



DEPARTAMENT D'ENGINYERIA ELECTRÒNICA

***Control en modo deslizante aplicado a
la generación de señal en convertidores
conmutados DC/DC.***

Tesis doctoral presentada
para la obtención del título
de doctor

Domingo Biel Solé

Directores:

Enric Fossas i Colet

Francesc Guinjoan Gispert

Mayo de 1999

Capítulo 6

Conclusiones y líneas futuras

6.1. Conclusiones del trabajo

En este apartado se presentan, de forma resumida, las conclusiones más relevantes de este trabajo:

- Se ha establecido una metodología de diseño de las leyes de control no lineal en modo de deslizamiento para la generación de señal en las topologías básicas de convertidores conmutados DC/DC.
- El procedimiento anteriormente indicado impone la señal deseada a la salida del convertidor como solución de la ecuación diferencial característica del sistema, ecuación de Abel. La utilización de la solución de la ecuación de Abel como señal de referencia de un control de seguimiento de señal en modo deslizante, conlleva un control indirecto de la tensión de salida.
- En el caso del convertidor reductor Buck, la ecuación de Abel se reduce a una ecuación algebraica, lo cual permite conocer la señal de referencia a utilizar en el control indirecto de la tensión de salida. De este modo, en este convertidor puede obtenerse, mediante la aplicación del teorema de la función inversa, una superficie de conmutación autónoma que proporciona la dinámica deseada de la señal de salida en régimen deslizante. El sistema de control propuesto tiene las siguientes características:
 - ♦ La dinámica ideal en régimen deslizante presenta características de robustez frente a las variaciones de la carga y frente a las perturbaciones de la tensión de entrada. De hecho, tal y como se demuestra para cargas resistivas, reactivas y no lineales, estas variaciones afectan exclusivamente a la existencia de régimen deslizante.
 - ♦ A partir del análisis del dominio de deslizamiento para cargas resistivas y reactivas se ha presentado un método de diseño de los parámetros del convertidor en función de la amplitud, offset y frecuencia de la señal que se pretende generar, basado en la utilización de la respuesta frecuencial del filtro de salida del convertidor conjuntamente con la impedancia de carga.
 - ♦ El convertidor adquiere la tensión de salida deseada en régimen permanente en tiempo mínimo para un conjunto de condiciones iniciales. El estudio realizado permite conocer dicho conjunto de condiciones iniciales en el plano de fase.

Se ha analizado el efecto de las resistencias de pérdidas de los elementos reactivos sobre la dinámica en régimen deslizante, llegando a la conclusión de que un ajuste de los parámetros de la superficie de conmutación propuesta permite obtener la señal de salida deseada.

Los resultados experimentales y por simulación validan el diseño propuesto. El prototipo electrónico realizado se basa en una implementación del control sobre un dispositivo lógico programable (EPROM). Para ello se ha utilizado una normalización de las variables que admite un ajuste externo de los parámetros de la tensión senoidal generada, de este modo, la ley de control únicamente se programa una vez.

- La ecuación de Abel debe resolverse mediante procedimientos numéricos en el caso de los convertidores elementales bilineales. El método de control en modo deslizante propuesto se basa en un seguimiento indirecto de la tensión de salida mediante una señal de referencia, que es una aproximación en serie de Fourier truncada de una solución periódica de la

ecuación de Abel. Este estudio se ha detallado para los convertidores Boost y Buck-Boost. Aplicando el teorema de la función inversa se han obtenido las superficies de conmutación autónomas que proporcionan generación de señal senoidal en régimen deslizante. Sin embargo, algunos comentarios adicionales deben realizarse:

- ◆ El procedimiento utilizado se basa en una resolución numérica, lo cual conlleva que no pueda parametrizarse la superficie de conmutación en función de los elementos del convertidor ni de los parámetros de la señal deseada.
- ◆ Las resistencias de pérdidas asociadas a los elementos reactivos muestran ser relevantes y, por este motivo deben considerarse en el desarrollo del diseño propuesto.
- Se han aplicado las técnicas de seguimiento y generación de señal sobre el convertidor de cuarto orden Boost-Buck. El diseño del control en modo deslizante propuesto permite lograr generación o seguimiento de señal senoidal a la salida del convertidor con característica elevadora de tensión respecto a la fuente de entrada en un amplio rango de frecuencias. El método de control propuesto se basa en descomponer el convertidor en dos etapas (etapa Buck y etapa Boost) de modo que el control en modo deslizante de cada una de ellas proporcione generación o seguimiento de la señal deseada (en el caso de la etapa Buck) y garantizar la existencia de régimen deslizante en la etapa Buck (en el caso de la etapa Boost). Los resultados experimentales y por simulación corroboran el diseño propuesto.

6.2. Líneas futuras

A partir del trabajo desarrollado y de las conclusiones alcanzadas pueden anotarse los siguientes comentarios que pueden dar lugar a futuras líneas de investigación:

- Un estudio de las trayectorias del sistema en régimen transitorio no deslizante permitiría conocer el desfase cometido en la señal de salida cuando se produce una perturbación en el convertidor Buck.
- El conocimiento de la influencia de la frecuencia de conmutación sobre la señal generada (distorsión armónica total, error cometido, etc.) garantizaría un diseño apropiado de la frecuencia de conmutación a partir de especificaciones de la señal de salida, tanto a nivel de una implementación analógica como una realización digital del control.
- La implementación analógica microelectrónica del control debe permitir obtener mayor velocidad de procesado, menor consumo y mejores prestaciones respecto a interferencias y ruido.
- En convertidores bilineales el método propuesto se basa en una resolución numérica. El estudio de la sensibilidad de los coeficientes de la solución aproximada de la ecuación de Abel respecto a los parámetros del convertidor y de la señal de entrada permitiría conocer, con mayor precisión, el grado de error cometido al utilizar un modelo ideal.
- La utilización de una adaptación dinámica de los coeficientes de la superficie de conmutación en función de las variaciones de la resistencia de carga y de la perturbaciones de la tensión de entrada, proporcionaría robustez a la generación de señal en los convertidores elementales bilineales.
- Un estudio más detallado de las soluciones de la ecuación de Abel en el caso del convertidor Buck-Boost permitiría conocer cuando puede generarse señal senoidal con nivel medio nulo.
- El estudio del régimen transitorio en la generación o seguimiento de señal, según la metodología de diseño propuesta, en un convertidor Boost-Buck, debe proporcionar un conocimiento respecto a los transitorios originados en el arranque del convertidor o en aquellos debidos a la existencia de perturbaciones.

- A partir de los resultados obtenidos en los capítulos 3 y 4, donde se ha propuesto una metodología de control en modo deslizante para obtener generación de señal en topologías convertidoras elementales, se han puesto de manifiesto las dificultades de aplicación de dicha técnica sobre sistemas de estructura bilineal. De este modo, cabe preguntarse qué topologías de orden superior admiten una descomposición estructural, de forma que surja una etapa de salida que permita aplicar la técnica de generación descrita en el capítulo 3, tal y como se ha realizado en el convertidor Boost-Buck tratado en el capítulo 5. Esta cuestión debe enfocarse tanto por a nivel del análisis como por la vía de la síntesis de estructuras convertidoras.

Bibliografía

- Abdel-Rahim N. y Quaicoe J. E. [1994]
“Multiple Feedback Loop Control strategy for single-phase voltage-source UPS Inverter”.
Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 958-964.
- Ackermann J. y Utkin V. [1998]
“Sliding mode control design based on Ackermann’s formula”. IEEE Transaction on Automatic
Control. V. 43, Nº 2, pp. 234-236.
- Alarcón E., Biel D., Guinjoan F., Fossas E., Vidal E. y Poveda A. [1999]
“Current-mode BiCMOS sliding-mode controller circuit for AC signal generation in switching
power DC-DC converters”. Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS).
(Pendiente de aceptación).
- Biel D., Martínez-Salamero L., Tenor J., Jammes B. y Marpinard J. C. [1996]
“Optimum Dynamic Performance of a Buck Converter”. Proceedings of International
Symposium of Circuits and Systems (ISCAS), pp 589-592. Atlanta (EEUU).
- Biel D., Martínez-Salamero L., López J., Pérez Y., Jammes B. y Marpinard J. C. [1998]
“Minimum-Time control of a Buck converter for Bipolar Square-wave generation”. 5th
European Space Power Conference (ESPC), pp. 345-349. Tarragona (España).
- Biel D., Fossas E., Guinjoan F. y Ramos R. [1998]
“Sliding mode control of a Buck converter for AC signal generation”. Proceedings of
International Symposium of Circuits and Systems (ISCAS). Monterey (EEUU).
- Biel D., Fossas E., Guinjoan F. y Ramos R. [1999]
“Sliding mode control of a Boost-Buck converter for tracking AC signal”. Proceedings of
International Symposium of Circuits and Systems (ISCAS). Orlando (EEUU).
- Biel D., Fossas E. y Guinjoan F. [1999]
“Application of sliding mode control to the design of a Buck-based sinusoidal generator”. IEEE
International Symposium Industrial Electronics (ISIE). (Aceptado).
- Bidan P., Valentin M. y Martínez-Salamero L. [1993]
“Modelling and Current-Mode Control of a Zero-Current Switching Resonant Converter used
for AC sine voltage generation”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference
(PESC), pp. 635-640.
- Bilanovic F., Music O. y Sabanovic A. [1983]
“Buck Converter Regulator operating in the Sliding Mode”. Proceedings VII International PCI
Conference on Power Conversion, pp. 251-258.
- Boudjema F., Boscardin M., Bidan P., Marpinard J. C., Valentin M. y Abatut J. L. [1989]
“VSS Approach to a Full Bridge Buck Converter Used for AC Sine Voltage Generation”.
Proceedings of International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation
(IECON), pp. 82-89.
- Bühler, H. [1986]
“Réglage par mode de glissement”. Presses Polytechniques Romandes, 1986.

Burns W.W. y Wilson T. G. [1976]

"State-Trajectory Used to Observe and Control DC-to-DC converters". IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems. Vol. AES-12, N° 6, pp 706-717.

Burns W.W. y Wilson T. G. [1978]

"A State-Trajectory Control Law for DC-to-DC converters". IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems. Vol. AES-14, N° 1, pp 2-20.

Cáceres R. O. y Barbi I. [1995]

"A boost DC-AC converter: operation, analysis, control and experimentation". Proceedings of International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation (IECON), pp. 546-551.

Cáceres R. O., Vázquez N., Aguilar C., Alvarez J., Barbi I. y Arau J. [1997]

"A high performance uninterruptible power supply system with power factor correction". Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 304-309.

Cáceres R. O. y Barbi I. [1999]

"A boost DC-AC converter: analysis, design and experimentation". IEEE Transaction on Power Electronics. V. 14, N° 1, pp. 134-141.

Capel A., Marpinard J. C., Jalade J. y Valentin M. [1983]

"Large-Signal Dynamic-Stability Analysis of Synchronized Current-Controlled Modulators: Application to Sine-Wave High Power Inverters". ESA Journal, V. 7, pp. 63-74.

Cardoso Filho B. J., Menezes B. R., Moreira A. F. y Cortizo P.C. [1992]

"Analysis of switching frequency reduction methods applied to power sliding-mode controlled DC-DC converters". Proceedings Applied Power Electronic Conference and Exposition (APEC), pp. 403-410. Boston. USA.

Carpita M., Marchesoni M., Oberti M. y Puglisi L. [1988]

"Power Conditioning System using Sliding Mode Control". Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 626-633, Kyoto, Japon.

Carpita M., Farina P. y Tenconi S. [1993]

"A Single Phase, Sliding Mode controlled inverter with three levels output voltage for UPS or Power Conditioning Applications". Proceedings of European Power Electronics Conference (EPE), pp. 272-277, Brighton.

Carpita M. [1994]

"Sliding mode controlled inverter with switching optimization techniques". European Power Electronics Journal. V. 4, N° 3, pp. 30-35.

Carpita M. y Marchesoni M. [1996]

"Experimental study of a Power Conditioning using Sliding Mode Control". IEEE Transaction on Power Electronics. V. 11, N° 5, pp. 731-742.

Cuk, S. [1978]

"Switching DC-to-DC converter with zero input or output current ripple". Advances in Switches-mode Power Conversion. Volumes I and II. TeslaCo. pp. 349-364.

Czaki F., Gaurky I., Ipsitz y Martí S. [1983]

Power Electronics Budapest: Akadémiai Kiadó.

Cha H., Kim S., Kang M. y Chung Y. [1990]

“Real-time digital control of PWM inverter with PI compensator for uninterruptible power supply”. Proceedings of International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation (IECON), pp. 1125-1128.

DeCarlo R. A., Zak S. H. y Matthews G. P. [1988]

“Variable Structure Control of Nonlinear Multivariable Systems: A Tutorial”. Proceedings of IEEE, vol. 76 N° 3, pp. 212-232.

Emelyanov S. [1967]

“Variable Structure Control Systems”. Nauka, Moscú.

Ferrero A. y Ottoboni R. [1992]

“High-accuracy Fourier analysis based on synchronous sampling techniques”. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurements. V. 41, pp. 780-785.

Fliess M. [1990]

“Some basic structural properties of generalized linear systems”. Systems and Control Letters (Elsevier Science Publisher B.V.). pp. 391-396.

Fliess M. y Sira-Ramírez H. [1993]

“Régimes glissants structures variables linéaires et modules”. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 317, Série I, pp. 703-706.

Fossas E., Martínez-Salamero L. y Ordinas J. [1992]

“Sliding Mode Control Reduces Audiosusceptibility and Load Perturbations in the Cuk Converter”. IEEE Transaction on Circuits and Systems. Vol. CAS 39, N° 10, pp. 847-849.

Fossas E. y Martínez-Salamero L. [1993]

“On the Use of Sliding Mode Control in Bidirectional Converters”. Proceedings of International Symposium of Circuits and Systems (ISCAS), pp. 2355-2358.

Fossas E. y Olm J.M. [1994-1]

“Generation of Signals in a Buck Converter with Sliding Mode Control”. Proceedings of International Symposium of Circuits and Systems (ISCAS), pp. 157-160. London.

Fossas E. y Olm J.M. [1994-2]

“Tracking Signals in Basic Converters. A Sliding Approach”. Proceedings of VSLT, Benevento, pp. 342-348.

Fossas E. y Biel D. [1996-1]

“A Sliding mode approach to robust generation on dc-to-dc converters”. Proceedings of 35th IEEE Conference on Decision and Control (CDC), pp. 4010-4012. Kobe, Japan.

Fossas E. y Biel D. [1996-2]

“A Sliding mode approach to robust generation on dc-to-dc nonlinear converters”. Proceedings of IEEE Variable Structure Systems (VSS), pp. 67-71. Tokyo, Japan.

Fossas E. y Franch J. [1998]

“A Survey on linear Controls Systems from the module theory”. Report Dept. Matemática y Telemática.

Gasull A. y Llibre J. [1990]

“Limit Cycles for a class of Abel equations”. SIAM J. Math. Anal., vol 21 N° 5, pp. 1235-1244.

Gokhale K. P., Kawamura A. y Hoft R. G. [1985]

“Dead-beat microprocessor control of PWM inverter for sinusoidal output waveform synthesis”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 28-36.

Gokhale K. P., Kawamura A. y Hoft R. G. [1985]

“Dead-beat microprocessor control of PWM inverter for sinusoidal output waveform synthesis”. IEEE Transaction on Industry Applications. Vol. IA-23, N° 5, pp. 901-910.

Hiti S. y Boroyevic D. [1993]

“Robust nonlinear control for Boost converter”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 191-196.

Hiti S. y Boroyevic D. [1994]

“Control of Boost converter with adjustable output voltage and unknown resistive load”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 294-300.

Hung J. Y., Gao W. y Hung J. C. [1989]

“Variable Structure Control: A Survey”. IEEE Transaction on Industrial Electronic, V. 40, N° 1, pp. 2-22.

Jammes B., Bidan P., y Marpinard J. C. [1991]

“Time-optimal control of a buck converter used as pulsed supply”. Proceeding of IMACS MCTS.

Jammes B., Marpinard J.C. y Martínez-Salamero L. [1993]

“Large-signal control of a buck converter based on time optimal control”. Proceedings of European Circuits Conference Theory and Design (ECCTD), pp 1419-1422.

Jezernik K., Milanovic M. y Zadavec D. [1989]

“Microprocessor control of PWM inverter for sinusoidal output”. Proceedings of European Power Electronics Conference (EPE), pp. 47-51

Jezernik K. y Zadavec D. [1990]

“Sliding mode controller for a single phase inverter”. Proceedings Applied Power Electronic Conference and Exposition (APEC), pp. 185-190.

Jung S. y Tzou Y. [1993]

“Sliding Mode Control of a Closed-loop Regulated PWM under Large Load Variations”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 616-622.

Jung S. y Tzou Y. [1994]

“Discrete Feedforward Sliding Mode Control of a PWM Inverter for Sinusoidal Output Waveform Synthesis”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 552-558.

Jung S. y Tzou Y. [1996]

“Discrete Sliding-Mode Control of a PWM Inverter for Sinusoidal Output Waveform Synthesis with Optimal Sliding Curve”. IEEE Transaction on Power Electronics, V.11 N° 4, pp. 567-577.

Jung S., Huang H. y Tzou Y. [1996]

“Self-Tuning discrete sliding mode control of a closed-loop regulated PWM inverter with optimal sliding surface”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 1506-1512.

Jung S., Huang H., Chang M. y Tzou Y. [1997]

“DSP-Based multiple-loop strategy for single-phase inverters used in AC power sources”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 706-712.

- Kawamura A. y Hoft R. G. [1984]
“Instantaneous feedback controlled PWM inverter with adaptative hysteresis”. IEEE Transaction on Industry Applications. Vol. IA-20, pp. 769-775.
- Kawamura A., Haneyoshi T. y Hoft R. G. [1986]
“Dead-beat controlled PWM inverter with parameter estimation using only voltage sensor”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 576-583.
- Lee K. Ch. y Cho B. H. [1998]
“Design of the feedback loop for single controller power factor correction converter”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 809-904.
- Leitmann G. [1966]
“An Introduction to Optimal Control”, Mc Graw-Hill Series in Modern Applied Mathematics”.
- Low K. S. [1998]
“A digital control technique for a single-phase PWM inverter”. IEEE Transaction on Industrial Electronics. V. 45, N° 4, pp. 672-674.
- Malesani L., Rossetto L., Spiazzi G. y Tenti P. [1992]
“Performance optimization of Cuk converter by sliding mode control”. Proceedings Applied Power Electronic Conference and Exposition (APEC), pp. 395-402.
- Malesani L., Rossetto L., Spiazzi G. y Zuccato A. [1996]
“An AC power supply with sliding-mode control”. IEEE Industry Applications Magazine, pp. 32-38.
- Mattavelli P., Rossetto L., Spiazzi G. y Tenti P. [1993]
“General purpose sliding mode controller for dc-dc converter applications”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 609-615.
- Mattavelli P., Rossetto L. y Spiazzi G. [1997]
“Small-signal analysis of DC-DC converters with sliding mode control”. IEEE Transactions on Power Electronics, V. 12, N° 1, pp. 96-102.
- Maussion P., Grandpierre M., Faucher J. y Hapiot J. C. [1989]
“Instantaneous feedback control of a single-phase PWM inverter with nonlinear loads by sine wave tracking”. Proceedings of International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation (IECON), pp. 130-135.
- Middlebrook R.D. y Cuk S. [1981]
“Advances in switched mode power conversion”. TeslaCo.
- Mohan N., Underland T. M. y Robbins W. P. [1989]
“Power Electronics: Converters, Applications and Design”. John Wiley and Sons, New York.
- Nguyen V. M. y Lee C. Q. [1995]
“Tracking control of a Buck converter using sliding-mode with adaptative hysteresis”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 1086-1093.
- Nguyen V. M. y Lee C. Q. [1996]
“Indirect implementations of sliding-mode control law in Buck-type converters”. Proceedings Applied Power Electronic Conference and Exposition (APEC), pp. 111-115.

Nicolas B., Fadel M. y Chéron Y. [1995]

“Sliding mode control of DC-to-DC converters with input filter based on the Lyapunov-Function Approach”. Proceedings of European Power Electronics Conference (EPE), pp. 1338-1343.

Nicolas B., Fadel M. y Chéron Y. [1996]

“Fixed-frequency sliding mode control of a single-phase voltage source with input filter”. Proceedings of IEEE International Symposium Industrial Electronics (ISIE), pp. 470-475. Polonia.

Olm J.M., Fossas E. y Biel D. [1996]

“A Sliding mode approach to tracking problems in dc-to-dc converters”. Proceedings of 35th IEEE Conference on Decision and Control (CDC). pp. 4008-4010. Kobe, Japan.

Olm J.M. y Fossas E. [1999]

“Asymptotic tracking in DC-to-DC nonlinear power converters”. Report Dept. Matemática y Telemática.

Oruganti R., Yang J.J. y Lee F.C. [1987]

“Implementation of Optimal Trajectory Control of Series Resonant Converter”. IEEE Transaction on Power Electronics, V. 3 N° 3, pp. 318-327.

Pierfederici S. y Davat B. [1998]

“Applying the theory of sliding mode to a cascade of Boost-Forward converters used as one-phase power supply unit factor pre-regulator”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 1017-1022.

Pinheiro H., Martins A. S. y Pinheiro J. R. [1994]

“A sliding mode controller in single phase voltage source inverters”. Proceedings of International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation (IECON), pp. 394-398. Bolonia, Italia.

Redl R. y Sokal N.O. [1982]

“Near-Optimum Dynamic Performance of Switching-Mode Power Converters Using Feedforward of Output Current and Input Voltage with Current-Mode Control”. Proceedings of 4th ESTEC Spacecraft Power Conditioning Seminar Noorwijk, (ESA SP-186), pp 33-42.

Redl R. y Sokal N.O. [1986]

“Near-Optimum Dynamic Performance of DC-DC Converters Using Feedforward of Output Current and Input Voltage with Current-Mode Control”. IEEE Transactions on Power Electronics, V. PE-1, N° 3, pp 181-192.

Ryan M. J., Brumsickle W. E. y Lorenz R. D. [1997]

“Control topology options for single-phase UPS inverters”. IEEE Transaction on Industry Applications. V. 33, N° 2, pp. 493-501.

Ruiz J. M., Lorenzo S., Lobo I. y Amigo J. [1990]

“Minimal UPS structure with sliding mode control and adaptative hysteresis band”. Proceedings of International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation (IECON), V.2, pp. 1063-1067.

Sanders S.R., Verghese G.C. y Cameron D.F. [1986]

“Nonlinear control laws for switching power converters”. Proceedings of 25th IEEE Conference on Decision and Control. Athens, Greece.

Severns R. P. y Bloom G. [1985]

“Modern DC-to-DC switch-mode-power converter circuits”. Van Nostrand & Reinhold. New York.

Silva J.F. y Paulo S.S. [1993]

“Fixed frequency sliding modulator for current mode PWM inverters”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 623-629.

Sira-Ramírez H. [1987]

“Sliding motions in Bilinear Switched Networks”. IEEE Transaction on Circuits and Systems. Vol. CAS 34, N° 8. pp. 919-933.

Sira-Ramírez H. [1988]

“Differential geometric methods in variable-structure control”. Int. J. Control, Vol. 48, N° 4. pp. 1359-1390.

Sira-Ramírez H. y Ilic-Spong [1988]

“Exact linearization in switched-mode DC-to-DC power converters”. Int. J. Control, Vol. 50, N° 2. pp. 511-524.

Sira-Ramírez H. [1989]

“A Geometric approach to pulse-width-modulated control in nonlinear dynamical systems”. IEEE Transaction on Automatic Control. V. 34, N° 2. pp. 184-187.

Sira-Ramírez H. y Ilic-Spong. [1993]

“A Geometric Approach to the Feedback Control of the Switch-Mode DC-to-DC Power Supplies. IEEE Transaction on Circuits and Systems. V. 36, N° 4, pp. 615-620.

Sira-Ramírez H. y Prada-Rizzo M. T. [1993]

“A Dynamic pole assignment approach to stabilization and tracking in DC-to-DC full bridge power converters”. Control Theory and Advanced Technology. V. 9, N° 1.

Sira-Ramírez H. [1991]

“Nonlinear PI controller design for switchmode DC-to-DC power converters”. IEEE Transaction on Circuits and Systems. Vol. CAS 38, N° 4, pp. 410-417.

Sira-Ramírez H. y Prada-Rizzo M. T. [1992]

“Nonlinear feedback regulator design for the Cuk converter”. IEEE Transaction on Automatic Control. V. 37, N° 8, pp. 1173-1180.

Sira-Ramírez H. y Rios-Bolivar, M. [1994]

“Sliding mode control of dc-to-dc power converters via extended linearization”. IEEE Transaction on Circuits and Systems. Vol. CAS 41, N° 10, pp. 652-660.

Takahashi R.H.C., Peres P.L.D. y Barbosa L.L.B. [1996]

“A Sliding mode controlled sinusoidal voltage source with ellipsoidal switching surface”. Proceedings of IEEE Variable Structure Systems (VSS), pp. 72-77. Tokyo, Japan.

Tzou Y. [1995]

“DSP-Based fully digital control of a PWM DC-AC converter for AC voltage regulation”. Proceedings of Power Electronic Specialist Conference (PESC), pp. 138-144.

Tzou Y. y Jung. S. [1998]

“Full control of a PWM DC-AC converter for AC voltage regulation”. IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, V. 34, N° 4, pp. 1218-1226.

Utkin V.I. [1978]

“Sliding Modes and their Applications in Variable Structure Systems”. Moscú, Mir Publishers.

Utkin V.I. [1992]

“Sliding Modes in Control Optimization”. Springer-Verlag. Berlín, Heidelberg.

Van der Broeck H. y Lürkens P. [1993]

“Programable AC power source”. Proceedings of European Power Electronics Conference (EPE), pp. 255-260.

Van der Groef A. E., Van der Bosch P.P.J. y Visser H. R. [1991]

“Multi-input variable structure controllers for electronic converters”. Proceedings of European Power Electronics Conference (EPE), pp. 1-001-1-006.

Venkataramanan R., Sabanovic A. y Cuk S. [1985]

“Sliding Mode Control of DC-to-DC Converters”. Proceedings of International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation (IECON), pp.251-258.

Zadavec D. y Jezernik K. [1991]

“Improved Sliding-Mode Controller for UPS Systems”. Proceedings of European Power Electronics Conference (EPE), pp. 578-581, Florencia.

Zinober A.S.I, Fossas E., Scarratt J.C y Biel D. [1998]

“Two sliding mode approaches to the control of a Boost system”. Proceedings of 6th IEEE Mediterranean Conference on Control and Systems (MED), pp. 343-348. Sardinia.

Zinober A.S.I, Fossas E., Scarratt J.C y Biel D. [1998]

“Two sliding mode approaches to the control of a Buck-Boost system”. Proceedings of IEEE Variable Structure Systems (VSS), pp. 118-123.