

Índice general

1. Conceptos Preliminares	2
1.1. Modos Deslizantes	2
1.1.1. Introducción	2
1.1.2. Ejemplo Introdutorio a los Modos Deslizantes	3
1.2. Control Equivalente	9
1.2.1. Introducción	9
1.2.2. Propiedades del Control Equivalente	11
1.3. Modos Deslizantes Integrales	12
1.3.1. Introducción	12
1.4. Algoritmo Super Twisting	13
1.4.1. Introducción	13
1.4.2. Propiedades del Super Twisting	16
2. Control de Posición	17
2.0.3. Introducción	17
2.0.4. Modelado de la Planta	18
2.0.5. Diseño del Controlador	19
2.0.6. Compensador de Perturbaciones por Modos Deslizantes	21
2.1. Ganancia Variable	23
2.1.1. Introducción	23
2.1.2. Ley de Adaptación de Control por Modos Deslizantes	24
2.2. Algoritmo Super Twisting	24
2.2.1. Introducción	24

2.2.2. Ley de Control	25
3. Planta	26
3.1. Descripción de la Planta	26
3.1.1. Implementación del Control en Tiempo-Real	30
3.1.2. Motor	30
3.1.3. Sensores	31
4. Modelado Matemático	32
4.1. Modelo Matemático	32
4.1.1. Representación en Espacio de Estados	34
4.1.2. Modelo Matemático Reducido	36
5. Diseño del Controlador	38
5.1. Control v	39
5.1.1. Configuración PID	39
5.1.2. Configuración PD	40
5.2. Control por Modos Deslizantes	42
5.2.1. Modo Deslizante de Primer Orden	42
5.2.2. Modo Deslizante de Primer Orden de Ganancia Variable	43
5.2.3. Super Twisting	45
5.3. Estimación de la Velocidad	47
5.3.1. Diferenciador	47
6. Resultados Experimentales	50
6.1. Primer Experimento	50
6.2. Segundo Experimento	58
7. Conclusiones	64
A. Control Proporcional Integral Derivativo PID	67
A.1. Sintonización PID	68

B. Entorno Simulink

70

Índice de figuras

1.	Equipo hidráulico experimental para pruebas de algoritmos de control por modos deslizantes [10]	II
2.	Componentes electro-hidráulicos en una turbina de viento [15]	III
3.	Vehículo de carga con equipo hidráulico [9]	III
4.	Analogía del funcionamiento de un cilindro hidráulico con un sistema masa resorte [9]	V
1.1.	Movimiento uni-dimensional de una masa unitaria	3
1.2.	Convergencia asintótica para $f(x_1, x_2, t) \equiv 0$	4
1.3.	Convergencia al dominio Ω para $f(x_1, x_2, t) = \sin 2t$	4
1.4.	Variable deslizante	8
1.5.	Convergencia asintótica para $f(x_1, x_2, t) = \sin 2t$	8
1.6.	Plano de fase	9
1.7.	Acercamiento en el plano de fase	9
1.8.	Control por modos deslizantes (SMC)	10
1.9.	Acercamiento al control por modos deslizantes (SMC)	10
1.10.	Estimación del control equivalente	12
1.11.	Estimación de la perturbación	12
1.12.	Variable deslizante σ	15
1.13.	Control Super Twisting	15
1.14.	Seguimiento de la trayectoria	15
3.1.	Sistema masa-amortiguador-resorte Modelo 210 de ECP	26
3.2.	Sistema Experimental de Control	27
3.3.	Descripción del Sistema Físico	28

3.4. Componentes del sistema 210 de ECP	29
3.5. Vista transversal de un motor típico de DC sin escobillas (cuatro polos) . . .	31
3.6. Principio de Operación de un Encoder Óptico Incremental	31
4.1. Diagrama de bloques del sistema masa-resorte-amortiguador	32
4.2. Diagrama de cuerpo libre de la masa 1	33
4.3. Diagrama de cuerpo libre de la masa 2	33
4.4. Diagrama de Bloques del Sistema dividido en dos secciones	36
4.5. Diagrama de bloque reducido considerando perturbaciones	37
5.1. Oscilaciones sostenidas obtenidas experimentalmente aplicando el segundo método de Ziegler-Nichols con $K_{cr} = 2796$ y $P_{cr} = 0.2[s]$	39
5.2. Diagrama del Control v con configuración PID en Simulink	40
5.3. Frecuencia natural del sistema en función de la masa	41
5.4. Respuesta escalón de $G(s)$ para distintos valores de ω_n	41
5.5. Diagrama del Control v con configuración PD en Simulink	42
5.6. Superficie deslizante s correspondiente a una ganancia $L = 9$	42
5.7. Diagrama del controlador SMC de primer orden en Simulink	43
5.8. Diagrama del controlador SMC de primer orden de ganancia variable en Simulink	43
5.9. Diagrama de la adaptación de ganancia Simulink	44
5.10. Superficie s y ganancia adaptable L	44
5.11. Diagrama del controlador SMC Super Twisting en Simulink	45
5.12. Diagrama del controlador Super Twisting con filtro en Simulink	45
5.13. Diagrama del bloque Super Twisting sin filtro en Simulink	46
5.14. Superficie s para Super Twisting con y sin filtro paso-bajas	46
5.15. Comparación de la velocidad estimada en el sistema y la respuesta simulada de la función de transferencia $G(s)$	48
5.16. Diagrama del Diferenciador en Simulink	49
5.17. Diagrama del Diferenciador Numérico basado en el Método de la Secante en Simulink	49
5.18. Diagrama del Diferenciador de Levant en Simulink	49

6.1. Comparación de la posición alcanzada con los distintos algoritmos de control a una referencia dada de 1 [cm]	51
6.2. Zoom de la posición en la respuesta transitoria	51
6.3. Zoom de la posición en el estado permanente	52
6.4. Error e	53
6.5. Zoom Error e	53
6.6. Velocidades del sistema	54
6.7. Zoom de las velocidades del sistema	54
6.8. Control v	55
6.9. Zoom del control v	56
6.10. Control u	56
6.11. Zoom del control u	57
6.12. Comparación de la posición alcanzada con los distintos algoritmos de control a una referencia dada de 1 [cm], en presencia de perturbaciones	58
6.13. Zoom de la posición en la respuesta transitoria	59
6.14. Zoom de la posición en el estado permanente	60
6.15. Velocidades del sistema	60
6.16. Zoom de las velocidades del sistema	61
6.17. Control v	61
6.18. Zoom del control v	62
6.19. Control u	62
6.20. Zoom del control u	63
A.1. Oscilaciones sostenidas aplicando el método de lazo cerrado de Ziegler-Nichols	68
A.2. Curva de respuesta en forma de S aplicando el método de lazo abierto de Ziegler-Nichols	69
B.1. Parámetros de Configuración del RTW	70
B.2. Bloque de Reset en Simulink	71
B.3. Diagrama de la planta en Simulink	71