



Title: Continuous Twisting aplicado al modelo matemático de un generador síncrono

Author: Susana, RAMÍREZ-YOCUPICIO, Joel, RUIZ-IBARRA, Ramón René, PALACIO-CINCO, Erica, RUIZ-IBARRA

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 30
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 | 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	of Congo
Ecuador	Taiwan	Nicaragua
Peru	Paraguay	

Índice

- INTRODUCCIÓN
 - Modelo matemático del generador síncrono
 - Objetivo de control
 - Primera estructura de control
 - Control por Continuous Twisting
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- CONCLUSIONES

INTRODUCCIÓN

- Generación eléctrica por medio de máquinas síncronas.
- Dinámicas complejas y parámetros de difícil medición.
- Delicado equilibrio entre generación y demanda.
- Se deben mantener márgenes de operación.

INTRODUCCIÓN

- Linealizaciones muy sencillas.
- Controles lineales.
- Al utilizar esquemas de control sencillos se dejan de considerar características dinámicas importantes.
- Reducción de la capacidad y robustez de la red.

INTRODUCCIÓN

- Desarrollo de controladores robustos aplicado a sistemas eléctricos de potencia.
- Método directo de Lyapunov, pasividad, control adaptivo, entre otros.
- Modos deslizantes.

METODOLOGÍA

- Modelo matemático del generador síncrono.
- Objetivo de control.
- Primera estructura de control.
- Control por Continuous Twisting.

Modelo matemático

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 - w_b \\ \dot{x}_2 &= \frac{w_b}{2H} (T_m - T_e) \\ \dot{x}_3 &= b_1 x_7 + b_2 x_5 + b_3 x_3 + w_b V_f \\ \dot{x}_4 &= c_1 x_8 + c_2 x_6 + c_3 x_4 \\ \dot{x}_5 &= d_1 x_7 + d_2 x_3 + d_3 x_5 \\ \dot{x}_6 &= e_1 x_8 + e_2 x_4 + e_3 x_6 \\ \dot{x}_7 &= h_1 V_d + h_2 V_f + h_3 x_7 + h_4 x_3 + \\ & h_5 x_5 + h_6 x_2 x_4 + h_7 x_2 x_6 + h_8 x_2 x_8 \\ \dot{x}_8 &= k_1 V_q + k_2 x_8 + k_3 x_4 + k_4 x_6 + \\ & k_5 x_2 x_3 + k_6 x_2 x_5 + k_7 x_2 x_7\end{aligned}\tag{1}$$

Modelo matemático

$x_1 = \delta$ es el ángulo de carga.

$x_2 = \omega$ es la velocidad angular.

$x_3 = \phi_f$ es el enlace de flujo del devanado de campo.

$x_4 = \phi_g$, $x_5 = \phi_{kd}$ Y $x_6 = \phi_{kq}$ son los enlaces de flujo de los devanados de amortiguamiento.

$x_7 = i_d$ Y $x_8 = i_q$ son las corrientes del estator en eje directo y cuadratura, respectivamente.

Modelo matemático

ω_b es la velocidad angular síncrona del rotor.

T_m es el par mecánico.

T_e es el par eléctrico y está definido como:

$$T_e = a_1 x_3 x_8 + a_2 x_5 x_8 + a_3 x_4 x_7 + a_4 x_6 x_7 + a_5 x_7 x_8$$

$$V_d = V \sin(x_1) \quad \text{y} \quad V_q = V \cos(x_1)$$

V es el bus infinito.

V_f voltaje de alimentación (entrada).

Modelo matemático

H

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5

b_1, b_2, b_3

c_1, c_2, c_3

d_1, d_2, d_3

e_1, e_2, e_3

$h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8$

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7$

} son parámetros constantes

Objetivo de control

$$x_2 = w_b$$

$$s = s_1 = e = \dot{x}_1 = x_2 - w_b \quad (2)$$

$$\dot{s}_1 = s_2 = \dot{x}_2 = \frac{w_b}{2H} (T_m - T_e) \quad (3)$$

Primera estructura de control

Se define $q_1 = b_1x_7 + b_2x_5 + b_3x_3$ y se toma en cuenta \dot{x}_3 como el canal de control a partir de (1). Se propone la siguiente estructura de control:

$$u = \frac{1}{w_b} (-q_1 + v_1)$$

donde v_1 es el nuevo control a definir.

Primera estructura de control

De esta manera, sustituyendo (4) en (1)

$$\dot{x}_3 = v_1$$

Primera estructura de control

Para el cálculo de \dot{s}_2 , se toma en cuenta (4), (5) y \dot{x}_7 , que también presenta la señal del control, se obtiene

$$\dot{s}_2 = -\frac{w_b}{2H} \left\{ (w_b a_1 x_8 + h_2 q_3) \left[\frac{1}{w_b} (-q_2 - v_1) \right] + a_1 x_8 q_1 + q_2 + q_3 q_4 \right\} \quad (6)$$

Primera estructura de control

donde

$$q_2 = a_3 \dot{x}_4 x_7 + a_2 \dot{x}_5 x_8 + a_4 \dot{x}_6 x_7 + \dot{x}_7 (a_3 x_4 + a_4 x_6 + a_5 x_8) + \dot{x}_8 (a_1 x_3 + a_2 x_5 + a_5 x_7)$$

$$q_3 = a_3 x_4 + a_4 x_6 + a_5 x_8$$

$$q_4 = h_1 V_d + h_3 x_7 + h_4 x_3 + h_5 x_5 + h_6 x_2 x_4 + h_7 x_2 x_6 + h_8 x_2 x_8.$$

Primera estructura de control

Definiendo

$$v_1 = - \left(\frac{2H}{w_b a_1 x_8 + h_2 q_3} \right) v \quad (7)$$

Primera estructura de control

Sustituyendo (7) en (6) y tomando en cuenta (3), se obtiene lo siguiente

$$\begin{aligned}\dot{s}_1 &= s_2 \\ \dot{s}_2 &= v + q_5\end{aligned}\tag{8}$$

donde

$$q_5 = \frac{h_2}{2H} q_1 q_3 - \frac{w_b}{2H} (q_2 + q_3 q_4), \text{ asumiendo } |\dot{q}_5| \leq q \in \mathbb{R}.$$

Control por Continuous Twisting

Para aplicar este control se requiere información de la superficie s_1 y su primera derivada s_2 .

El algoritmo de control presenta la siguiente forma

$$\begin{aligned}v &= -K_1[z_1]^{\frac{1}{3}} - K_2[z_2]^{\frac{1}{2}} + \eta \\ \dot{\eta} &= -K_3[z_1]^0 - K_4[z_2]^0\end{aligned}\quad (10)$$

Considerando la nomenclatura

$$[w]^p = |s_j|^p \text{sign}(s_j), j = \{1,2\} \quad \gamma \quad p = \left\{1, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\right\}$$

Control por Continuous Twisting

Los valores de las ganancias se obtuvieron suponiendo $q = 3.011503$.

$$K_1 = 145.8067188$$

$$K_2 = 40.127493$$

$$K_3 = 50$$

$$K_4 = 25.36589774$$

RESULTADOS

Para obtener los resultados de simulación se utilizan los parámetros nominales de un generador síncrono trifásico de 555 MVA, 24 kV a una frecuencia de 60 Hz. El rotor cuenta con dos polos, tres fases y se considera un bus infinito. Se considera la inductancia y la resistencia de la línea.

RESULTADOS

Se aplicó un aumento del par mecánico de 0.2 pu desde el tiempo $t = 3$ seg al tiempo $t = 3.5$ seg. Los cambios paramétricos se realizaron $t = 6$ seg a $t = 6.5$ seg, se introdujo un cambio del 10% en los valores b_2 y h_4 , ambos en el canal del control. El corto circuito fue aplicado durante 0.1 seg, a partir de $t = 10$ seg, para lograrlo se llevó el voltaje de bus infinito a $V_{inf} = 0.7$ pu.

RESULTADOS

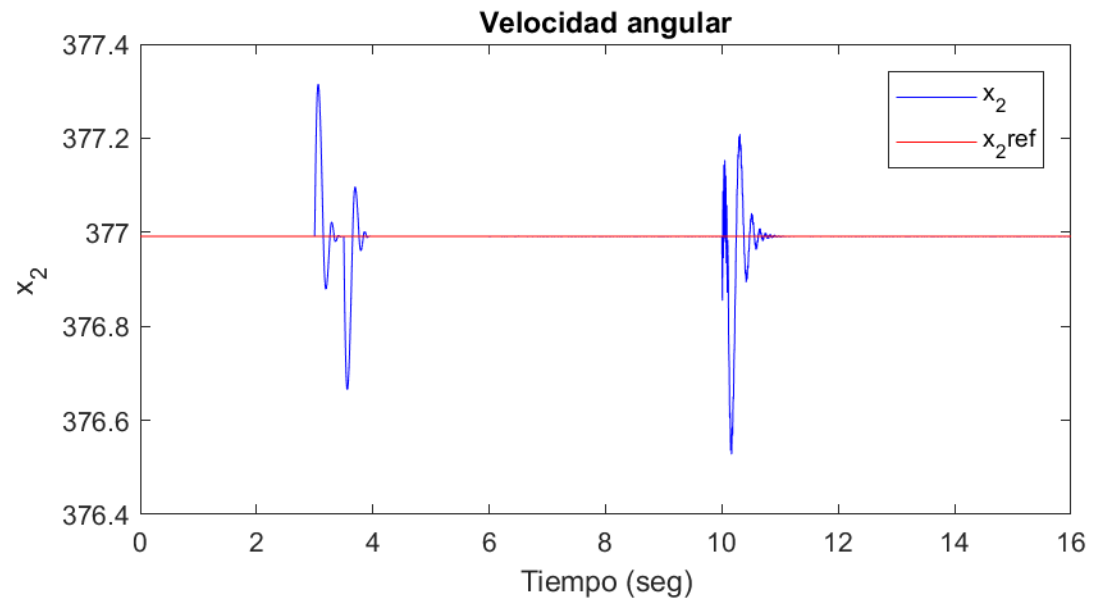


Figura 1. Velocidad angular.

RESULTADOS

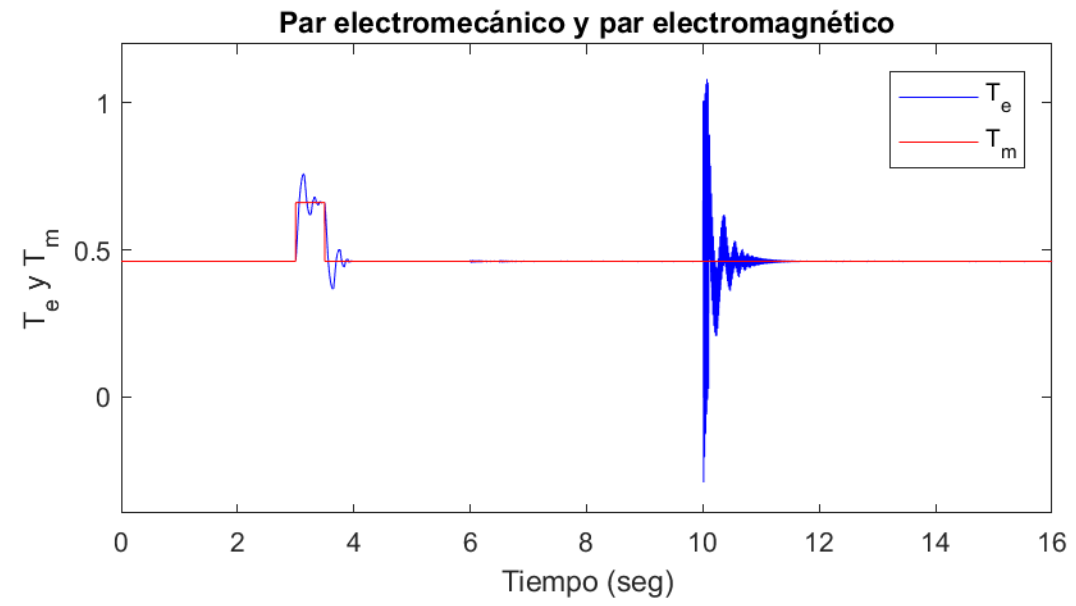


Figura 2. Par electromecánico y electromagnético.

RESULTADOS

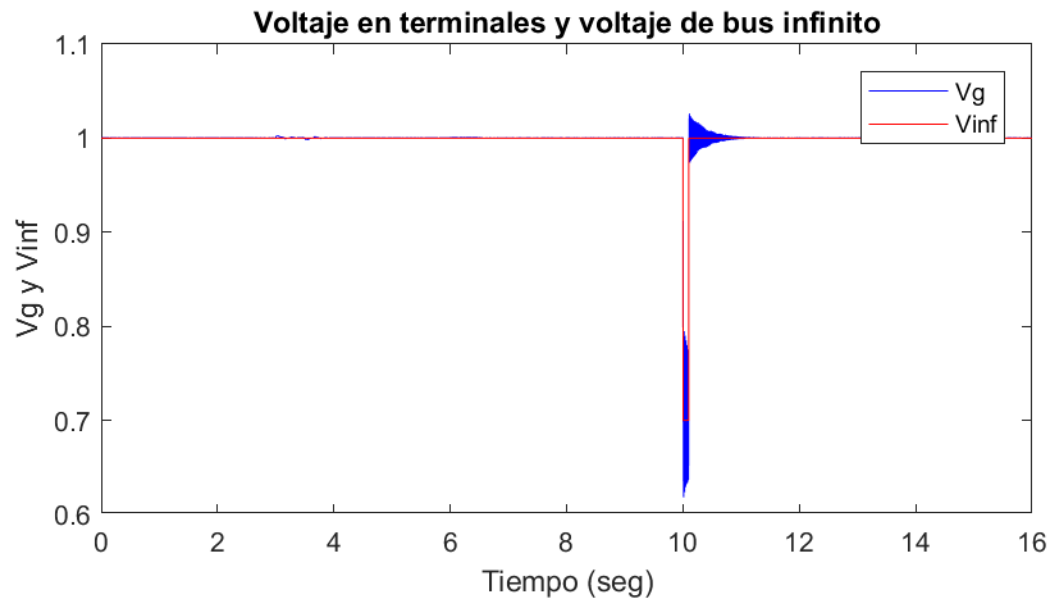


Figura 3. Voltaje en terminales y de bus infinito.

RESULTADOS

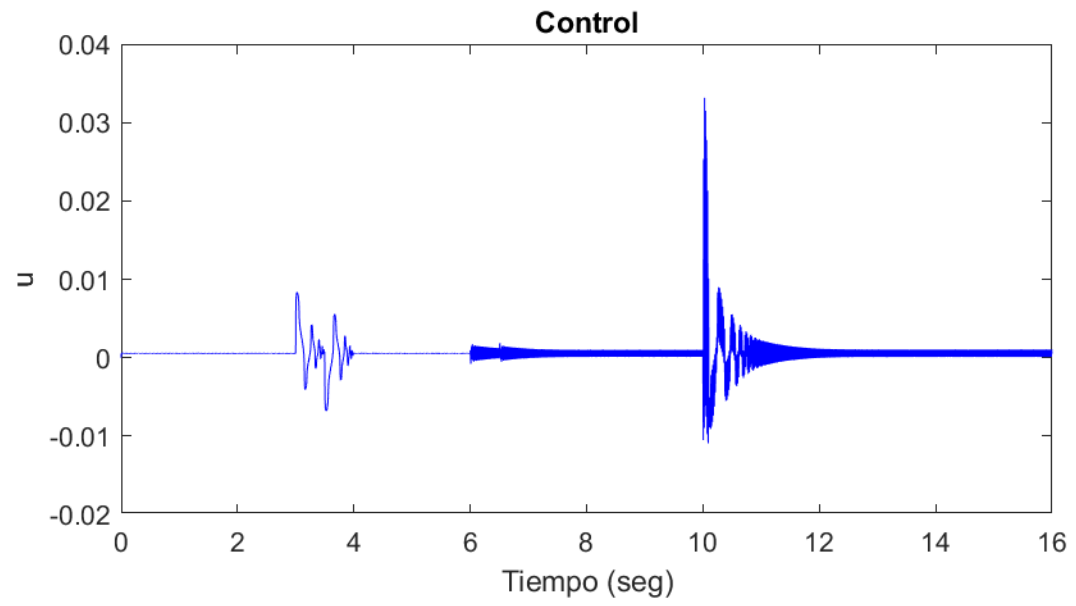


Figura 4. Señal de control.

RESULTADOS

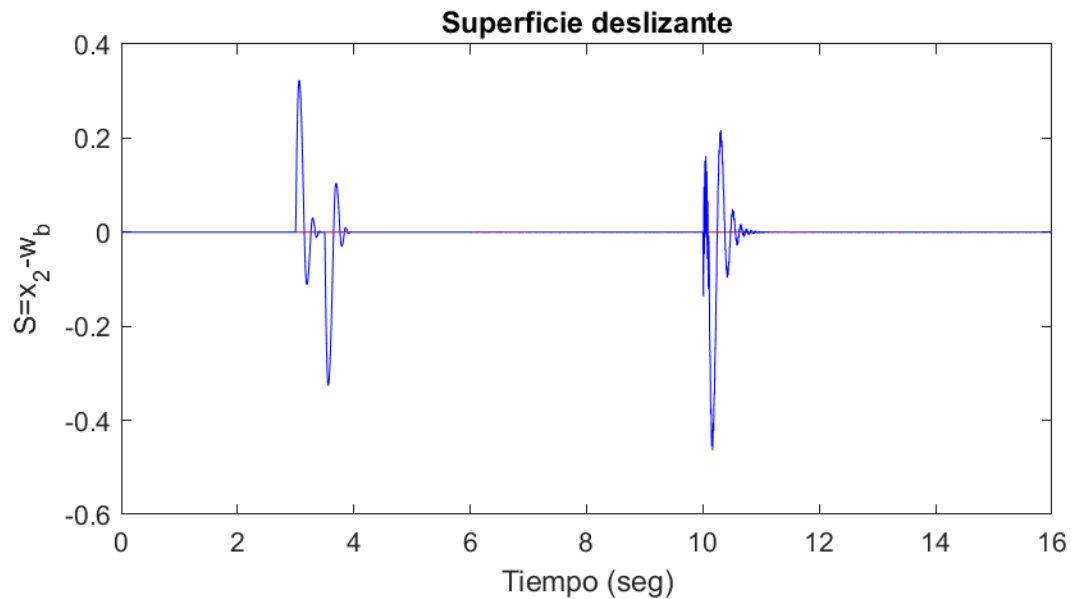


Figura 5. Superficie deslizante.

RESULTADOS

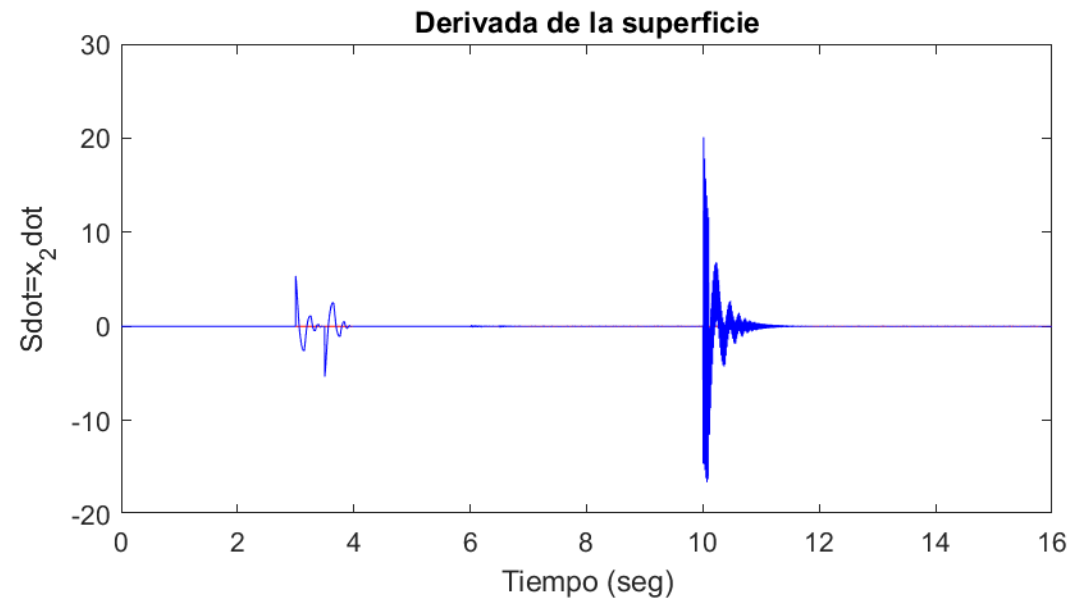


Figura 6. Derivada de la superficie.

CONCLUSIONES

- Aplicación del algoritmo de control Continuous Twisting con la ayuda de una primera estructura de control propuesta.
- La superficie y su derivada presentan convergencia en tiempo finito.
- La señal de control es continua por lo tanto se obtienen una eliminación de *chattering*.
- Las ganancias utilizadas son válidas si se cumple con las condiciones aquí propuestas.

CONCLUSIONES

- El uso de la estructura de control aquí propuesta puede aplicarse con otros algoritmos de control como *Twisting* y *Super Twisting*.
- Para trabajo futuro se recomienda la utilización de un observador para estimar estados de difícil medición.

Referencias

- S. Bialek, J. W. Bumby, J. R. AbiSamra, N. Machowski y J. Robak. *Decentralised stabilityenhancing control of synchronous generator*. IEEE Transactions of Power Systems, 15(4):1336-1344, 2000.
- Boiko y L. Fridman. *Analysis of chattering in continuous sliding mode controllers*. IEEE Trans. Autom. Control, 50(9):1442-1446, 2005.
- V. Del Toro. *Electric Power Systems*. Prentice Hall, New Jersey, 1992.
- B. Drazenovic. *The invariance condition in variable structure systems*. Automática, 5:287-295, 1969.
- L. Gao, Y. Chen, Fan y H. Ma. DFL. *Nonlinear design with applications in power systems*. Automatica. 28:975-979, 1992.
- T. Hiyama, T. Ueki y A. Andou. *Integrated fuzzy logic generator controller for stability enhancemet*. IEEE Transactions Energy Convers., 12(4):400-406, 1997.
- H. Huerta, G. Loukianov A. y J. M. Cañedo. *Integral sliding modes with control and of multimachine electric power system chapter of book system structure and control*. Croatia, 1:83-110, 2008.
- H. Huerta, A. Loukianov y J. M. Cañero. *Multimachine power system control integral SM approach*. IEEE Transactions on industrial electronics, 56(6), 2009.
- S. Kamal, A. Chalanga, J. A. Moreno, L. Fridman y Bandyopadhyay. *High order super twisting algorithm*. IEEE Workshop on Variable Structure Systems, 14, 2014.
- A. Kazemi, M. R. Jahed y A. H. Naghshbandy. *Application of a new multi variable feedback linealization method for improvement of power systems transient stability*. International Journal Electronic Power Energy Systems, 29(4):322-328, 2007.
- I. J. Kothari y I. J. Nagrath. *Sistemas eléctricos de potencia*. McGrawHill, California, 1994.
- P. Kundor. *Power systems stability and control*. McGrawHill, California, 1994.

Referencias

- A. Levant. *Sliding order and sliding accuracy in sliding mode control*. International Journal control, 58(6):1247-1263, 1993.
- A. G. Loukianov, J. M. Cañedo, L. M. Fridman y A. Soto-Cota. *Hight Order Block Sliding Mode Controller for a synchronous generator with an exciter system*. IEEE Transactions on industrial electronics, 58(1), 2011.
- J. Rintoja. *Modern power system stabilizer approaches*. University of Maribor, Faculty of electrical engineering and computer science, 2000.
- P. Shamsollahi y O. P. Malik. *An adaptive power system stabilizer using on-line trained neuronal network*. IEEE Transactions Energy Convers., 12(4):382-387, 1997.
- T. Shen, R. Sun, R. Ortega y S. Mei. *Energy-shaping control of synchronous generator with exciter-governor dual control-loops*. International Journal Control, 78(2):100-111, 2005.
- Y. Shtessel, C. Edwards, L. Fridman y A. Levant. *Sliding Mode Control and Observation*. Control Engineering, Borkhauser, New York, USA, 2014.
- Y. B. Shtessel y J. M. Buffington. *Continuous sliding mode control*. Proceedings of the American Control Conference, 1998.
- J. J. Slotine y S. S. Sastry. *Tracking control of non-linear systems using sliding surfaces with application to robot manipulators*. International Journal Control, 38(2):465-492, 1983.
- A. Soto. *Control robusto de sistemas no lineales por modos deslizantes aplicación y control de un generador síncrono*. Cinvestav, Guadalajara, 2000.
- A. Soto-Cota, A. G. Fridman, L. Loukianov y J. M. Cañedo. *Variable structure control of synchronous generator singularly perturbed analysis*. International Journal of Control, 79(1):1-13, 2006.
- V. Torres Gonzales, L. Fridman y J. A. Morenoi. *Continuous twisting algorithm*. Conference on Design and Control, 2016.
- V. Utkin. *Sliding Mode Control and Optimization*. Springer Verlag, United States of America, 1992.
- Z. Xi y D. Cheng. *Passivity based stabilization and h infinity control of the hamiltonian control systems with dissipation an its applications to power systems*. International Journal Control, 73(18):1686-1691, 2000.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)