el efecto que tiene en la respuesta del sistema, además de conocer diferentes métodos que permitan encontrar los valores de sus parámetros.

Un controlador automático compara el valor real de la señal de salida del proceso o planta con la entrada del sistema o valor deseado, para determinar el error y generar una señal de control que permita compensar el error o desviación a cero o un valor cercano, la forma en que el controlador genera la señal de control se conoce como acción de control [11].

Existen diferentes métodos que permiten determinar los valores de los parámetros de un controlador, algunos métodos son empíricos y otros de diseño, los métodos empíricos se emplean para sintonizar o ajustar los controladores de un sistema pero tienen la desventaja de no poder especificar rendimientos deseados, mientras que en los métodos de diseño permiten a partir de las especificaciones de funcionamiento proponer el controlador adecuado.

Esta práctica presenta el procedimiento experimental y analítico para conocer el efecto de las acciones de control P y PI empleadas en la regulación de Velocidad de Servomecanismo UV, además de realizar el ajuste o sintonización de los parámetros del controlador para el proceso estudiado.

5.2 Objetivos específicos

- Analizar los efectos de las estrategias de control P y PI a partir de la variación de sus parámetros.
- Realizar el ajuste de las acciones de control mencionadas en el punto anterior a partir de métodos empíricos de sintonía de controladores.
- Validar los controladores obtenidos.

5.3 Marco teórico

5.3.1 Clasificación de los controladores industriales:

De acuerdo a sus acciones de control un controlador industrial se puede clasificar como [11], [12]:

- Controlador todo o nada (on-off)
- Controlador P de Ganancia proporcional
- Controlador Integral
- Controlador proporcional-integral
- Controlador proporcional-derivativo
- Controlador proporcional-integral-derivativo

Además de su acción los controladores también se pueden clasificar de acuerdo al tiempo de fuente o de energía que utiliza en su funcionamiento, por lo general la fuente de energía empleada en los controladores es de electricidad o de fluido presurizado, el tipo de controlador a usar se debe elegir de acuerdo a la naturaleza de la planta y condiciones de operación (costo, seguridad disponibilidad, precisión entre otros) [11], [12], [14].

5.3.1.1 Acción Proporcional P

El controlador proporcional es básicamente un amplificador de ganancia ajustable y su principal característica es que la salida de la señal de control es proporcional al error, de tal forma que la relación de la salida del controlador $a(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$a(t) = K(y_{sp} - y) = k_p * e(t) \quad (38)$$

Y la función de transferencia es

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (39)$$

Donde k_p es la ganancia del controlador, y_{sp} la señal de referencia y y la señal medida.

5.3.1.2 Acción Integral I

Una desventaja del controlador proporcional es que la señal de salida o variable del proceso se desvía de la referencia del sistema, para evitar esto se hace que la señal de control sea proporcional a la integral del error obteniendo la relación:

$$a(t) = k_i * \int_0^t e(t) dT \quad (40)$$

La función de transferencia es:

$$a(t) = k_i * \int_0^t e(t) dT \quad (41)$$

Donde k_i es la ganancia integral y T_i es el tiempo de acción integral, la propiedad principal de esta acción es que el error de estado estacionario es siempre cero.

5.3.1.3 Acción Proporcional-Integral PI

Este controlador reúne las propiedades de las acciones de control P e I, presentando un error de estado estacionario nulo, y permitiendo aumentar o disminuir la rapidez del sistema a partir de una ganancia K_c variable, la señal de control está definida como:

$$a(t) = k_p * e(t) + k_i * \int_0^t e(t) dT \quad (42)$$

Y la función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p}{s} (s + 1/T_i) \quad (43)$$

5.3.2 Métodos de sintonía o ajuste empírico

Estos métodos de ajuste son muy utilizados en la práctica para realizar la sintonización de un controlador debido a su practicidad ya que no tiene la necesidad de obtener un modelo previo del proceso, entre los métodos más conocidos de sintonización se encuentran [12] :

El método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

El método de oscilación de Ziegler-Nichols

El método de la curva de Cohen-Coon

5.3.2.1 Método de sintonía mediante la curva de reacción de Ziegler-Nichols

A partir de los parámetros dinámicos del proceso K, T, T_o obtenidos mediante los métodos de identificación de proceso de lazo abierto basados en la curva de reacción de Ziegler-Nichols, se emplea la tabla 2 con el fin de realizar un ajuste de los parámetros de los controladores con acción P, PI, PID.

Tabla 2. Ajuste de parámetros P, PI, PID método curva de reacción Ziegler-Nichols

Acción	K_p	T_i	T_d
P	$T/(KT_o)$	--	--
PI	$0.9T/(KT_o)$	$3T_o$	--
PID	$1.2T/(KT_o)$	$2T_o$	$0.5T_o$

Fuente: Tabla 6.3. Ajuste del PID con el método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols., página 340 [12]

5.3.2.2 Método de la curva de reacción de Cohen-Coon

Este método se propone para mejorar la sensibilidad del desempeño del sistema considerando la relación T_o/T para el ajuste por medio de la curva de reacción de Ziegler-Nichlos, de modo que para emplear este método se toman los mismos valores obtenidos en la curva de reacción y se ajustan los parámetros de los controladores de acuerdo a la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Ajuste de parámetros P, PI, PID método curva de reacción de Cohen-Coon

Acción	Kp	Ti	Td
P	$\frac{T}{KT_o} (1 + \frac{T_o}{3T})$	--	--
PI	$\frac{T}{KT_o} (0.9 + \frac{T_o}{12T})$	$T_o(30T + 3T_o)/(9T + 20T_o)$	--
PID	$\frac{T}{KT_o} (\frac{4}{3} + \frac{T_o}{4T})$	$T_o(32T + 6T_o)/(13T + 8T_o)$	$4T_oT/(11T + 2T_o)$

Fuente: Tabla 6.5: Ajuste del PID con el método de la curva de reacción de Cohen-Coon, página 341 [12]

5.3.2.3 Método de oscilación de Ziegler-Nichlos

El método de la curva de reacción es un método que se emplea para conocer la ganancia y el periodo crítico del sistema y a partir de estos encontrar sintonizar el controlador del sistema, este método solo es válido para sistemas estables en red abierta, para ajustar el controlador se deben seguir los siguientes pasos:

- Usar solo un controlador proporcional de ganancia K_p pequeña
- Aplicar escalones de magnitud pequeña y observar la respuesta del sistema, e ir variando la ganancia proporcional del controlador hasta observar una oscilación sostenida.
- Registrar la ganancia K_{cri} y el periodo crítico T_{cri} para el cual se presenta la oscilación sostenida
- De acuerdo a la tabla 4 ajustar los parámetros del controlador PID

Tabla 4. Ajuste de parámetros P, PI, PID método de oscilación de Ziegler-Nichols

Acción	Kp	Ti	Td
P	$0.5K_c$	--	--
PI	$0.45K_c$	$T_c/1.2$	--
PID	$0.6K_c$	$0.5T_c$	$T_c/8$

Fuente: Tabla 6.1: Ajuste del PID con el método de oscilación de Ziegler-Nichols, página 337 [12]

5.4 Procedimiento

Ejercicio 1

Acción proporcional

- Para el modelo dinámico del proceso obtenido experimentalmente en la práctica 2, sintonizar mediante las técnicas de ajustes empíricos (seleccionando la técnica que presente un mejor resultado) un controlador P proporcional haciendo uso de herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación (utilizar los valores T , T_o y K).
- Analizar el efecto de aumentar y disminuir la ganancia proporcional K_p y llenar la tabla 5, haciendo uso de herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación.

- Para el Servomecanismo UV considerando un controlador proporcional, asignar el valor de ganancia proporcional K_p encontrado en el primer punto en el regulador de velocidad del Sistema  de igual forma que en la prácticas anteriores.
- Para el Servomecanismo UV asignar una ganancia proporcional K_p en el regulador de velocidad del Sistema  y analizar el efecto de aumentar y disminuir la ganancia proporcional K_p y llenar la tabla 5.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (44)$$

Tabla 5. Acción Proporcional P (Variación de la ganancia k_p)

Acción Proporcional P						
	K_p	Tiempo de estabilización T_s (s)	Entrada	Salida	Error (%)	Máximo sobrepaso M_p (%)
Modelo						
Medición						
Modelo						
Medición						
Modelo						
Medición						
Modelo						
Medición						
Modelo						
Medición						

Ejercicio 2

Acción Proporcional-Integral PI

- Para el modelo dinámico del proceso obtenido experimentalmente en la práctica 2, sintonizar mediante las técnicas de ajustes empíricos (seleccionando la técnica que presente un mejor resultado) un controlador Proporcional-Integral PI de ganancia proporcional K_p y tiempo de acción integral T_i , haciendo uso de herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación (utilizar los valores T , T_o y K).
- Para el modelo experimental analizar el efecto de aumentar y disminuir la ganancia proporcional K_p y el tiempo de acción integral T_i , y llenar la tabla 6 haciendo uso de herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación.
- Para el Servomecanismo UV considerando un controlador Proporcional-Integral, asignar el valor de ganancia proporcional K_p y tiempo de acción integral T_i encontrado en el primer punto en el regulador de velocidad del Sistema  de igual forma que en la prácticas anteriores.
- Para el Servomecanismo UV asignar una ganancia proporcional K_p y tiempo de acción integral T_i en el regulador de velocidad del Sistema , y analizar el efecto de aumentar y disminuir la ganancia proporcional K_p y tiempo de acción integral T_i y llenar la tabla 6.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p}{s} \left(s + \frac{1}{T_i} \right) \quad (45)$$

Tabla 6. Acción Proporcional Integral PI (variación de ganancia K_p y acción integral T_i)

Acción Proporcional Integral PI							
	K_p	T_i (s)	Tiempo de estabilización T_s (s)	Entrada	Salida	Error (%)	Máximo sobrepaso M_p (%)
Modelo							
Medición							
Modelo							
Medición							
Modelo							
Medición							
Modelo							
Medición							
Modelo							
Medición							

5.5 Informe

Cada grupo debe entregar por escrito el INFORME que estará estructurado de la siguiente manera:

1. Desarrollo de la práctica
 - 1.1 Ejercicio 1
 - Desarrollo (descripción del ejercicio)
 - Mediciones
 - Validación (datos experimentales vs modelo)
 - 1.2 Ejercicio 2
 - Desarrollo (descripción del ejercicio)
 - Mediciones
 - Validación (datos experimentales vs modelo)
5. Análisis estadístico de los modelos obtenidos
2. Conclusiones
3. Bibliografía

Universidad
del Valle

6 PRÁCTICA 6: DISEÑO DE CONTROLADORES P Y PI POR MEDIO DEL LUGAR GEOMÉTRICO DE LAS RAÍCES PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DEL SERVOMECANISMO UV

Objetivo

Realizar el diseño del controlador PI del lazo de control de velocidad del Servomecanismo UV a partir de especificaciones de diseño por medio de los criterios de magnitud y ángulo del lugar geométrico de las Raíces.

Elementos y materiales

El Servomecanismo UV es una plataforma equipada con el fin de controlar dos motores síncronos de corriente alterna a través de las unidades de control de los accionamientos Sinamics S110 o desde un controlador superior PLC S7-300. Para el desarrollo de esta práctica se emplea un accionamiento Sinamics S110 con el fin de regular la velocidad sobre un motor de corriente alterna de imanes permanentes (síncrono) 1KF7, los elementos y materiales necesarios son los siguientes:

- 1 Unidad de control CU305 DP 6SL3 040-0JA00-0Axx.
- 1 Unidad de potencia Module 340 6SL3210-1SB12-3Axx (240V AC).
- 1 Motor síncrono 1KF7032-xAF2x-xxxx 3000U/min (Imanes permanentes).
- 1 Encóder 1K7xxx-xxxxx-xAxx (sen/cos incremental), 2048, 1Vpp.
- 1 Acondicionador de señal SMC20 (sensor módulo Cabinet-Mounted).
- Software STARTER
- Manual de operación para el control de velocidad y posición del Servomecanismo UV utilizando STARTER,
- Adaptador Simatic PC USB A2
- Herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación.

Tiempo

TP: 0.5 h; Lab: 2 h; TI: 2 h; V: 0 h

Prerrequisitos

Se requiere para desarrollar esta práctica que el estudiante haya realizado la práctica 5, además de comprender el efecto del empleo de controladores P y PI en la respuesta dinámica de un sistema y la topología referente a estas estrategias de control.

Preinforme

Actividades

- Consultar

Que ventaja existe en la sintonización de un controlador el empleo de métodos de ajustes empíricos o los métodos de diseño por el lugar geométrico de las raíces o respuesta en frecuencia.

Restricciones para el diseño de un controlador mediante técnicas analíticas.

- Realizar con detalle la lectura de la práctica

6.1 Introducción

Existen diferentes técnicas de diseño que permiten encontrar el tipo de compensador necesario y el valor de ajuste de sus parámetros con el fin de cumplir las especificaciones de desempeño establecidas por el diseñador. La técnica de diseño por el método del lugar geométrico de las raíces permite encontrar la el tipo de compensador necesario y los valores de sus parámetros a partir de especificaciones en el dominio del tiempo como el sobrepaso, el tiempo de estabilización y el error de estado estacionario.

Considerando lazo de control de velocidad del Servomecanismo UV el cual utiliza un controlador PI, esta práctica presenta el procedimiento analítico para realizar el diseño de este controlador y el procedimiento experimental de auto sintonía del servomecanismo con el fin de encontrar los parámetros del controlador para el proceso estudiado.

6.2 Objetivos específicos

- Diseñar un controlador P y un controlador PI a partir de especificaciones dinámicas de desempeño empleando el método del lugar geométrico de las raíces para del Sistema de Control de velocidad.
- Validar los controladores obtenidos

6.3 Marco teórico

El diseño del lugar geométrico de las raíces básicamente consiste en modificar la dinámica del proceso a través de redibujar el lugar geométrico de las raíces añadiendo polos y ceros a la función de transferencia de lazo abierto y haciendo que los polos de lazo cerrado se ubiquen en un lugar deseado en el plano complejo S.

Basándose en la idea de que el sistema en lazo cerrado tiene un par de polos dominantes lo que hace que la adición de polos y ceros no afecte la respuesta del sistema, este diseño tiene como fin reconstruir el lugar geométrico de las raíces del proceso mediante la utilización de compensador con el fin de ubicar un par de polos dominantes de lazo cerrado en la posición deseada [11] .

6.3.1 Diseño de un controlador de acción proporcional P

La función de transferencia del controlador Proporcional es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (46)$$

Donde k_p es la ganancia proporcional

La especificación de diseño del controlador k_p es a partir del error de estado estacionario utilizando la definición de error de posición para un escalón de magnitud $\frac{1}{s}$:

$$E_{ssp} = \frac{1}{1 + K_p'} \quad (47)$$

Donde k_p'

$$K_p' = \lim_{s \rightarrow 0} GH(s) \quad (48)$$

Ejemplo:

Si se tiene un proceso de cuya función es $G_p(s) = \frac{8000}{0.75s+1} * e^{-s0.0020}$, diseñar un controlador Proporcional de ganancia k_p para obtener un $E_{ssp} = 2\%$ ante una entrada escalón $1/s$.

Solución:

Para la solución se emplea la ecuación (48):

Entonces k_p' :

$$K_p' = \lim_{s \rightarrow 0} GH(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{8000 * k_p}{0.75 * s + 1} * e^{-s0.0020} = 8000 * k_p \quad (49)$$

Reescribiendo (49) en (47) se tiene:

$$E_{ssp} = \frac{1}{1 + 8000 * k_p} \quad (50)$$

Finalmente la ganancia del controlador K_p se encuentra:

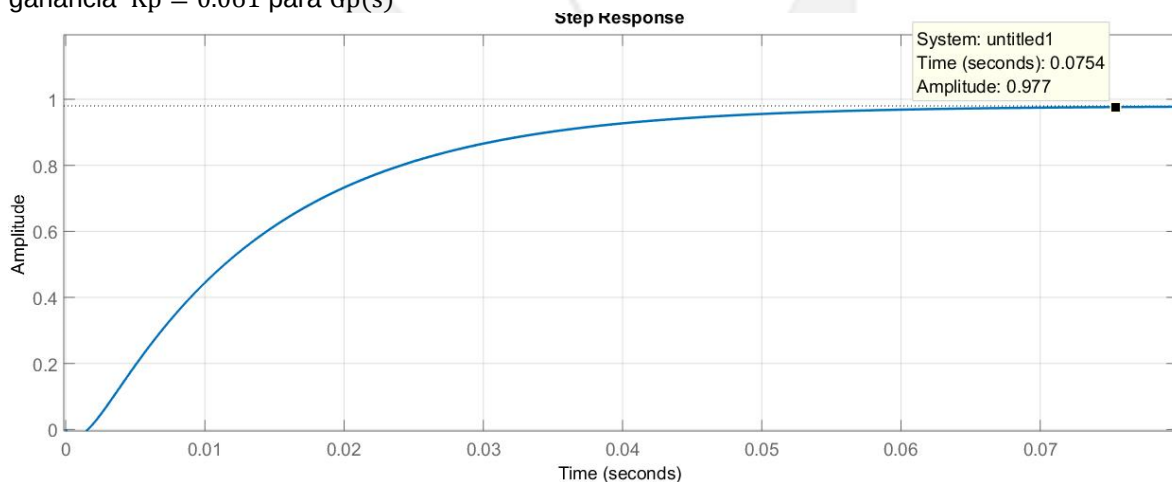
$$k_p = \frac{\frac{1}{E_{ssp}} - 1}{8000} = \frac{\left(\frac{1}{0.02}\right) - 1}{8000} = 0.0061 \quad (51)$$

Reemplazando el valor de K_p encontrado en (46), finalmente el controlador PI es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = 0.0061$$

Finalmente se presenta la respuesta al escalón para el sistema de control diseñado P de ganancia $K_p = 0.061$ ver figura 28.

Figura 28. Respuesta al escalón de sistema realimentado con controlador Proporcional de ganancia $K_p = 0.061$ para $G_p(s)$



6.3.2 Diseño de un controlador de acción proporcional integral I PI

La función de transferencia del controlador Proporcional Integral PI es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p}{s} (s + 1/T_i) \quad (52)$$

La especificación de diseño del controlador PI es a partir del sobre paso SP y el tiempo de estabilización t_s de la respuesta del sistema con el fin de definir un polo dominante que cumpla con el criterio de magnitud y ángulo del método de lugar geométrico de las raíces [20]:

Ejemplo

Si se tiene un proceso de cuya función es $G_p(s) = \frac{8000}{0.75s+1} * e^{-s0.0020}$, diseñar un controlador PI de ganancia k_p y acción integral T_i para obtener un $SP \leq 10\%$ y un tiempo de estabilización $t_s = 200ms$.

Solución:

Para un $SP = 10\%$ se tiene un $p = 0.6$ y un $\theta = 53.13^\circ$

Para un $t_s = 200ms$ por el criterio de (2%) se tiene que $\frac{4}{pwn} = 20ms$, por lo tanto $pwn = 20$.

Los polos deseados de este sistema se encuentran en:

$$s_{1-2} = -pwn + pwn * \tan(\theta) * j \quad (53)$$

Reemplazando: $s_{1-2} = -20 + 26.66 * j$

Si se adiciona el compensador PI (52) a $G_p(s)$ se tiene $GH(s)$:

$$GH(s) = \frac{K_p}{s} \left(s + \frac{1}{T_i} \right) * \frac{8000}{0.75 * s + 1} * e^{-s0.0020} \quad (54)$$

Empleando la aproximación en series de Taylor para el tiempo muerto $e^{-s0.0020}$:

$$GH(s) = \frac{K_p}{s} \left(s + \frac{1}{T_i} \right) * \frac{8000}{0.75 * s + 1} * \frac{1 - 0.001 * s}{1 + 0.001 * s} \quad (55)$$

Para encontrar el valor de T_i se emplea la condición de ángulo del LGR evaluando la función en el polinomio deseado, este criterio establece que la suma de la contribución de los ángulos de los ceros menos la suma de la contribución de los ángulos de los polos debe ser igual a -180° .

$$\sum \theta_{zj} - \sum \theta_{pi} = -180^\circ \quad (56)$$

Reemplazando el polo dominante s_{1-2} en (56) para $GH(s)$ se tiene:

$$-180^\circ = \angle(1 - 0.001s_{1-2}) + \angle(s_{1-2} + \frac{1}{T_i}) - \angle(s_{1-2}) - \angle(0.75 * s_{1-2} + 1) - \angle(1 + 0.001s_{1-2})$$

$$-180^\circ = \angle(1 - 0.001s_{1-2}) + \angle(s_{1-2} + \frac{1}{T_i}) - \angle(s_{1-2}) - \angle(0.75 * 1s_{1-2} + 1) - \angle(1 + 0.001s_{1-2})$$

$$-74.99^\circ = \angle\left(-20 + 26.66 * j + \frac{1}{T_i}\right)$$

$$74.99^\circ = -\tan^{-1}\left(\frac{26.66}{-20 + \frac{1}{T_i}}\right)$$

Donde $\frac{1}{T_i} = 12.85$ y $t_i = 77.8ms$

Para encontrar el valor de k_p una vez encontrado T_i se emplea el criterio de magnitud del LGR el cual establece que la magnitud de $GH(s)$ evaluada en el polo dominante s_{1-2} debe ser igual a 1.

$$GH(s_{1-2}) = \left| \frac{K_p(s_{1-2} + 12.85)}{s_{1-2}} * \frac{8000(1 - 0.001 * s_{1-2})}{(0.75 * s_{1-2} + 1)(1 + 0.001 * s_{1-2})} \right| = 1 \quad (57)$$

Despejando k_p de (57).

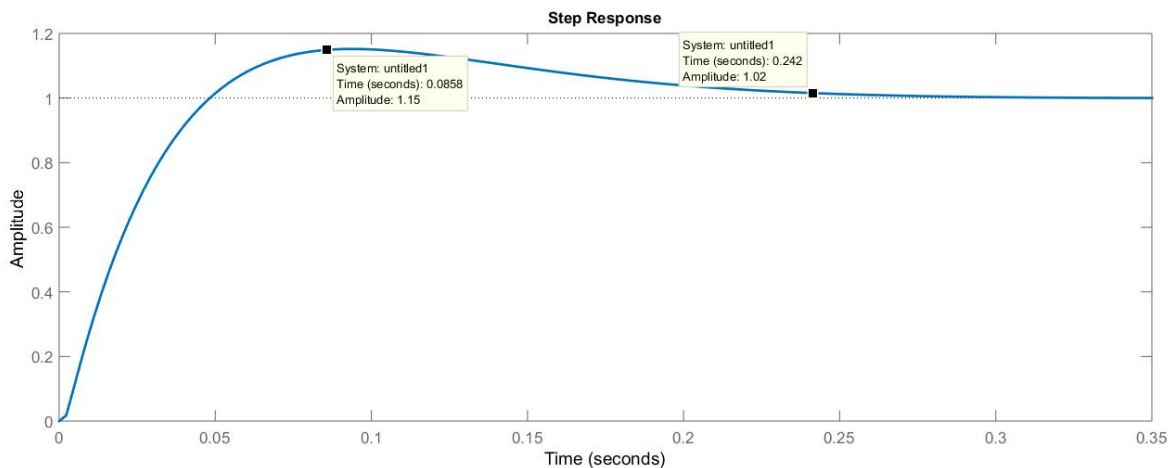
$$k_p = \left| \frac{s_{1-2}}{(s_{1-2} + 12.85)} * \frac{(0.75 * s_{1-2} + 1)(1 + 0.001 * s_{1-2})}{8000(1 - 0.001 * s_{1-2})} \right| = 0.0035$$

Reemplazando los valores encontrados k_p y T_i en (52), finalmente el controlador PI es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{0.0035}{s} * (s + 12.85)$$

Finalmente se presenta la respuesta al escalón para el sistema de control diseñado con controlador PI de ganancia $K_p = 0.0035$ y tiempo de acción integral $t_i = 77.8\text{ms}$ para $G_p(s)$ (ver figura 29).

Figura 29. Respuesta al escalón de sistema realimentado con controlador Proporcional Integral de ganancia $K_p = 0.0035$ y tiempo de acción integral $t_i = 77.8\text{ms}$ para $G_p(s)$.



6.4 Procedimiento

Ejercicio 1

Acción proporcional

- Para el modelo dinámico del proceso obtenido experimentalmente en la práctica 2, diseñar un controlador P para obtener en la respuesta del sistema un error de posición de $E_{ssp} = 20\%$.
- Excitar el sistema de lazo cerrado para el modelo del proceso con el controlador obtenido anteriormente y llenar la tabla 7 (usar herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación).
- Para el Servomecanismo UV considerando un controlador proporcional, asignar el valor de ganancia proporcional K_p encontrado en el punto anterior en el regulador de velocidad del Sistema  de igual forma que en la prácticas anteriores y llenar la tabla 7.

Tabla 7. Diseño de la acción Proporcional P

Acción Proporcional P						
	K_p	Tiempo de estabilización T_s (s)	Entrada	Salida	Error (%)	Máximo sobrepaso M_p (%)
Modelo						
Medición						

Ejercicio 2**Acción Proporcional-Integral PI**

- Para el modelo dinámico del proceso obtenido experimentalmente en la práctica 2, diseñar un controlador PI mediante el lugar geométrico de las raíces para obtener en la respuesta del sistema un tiempo de estabilización de $t_s = 20\text{ms}$ y un sobrepaso $SP \leq 10\%$, ante una entrada escalón.
- Excitar el sistema de lazo cerrado para el modelo del proceso con el controlador obtenido anteriormente y llenar la tabla 8 (usar herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación).
- Para el Servomecanismo UV considerando un controlador Proporcional Integral PI, asignar el valor de ganancia proporcional K_p y tiempo de acción integral T_i encontrado en el punto anterior en el regulador de velocidad del Sistema  de igual forma que en la prácticas anteriores y llenar la tabla 8.

Tabla 8. Diseño de la Acción Proporcional Integral PI

Acción Proporcional Integral PI							
	K_p	T_i (s)	Tiempo de estabilización T_s (s)	Entrada	Salida	Error (%)	Máximo sobrepaso M_p (%)
Modelo							
Medición							

6.5 Informe

Cada grupo debe entregar por escrito el INFORME que estará estructurado de la siguiente manera:

1. Desarrollo de la práctica
 - 1.1 Ejercicio 1
 - Desarrollo (descripción del ejercicio)
 - Mediciones
 - Validación (datos experimentales vs modelo)
 - 1.2 Ejercicio 2
 - Desarrollo (descripción del ejercicio)
 - Mediciones
 - Validación (datos experimentales vs modelo)
2. Análisis estadístico de los modelos obtenidos
3. Conclusiones
4. Bibliografía

7 PRÁCTICA 7: SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓN Y MANEJO DE LA FUNCIÓN TECNOLÓGICA POSICIONADOR SIMPLE PARA EL SERVOMECANISMO UV

Objetivo

Adquirir habilidades en la operación y manejo del Servomecanismo UV para la función de regulación de posición y de posicionador simple (PosS) del Sinamics S110

Elementos y materiales

El Servomecanismo UV es una plataforma equipada con el fin de controlar dos motores síncronos de corriente alterna a través de las unidades de control de los accionamientos Sinamics S110 o desde un controlador superior PLC S7-300. Para el desarrollo de esta práctica se emplea un accionamiento Sinamics S110 con el fin de regular la velocidad sobre un motor de corriente alterna de imanes permanentes (síncrono) 1KF7, los elementos y materiales necesarios son los siguientes:

- 1 Unidad de control CU305 DP 6SL3 040-0JA00-0Axx.
- 1 Unidad de potencia Module 340 6SL3210-1SB12-3Axx (240V AC).
- 1 Motor síncrono 1KF7032-xAF2x-xxxx 3000U/min (Imanes permanentes).
- 1 Encóder 1K7xxx-xxxxx-xAxx (sen/cos incremental), 2048, 1Vpp.
- 1 Acondicionador de señal SMC20 (sensor módulo Cabinet-Mounted).
- Software STARTER
- Manual de operación para el control de velocidad y posición del Servomecanismo UV utilizando STARTER
- Adaptador Simatic PC USB A2
- Herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación.
- Disco de posición angular para el servomecanismo

Tiempo

TP: 0.5 h; Lab: 2 h; TI: 2 h; V: 0 h

Prerrequisitos

Se requiere para desarrollar esta práctica que el estudiante haya realizado la práctica 6, además de comprender el control de posición de un servosistema.

Preinforme

Actividades

- Consultar
Aplicaciones de los sistemas de control de posición y velocidad
- Realizar con detalle la lectura de la práctica

7.1 Introducción

Es fundamental en el estudio y diseño de los sistemas automáticos de control, comprender el proceso de regulación de posición de un servosistema al igual que el de velocidad. Una vez conocido el modelo y realizado la sintonía de los parámetros de los controladores del sistema de velocidad del Servomecanismo UV, esta guía tiene como fin reconocer el principio de funcionamiento del control de posición empleado, además de configurar y operar la plataforma STARTER para el control de posición del sistema por medio de la función tecnológica posicionador simple.

7.2 Objetivos específicos

- Reconocer el de control de posición del servosistema
- Poner en marcha el servosistema para la regulación de posición, empleando la función de posicionador simple del Sinamics S110 para el Servomecanismo UV

7.3 Marco teórico

7.3.1 Módulo de función del Sinamics S110

Existen diferentes funciones de este servomecanismo, en las cuales se encuentran la servorregulación utilizada para controlar la velocidad del motor nombrada anteriormente, además de tener funciones básicas de mando y módulos de función. Estos módulos permiten ampliar las funciones del sistema permitiendo activarse en la puesta marcha, algunos módulos son [7]:

- Regulador tecnológico
- Regulador de posición
- Posicionador Simple
- Mando avanzado de freno

7.3.1.1 Regulación de posición

Es una función adicional que tiene el accionamiento, la cual permite controlar la posición del eje del motor, generalmente este sistema de regulación se caracteriza por componerse de diferentes etapas, como es la etapa de acondicionamiento de la posición real, el regulador de posición, las vigilancias y el seguimiento de posición del reductor de carga.

7.3.1.1.1 Regulador de posición

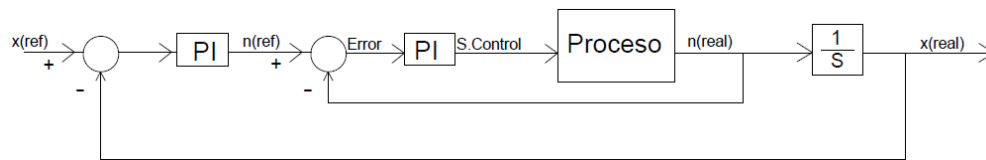
El regulador de posición está compuesto por un controlador PI (proporcional e integral) para controlar la variable principal del sistema ante cambios en la referencia (posición), además emplea un control adaptativo que permite modificar la ganancia proporcional del controlador ante cambios en los parámetros del proceso o sistema, y un controlador feedforward con el fin de controlar la salida del sistema ante efectos de disturbios de velocidad.

7.3.2 Sistema de control de posición del Servomecanismo UV

El sistema de control a trabajar en esta práctica se define a partir del sistema de control implementado por Siemens, de igual forma que en el sistema de control de velocidad, el sistema presenta restricciones de operación, configuración y parametrización, de modo que no es posible modificar los lazos de control del accionamiento imposibilitando trabajar directamente con el lazo abierto de control de posición.

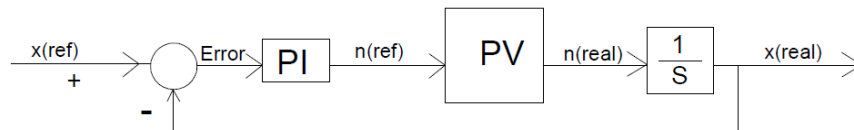
El diagrama de bloques que representa el sistema de control de posición implementado en este sistema, se diseña a partir del sistema de control PI de velocidad del Servomecanismo UV (figura 12), definiendo la posición como la variable a controlar por medio de un lazo de control (PI), la planta o el proceso es el sistema de control de velocidad de lazo cerrado PV y un integrador, y el lazo de realimentación es de ganancia unitaria este diagrama se presenta en la figura 30.

Figura 30. Sistema de control PI de posición del Servomecanismo UV



Donde $x(\text{ref})$ es la señal de referencia de posición, $x(\text{real})$ la señal de salida de posición, $n(\text{ref})$ es la velocidad de referencia de velocidad y $n(\text{real})$ la señal de salida de posición, la figura 31 representa el sistema de control equivalente para el proceso de velocidad.

Figura 31. Sistema de control PI de posición del Servomecanismo UV equivalente



Donde modelo del proceso de regulación de velocidad de lazo cerrado PV se define como:

$$PV = \frac{n(\text{real})}{n(\text{ref})} \quad (58)$$

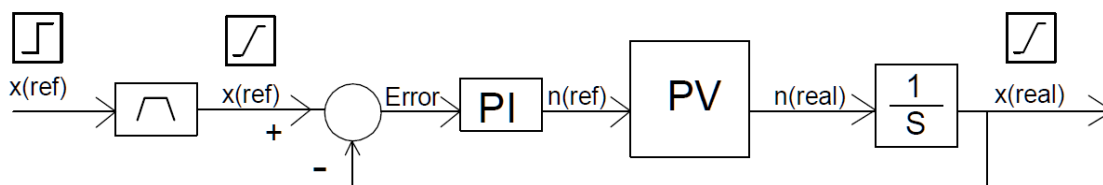
Para la señal de referencia del sistema r se toma la señal de referencia de posición $x(\text{ref})$ la cual es definida por Siemens como el parámetro r2665 en el accionamiento y para la señal de salida y se toma la señal real de posición $x(\text{real})$ la cual es definida por Siemens como el parámetro r2521 en el accionamiento (ver medición y exportación de datos).

La unidad neutra de longitud **LU** es la unidad empleada por Siemens para la medición de posición del eje, de modo que es importante considerar la relación entre las magnitudes físicas y la unidad de medida LU.

7.3.2.1 Posicionador Simple (PosS)

Es una función que permite poner en marcha el accionamiento para el sistema de control de posición, desplazando el eje del motor con un posicionado absoluto o relativo de forma lineal y giratoria con encóder de motor, esta función permite aplicar señales de referencia tipo rampa al sistema de control de posición. Además la plataforma STARTER ofrece funciones de configuración, puesta en marcha y diagnóstico de este posicionador permitiendo configurar el accionamiento de forma sencilla, si el posicionador simple está activado también debe activarse la función de regulación de posición, los tres modos de operación de esta función son modo posicionar, modo JOG y modo búsqueda del punto de referencia. La figura 32 representa la regulación del sistema y la especificación de referencia de posición a partir del posicionador simple .

Figura 32. Regulación del sistema y la especificación de referencia de posición a partir del posicionador simple



7.4 Procedimiento

El desarrollo experimental de esta práctica se realiza a través de la plataforma STARTER para puesta en marcha y medición del equipo, por lo tanto se debe emplear el archivo creado en las prácticas anteriores y ver la sección 2.4 de puesta en marcha para el posicionador (simple), si no se cuenta con el archivo se recomienda repetir todos los pasos de la sección 2 de este manual. Considerar la relación entre las magnitudes físicas de $1\text{rev}=1000\text{LU}$ ver figura 13 del manual de operación para el control de velocidad y posición del servomecanismo UV

Nota: Para la práctica 7 y 8 se debe ensamblar el disco de posición angular del servomecanismo al eje del motor.

Ejercicio 1

Puesta en marcha

- Configurar la búsqueda e iniciar la búsqueda del punto de referencia
- Poner en marcha el servomecanismo para una posición angular absoluta de 180° y una velocidad de 60 [1000LU/min] o 60rpm
- Poner en marcha el accionamiento para una posición relativa de 90° y una velocidad de 80[1000LU/min] o 80rpm

Creación de una secuencia

Realizar la siguiente secuencia de desplazamiento empleando con una velocidad de 80[1000LU/min] o 80rpm.

- Posicionar el eje a una distancia absoluta de 45°
- segundos después posicionar el eje a una posición absoluta de 90°
- segundos después posicionar el eje una posición relativa 45°
- segundo después una distancia relativa de 45°
- segundos después posicionar el eje a posición de relativa de 180°
- 2 segundos después posicionar el eje a posición absoluta de 0°

Ejercicio 2

Medición y exportación

- Realizar la medición de la posición de referencia y la posición real del sistema para los puntos anteriores empleando la función TRACE de la herramienta STARTER.
- Exportar las mediciones realizadas en hojas de datos (Excel, Bloc de notas).
- Nota: Para la posición de referencia medir el parámetro r2665 y para la posición real el parámetro r2521, la unidad de medida empleada para la velocidad del Servomecanismo UV está en rpm.

7.5 Informe

1. Desarrollo de la práctica
 - 1.1 Ejercicio 1: Desarrollo (descripción del ejercicio)
 - 1.2 Ejercicio 2: Desarrollo (descripción del ejercicio) y mediciones.
2. Análisis estadístico de los modelos obtenidos
3. Conclusiones
4. Bibliografía



8 PRÁCTICA 8: RESPUESTA EN EL TIEMPO Y MODELADO DE SISTEMAS DINAMICOS PARA CONTROL DE POSICIÓN DEL SERVOMECANISMO UV

Objetivo

Comprender la estructura del sistema dinámico de control de posición del servomecanismo.

Elementos y materiales

El Servomecanismo UV es una plataforma equipada con el fin de controlar dos motores síncronos de corriente alterna a través de las unidades de control de los accionamientos Sinamics S110 o desde un controlador superior PLC S7-300. Para el desarrollo de esta práctica se emplea un accionamiento Sinamics S110 con el fin de regular la velocidad sobre un motor de corriente alterna de imanes permanentes (síncrono) 1KF7, los elementos y materiales necesarios son los siguientes:

- 1 Unidad de control CU305 DP 6SL3 040-0JA00-0Axx.
- 1 Unidad de potencia Module 340 6SL3210-1SB12-3Axx (240V AC).
- 1 Motor síncrono 1KF7032-xAF2x-xxxx 3000U/min (Imanes permanentes).
- 1 Encóder 1K7xxx-xxxxx-xAxx (sen/cos incremental), 2048, 1Vpp.
- 1 Acondicionador de señal SMC20 (sensor módulo Cabinet-Mounted).
- Software STARTER
- Manual de operación para el control de velocidad y posición del Servomecanismo UV utilizando STARTER
- Adaptador Simatic PC USB A2
- Herramientas tecnológicas empleadas para simulación y validación
- Disco de posición angular para el servomecanismo

Tiempo

TP: 0.5 h; Lab: 2.5 h; TI: 2.5 h; V: 0 h

Prerrequisitos

Se requiere para desarrollar esta práctica que el estudiante haya realizado la práctica 7, además de tener habilidades en la puesta en marcha para el control de posición del sistema, a partir de la función posicionador simple.

Preinforme

Actividades

- Consultar
Efectos de sistemas doblemente realimentados
Modelo dinámico de un sistema de control de posición a partir del modelo del sistema de control de velocidad
Como obtener una señal de posición en (rev) a partir de una señal de velocidad en (rev/min) en una herramienta tecnológica
Consultar respuesta permanente de un sistema de lazo cerrado ante una rampa unitaria de sistemas de primer, segundo y tercer orden
- Realizar con detalle la lectura de la práctica

8.1 Introducción

La regulación de posición empleada por el servomecanismo UV a través del variador de velocidad Sinamics S110 solo es posible habilitarla para puesta en marcha por medio del posicionador simple, este posicionador simple tiene como función en el sistema de control, especificar la consigna del punto de referencia de posición del sistema (LU), esta consigna es asignada por medio de una señal tipo rampa en la cual la pendiente de esta señal es la posición ejemplo: (1rev/min) o (1000 LU/min), además esta regulación de posición, al igual que la servorregulación o regulación de velocidad, presenta restricciones de operación y limitaciones imposibilitando modificar los lazos y el tipo de señal del sistema.

Considerando lo anterior no es posible emplear una técnica de experimentación de lazo abierto y tampoco de lazo cerrado debido a que no se pueden modificar los lazos de control y tampoco aplicar señales de referencia tipo escalón para encontrar el modelo dinámico de lazo abierto del sistema de posición. De modo que para encontrar el modelo dinámico del sistema se debe trabajar con el modelo obtenido a partir de la respuesta temporal del sistema de control de velocidad en lazo cerrado, y conociendo este modelo y la estructura del sistema de control de posición (ver figura 30), encontrar el modelo en lazo abierto y el modelo en lazo cerrado de posición, para finalmente comparar y validar los datos obtenidos con la respuesta temporal del sistema de posición en lazo cerrado para un controlador con parámetros conocidos y una señal tipo rampa.

8.2 Objetivos específicos

- Obtener el modelo de lazo abierto del sistema de posición a partir del modelo del sistema de velocidad
- Obtener el modelo del sistema de control de posición en lazo cerrado conociendo los parámetros del controlador
- Comparar y validar los datos obtenidos del modelo con la respuesta temporal del sistema en lazo cerrado, conociendo los parámetros del controlador y aplicando una señal tipo rampa

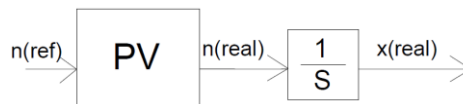
8.3 Marco teórico

Los temas mencionados de identificación de procesos y modelado dinámicos en la práctica 2 de este libro se utilizan de igual forma en esta práctica para identificar el modelo del sistema de control de velocidad, otros temas fundamentales para el desarrollo de esta guía son:

8.3.1 Modelo del sistema de control de posición en lazo abierto

Considerando la figura 30 mencionada anteriormente, el sistema de lazo abierto para el control de posición se puede representar de la siguiente forma (ver figura 33).

Figura 33. Sistema de lazo abierto para el control de posición.



Donde PV es el sistema de control del proceso de velocidad del sistema, $n(\text{ref})$ es la velocidad de referencia de velocidad, $n(\text{real})$ la señal de salida de velocidad y la señal de salida de posición, para encontrar el modelo del sistema de control de posición de lazo abierto $G_{x_{ol}} = \frac{x(\text{real})}{n(\text{ref})}$, se debe integrar la señal de salida de velocidad del sistema para obtener la posición obteniendo:

$$G_{x_{ol}} = \frac{PV}{S} \quad (59)$$

Nota: Al modelar el sistema dinámico en una herramienta computacional por lo general la señal del integrador aplicado trabaja en segundos, por lo que se debe tener en cuenta que la medición de la señal de salida del sistema de velocidad trabajado y modelado está en unidades de rev/min o rad/min se debe convertir esta señal a rev/s o rad/s, para finalmente obtener una posición en rev o rad.

Ejemplo: Si el sistema de velocidad estudiado tiene unidades de medida en rpm o rev/min, y el software de simulación trabaja en segundos, el sistema de control de posición modelado en el software es igual a:

$$G_{x_{ol}} = \frac{PV}{S} \left[\frac{\text{rev}}{\frac{\text{min}}{(\text{seg})}} \right] \quad (60)$$

Por lo tanto:

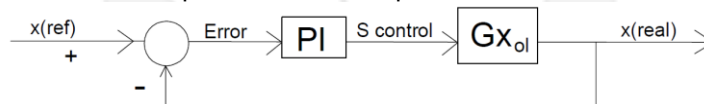
$$G_{x_{ol}} = \frac{PV}{S} \left[\frac{\text{rev}}{60 * \text{seg}} \right] \quad (61)$$

$$G_{x_{ol}} = \frac{PV}{60 * S} [\text{rev}] \quad (62)$$

8.3.2 Modelo del sistema de control de posición en lazo cerrado

Considerando el sistema de control de posición de la figura 30 y la ecuación (60) el sistema de control de posición del servomecanismo se puede representar como (ver figura 34).

Figura 34. Sistema de lazo abierto para el control de posición



Donde $x(\text{ref})$ es la señal de referencia de posición y $x(\text{real})$ la señal de salida de posición, el modelo del sistema de control de posición de lazo cerrado $G_{x_{cl}}$ se define como:

$$G_{x_{cl}} = \frac{X(\text{real})}{x(\text{ref})} \quad (63)$$

8.4 Procedimiento

El desarrollo experimental de esta práctica se realiza a través de la plataforma STARTER para puesta en marcha y medición del equipo, por lo tanto se debe poner en marcha el sistema para la función posicionador simple para activar la regulación de posición de igual forma que en la práctica 7.

Nota: Para la práctica 7 y 8 se debe asignar o ensamblar el disco de posición angular del servomecanismo al eje del motor, además

Ejercicio 1

Modelo del sistema dinámico de velocidad en lazo abierto y lazo cerrado

- Encontrar el modelo del proceso de lazo abierto G_p del sistema del control de velocidad del servomecanismo UV para un punto de operación de 0rpm, utilizando el método de identificación de lazo cerrado de igual forma que en la práctica 2.
- Para el modelo dinámico del proceso obtenido en el punto anterior, diseñar un controlador PI mediante el lugar geométrico de las raíces para obtener en la respuesta del sistema un tiempo de estabilización de $t_s = 30\text{ms}$ y un sobrepaso $SP \leq 20\%$,

- Encontrar el modelo de lazo cerrado para el sistema de control del punto anterior PV ver ecuación (58)

Ejercicio 2

Modelo del sistema dinámico de posición en lazo abierto y lazo cerrado

- Encontrar el modelo del sistema de posición en lazo abierto $G_{x_{ol}}$ a partir del modelo de lazo cerrado de velocidad encontrado en el punto anterior emplear ecuación (62).
- Encontrar el modelo de lazo cerrado del sistema de control de posición $G_{x_{cl}}$ para un controlador proporcional de ganancia $K_v=3000$ ver figura 34 y ecuación (63).
- Para el modelo de lazo cerrado de posición obtenido en el punto anterior, encontrar la respuesta temporal ante una señal de referencia tipo rampa con una pendiente de 2500 LU/seg, con el fin de obtener los datos de posición en LU y los de tiempo en segundos para la comparación.

Ejercicio 3

Respuesta temporal del sistema de posición en lazo cerrado con STARTER

- Poner en marcha el servomecanismo para el posicionador simple y asignar el punto de operación del sistema a una posición absoluta de 0 LU
- Asignar una ganancia $K_v=3000\text{rpm}$ o 3 [1000rev/min] (ver sección 4.2.1 del manual de operación de velocidad y posición)
- Realizar un cambio en la referencia del sistema desplazando el eje a una posición absoluta de 1000LU a una velocidad de 150 rpm.
- Realizar la medición de la posición de referencia r2665 y la posición real r2521 del sistema para los puntos anteriores empleando la función TRACE de la herramienta STARTER (ver sección 3 del manual de operación) y exportar las mediciones realizadas en hojas de datos (Excel, Bloc de notas), se recomienda emplear la función **trace con fin** y un disparo de **flanco positivo** para la señal de referencia de a partir del umbral de 1LU.

Ejercicio 4

Comparación de la respuesta temporal del modelo con la medición

Para realizar la comparación, al importar la medición hecha en STARTER en la herramienta tecnológica se debe pasar los datos de tiempo de milisegundos a segundos.

- Comparar la señal de referencia medida r2665-x(ref) medida en el punto anterior con la señal rampa de referencia aplicada en el punto 2 de pendiente de 2500 LU/seg y determinar el retraso de tiempo que existe entre las dos referencias.
- Una vez determinado el tiempo de retraso en el punto anterior, comparar la señal de salida del sistema modelado en el punto 2, con la señal de salida de posición r2521-x(real) obtenida en el punto 3, considerar el tiempo de retraso en la señal de salida r2125-x(real).
- Nota: El posicionador simple especifica la velocidad de referencia en LU/min o rev/min, por esta razón para comparar estos datos, se asigna en el punto 2 del modelo una rampa de posición con una pendiente en LU/seg con el fin de obtener en la respuesta del sistema los datos de posición en LU y los de tiempo en segundos, recordando que 150rpm es igual a 150000 LU/min ó 2500 LU/seg)

8.5 Informe

5. Desarrollo de la práctica

- 1.1 Ejercicio 1: Desarrollo (descripción del ejercicio)
- 1.2 Ejercicio 2: Desarrollo (descripción del ejercicio)
- 1.3 Ejercicio 3: Desarrollo (descripción del ejercicio) y mediciones

- 1.4 Ejercicio 4: Desarrollo (descripción del ejercicio)
6. Análisis estadístico de los modelos obtenidos
 7. Conclusiones
 8. Bibliografía



BIBLIOGRAFIA

- [1] Frecuencia y Velocidad, "Sinamics S110." [Online]. Available: <http://www.frecuenciayvelocidad.com/productos/servocontroles/sinamic-s110>.
- [2] SINAMICS S110, "Manual de producto." 2011.
- [3] Siemens, "Catalogo PM22 Sinamics S1110," 2009.
- [4] Siemens, "Motores síncronos 1FK7 Instrucciones de servicio." 2011.
- [5] Siemens, "PC Adapter USB A2," 2013.
- [6] W. S. Levine, *The Control Handbook*. Florida, 1996.
- [7] Siemens, "Sinamics s110 Manual de funciones," 2010.
- [8] J.-P. D. Díaz, "Modelado de sistemas dinámicos y respuesta en el tiempo," Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica -Universidad del Valle, 2015.
- [9] "Modelado de Sistemas de primer orden y segundo orden," Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica -Universidad del Valle, Santiago de Cali, 2014.
- [10] R. Plazas, "MODELADO DE SISTEMAS DINÁMICOS Y RESPUESTA EN EL TIEMPO," Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica -Universidad del Valle, 2014.
- [11] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*. Prentice Hall, 2003.
- [12] J. M. Ramírez, "Sistemas de Control Enfoque de Proyecto," Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica -Universidad del Valle, Santiago de Cali, 2014.
- [13] C. Smith and A. Corripio, *Principles and Practice of Automatic Process Control*. 1997.
- [14] K. J. Aström and T. Hägglund, *Control PID*. 2009.
- [15] M. M. Alfaro, "Identificación de Procesos sobre amortiguados utilizando técnicas de lazo abierto," 2001.
- [16] V. Ruiz, "Métodos de sintonización de controladores PID que operan como reguladores," *Rev. Ing.*, vol. 12, no. 2, pp. 21–36, 2011.
- [17] I. A. M. Solís, "Comparación de las características de desempeño de los modelos de primer y segundo orden más tiempo," 2004.
- [18] B. Kuo, *Sistemas de Control Automatico.pdf*. México, 1996.
- [19] J.-P. Díaz Paz, "Lugar Geométrico de las Raíces. Guía de Laboratorio," Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica -Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- [20] M. Ram, E. Emilio, R. Garc, and U. D. E. L. Valle, "Sistemas de Control II," Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica -Universidad del Valle, 2008.