



CARRERA DEL INVESTIGADOR CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO

INFORME CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO¹

PERIODO: 01/01/2012 al 31/12/2013

Legajo N°: 262.608

1. **APELLIDO:** MANTZ

NOMBRES: RICARDO JULIÁN

DIRECCIÓN PARTICULAR: N° La Plata (1900)

TELÉFONO PARTICULAR:

DIRECCIÓN DE CORREO ELECTRÓNICO: mantz@ing.unlp.edu.ar

2. **TEMA DE INVESTIGACIÓN**

Estrategias robustas de control.

3. **DATOS RELATIVOS A INGRESO Y PROMOCIONES EN LA CARRERA**

INGRESO: Categoría: ASISTENTE Mes: marzo Año: 1985

ACTUAL: Categoría: PRINCIPAL, desde el mes de agosto de 2011

4. **INSTITUCIÓN DONDE DESARROLLA LA TAREA**

Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación (LEICI).

Departamento de Electrotecnia. Facultad de Ingeniería. UNLP.

Calle: 48 y 116

CC 91

La Plata (1900).

Tel: (0221) 4259306

Dirección electrónica: mantz@ing.unlp.edu.ar

Cargo que ocupa: Profesor Titular.

5. **DIRECTOR DE TRABAJOS**

No Corresponde

.....
Firma del Investigador

Fecha 12/5/2014

¹ Art. 11; Inc. "e"; Ley 9688 (Carrera del Investigador Científico y Tecnológico)

6. EXPOSICIÓN SINTÉTICA DE LA LABOR DESARROLLADA EN EL PERÍODO.

Se realizaron las tareas de investigación previstas en el plan de trabajos. Las tareas fueron desarrolladas en el marco del Proyecto N° 11/1164 acreditado por la UNLP: “Control de sistemas con restricciones”.

Las actividades realizadas corresponden al área del control de sistemas y fueron orientadas a dos aplicaciones: al control de procesos con restricciones y al control de sistemas de conversión de energías alternativas. A continuación se describen algunas tareas que han dado lugar a las publicaciones enumeradas en el ítem 1, donde también se han transcrito los correspondientes resúmenes para transmitir detalles de los resultados obtenidos.

Las tareas de investigación han sido acompañadas de:

- actividades de formación de recursos humanos (dirección de becarios y estudiantes de postgrado)*
- dictado de cursos de postgrado y seminarios.*

Se han publicado los principales resultados de investigación.

En el período correspondiente a este informe se continuó trabajando en el análisis y diseño de sistemas de control con restricciones. Como fuera previsto en el plan de trabajo se consideraron tanto restricciones de entrada (e.d. restricciones en los actuadores de potencia) como así también restricciones físicas del sistema. Se evaluaron los efectos de estas restricciones sobre sistemas no lineales y se propusieron algoritmos con el objeto de atenuarlos. Se trabajó sobre la base teórica de los sistemas de estructura variable (VSS), en particular bajo regímenes de operación deslizantes incorporándose conceptos de inmersión de sistemas y invariancia de variedades. En términos generales, estos conceptos permiten simplificar el problema del control de sistemas complejos a partir de su división en problemas más simples de resolver.

Entre otras actividades se han propuesto algoritmos para la sintonía de controladores PI_D con referencia ponderada. Los algoritmos bajo estudio han demostrado que la ponderación dinámica de la referencia para los distintos tipos de acción de control flexibilizan los grados de libertad de estos controladores para resolver en forma más eficiente las especificaciones requeridas. Por otra parte su implementación basada en regímenes deslizantes presenta la simplicidad requerida en aplicaciones industriales y garantiza robustez frente a perturbaciones e incertidumbres. Los métodos de ponderación dinámica propuestos presentan características particularmente atractivas para el control de sistemas no lineales como la independencia de la amplitud del setpoint, la reducción del orden de la dinámica y la preservación de las características antiwindup que poseen los algoritmos de referencia ponderada en sistemas lineales.

Siempre dentro de la temática del control de sistemas con restricciones, se ha comenzado a trabajar en algoritmos de control para reducir riesgos de windup en controladores que emplean acciones feedforward. Este tipo de controladores involucra acciones de tipo pas-altos que hacen propensa la saturación de los actuadores, acentuando los problemas de las restricciones como la pérdida de performance, acoplamiento entre variables, pérdida de direccionamiento del control, etc.. Dentro de esta temática se ha evaluado la implementación de algoritmos con regímenes deslizantes de orden superior a los efectos de reducir al mínimo los requerimientos del actuador.

Algunas de las ideas comentadas en los párrafos previos son evaluadas en el contexto de los sistemas de conversión de energías alternativas, los cuales suelen presentar fuertes restricciones debidas a las características no lineales de los mismos y a la variabilidad del recurso renovable.

Con respecto al control de sistemas de generación renovable de potencia, como el control de granjas eólicas, se evaluaron aspectos de modelado que permiten interpretar las mismas como cargas negativas para la red y que abre la posibilidad de controlar las mismas como sistemas de generación sincrónica. Con respecto al control de este tipo de sistemas se están evaluando técnicas de control conocidas como power shaping, que potencialmente permitirían sobrellevar los efectos de las restricciones de estos sistemas cuando se conectan como generación distribuida.

7. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS Y/O PUBLICADOS EN ESTE PERÍODO.

7.1 PUBLICACIONES

Capítulos de libros

-“Wind Farms as Negative Loads and as Conventional Synchronous Generation. Modelling and Control”.

Roberto Daniel Fernández, Pedro Eugenio Battaiotto, Ricardo Julián Mantz.
Capítulo V del Libro "Modeling and Control Aspects of Wind Power Systems", INTECH, ISBN 978-953-51-1042-2, Hard cover, 203 pages, Publisher: InTech, edited by S. M. Mueeen, Ahmed Al-Durra and Hany M. Hasanien. pp 84-115. marzo 2013.

***Abstract.** This chapter analyses wind farms from a power system perspective. Due to a significant penetration of wind energy generation will change the system dynamics and taking into account that many wind generators usually employ induction machines, the chapter is devoted to a discussion of the induction generator models considering them as both currents and Thevenin equivalents. This approach provides an "electrical perspective" and opens some possibilities, which are presented, about studying wind farm integration and their influence on power system stability from a power system perspective. In this way, linear and non linear control laws are deduced and justified from a non linear frame for both developed models, wind farms as negative loads but also wind farms modelled as synchronous generators.*

-“Gain scheduled H_{∞} control of wind turbines for the entire operating range”

F.A. Inthamoussou, F.D. Bianchi, H. De Battista and R.J. Mantz.

Capítulo de libro “Wind Turbine Control and Monitoring”. Editores: Ningsu Luo, Yolanda Vidal, Leonardo Acho. Springer. En prensa.

***Abstract.** Two different operating modes can be clearly identified in wind turbine control systems. In low wind speeds, the main control objective is the energy capture maximization, whereas in high wind speeds it is desired to regulate turbine power and speed at their rated values. The fulfilment of these different control objectives implies the transition through low controllability operating conditions that impose severe constraints on the achievable performance. The control task is usually tackled*

using two separate controllers, one for each operating mode, and a switching logic. Although satisfactory control solutions have been developed for low and high wind speeds, controller design needs refinement in order to improve performance in the transition zone. This chapter overviews a control scheme covering the entire operating range with focus on the transition zone. H_∞ and advanced anti-windup techniques are exploited to design a high performance control solution for both operating modes with optimum performance in the transition zone.

Publicaciones en revistas con referato

-“New concept in maximum power tracking for the control of a photovoltaic/hydrogen system”

Fernando A. Inthamoussou, Hernán De Battista, Ricardo J. Mantz *International Journal of Hydrogen Energy*, ISSN: 0360-3199. Elsevier, 37 (19), October 2012, pp 14951-14958. Trabajo publicado en el periodo del informe, pero realizado previamente.

Abstract. For the sustainable production of clean H₂, it is essential to optimize the capture and conversion of renewable energy. In this context, this paper presents a new technique to maximize the efficiency of a photovoltaic conversion system supplying an electrolyser. Simple, efficient and low cost maximum power point tracking algorithms to optimize energy production are proposed for the three DC/DC electronic converter topologies typically used in photovoltaic and H₂ applications. The method is based on energy balance concepts and exhibits certain analogies with maximum power tracking algorithms extensively used in wind turbines that do not require measurement of the primary energy source. The algorithm provides a reference to the current controller only requiring measurement of electrical variables and solar array temperature. The current controller is implemented using sliding mode strategies. Experimental and simulation results are provided showing the effectiveness and simplicity of the proposed method.

-“Flexible power control of fuel cells using sliding mode techniques”.

F. Inthamoussou, R. J. Mantz, H. De Battista. *Journal of Power Sources*. Elsevier. (ISSN 0378-7753). vol. 205 (5). pp 281–289. 2012. Trabajo publicado en el periodo del informe, pero realizado previamente.

Abstract. The energy conversion system considered in this work consists of a fuel cell connected to a DC-bus through a switching converter. Particularly, the paper deals with the control of the electrical variables of this system. The control problem is addressed using tools of variable structure systems theory. The dynamic behaviour of the system is first analysed. Then, sliding mode algorithms to control electrical variables according to different power management objectives are developed. Thus, different control strategies such as fuel cell voltage/current regulation, maximum power point tracking and/or load current regulation can be followed. After studying their stability properties, these algorithms are combined to achieve a globally stable control over the whole electrical operating locus of the fuel cell.

-“Wind Farm Control in a Dispersed Grid”.

R. Fernández, P. Battaiotto, R.J. Mantz. *International Journal of Energy and Power*. Science and Engineering Publishing Company. (ISSN 2169-4915). Vol. 2 (4). pp 81-87. nov 2013.

Abstract. This paper presents a control law for wind farms equipped with doubly-fed induction generators (DFIG) operating in a dispersed network with a complex load. Stability issues, as load increases, are more frequent in electrical networks. Then different kind of problems have appeared and it is expected that many others problems will do in the next future. In this way, looking for contributing to the grid stability, a wind farm control law based on Passivity Theory is proposed for active power meanwhile, while about reactive power, the wind farm is neutral to the grid. The proposed wind farm control is added to a power reference established by a Supervisory Control. Two general kind of loads are considered, static (linear - non linear) and induction motor ones. Finally, some simulations are presented to demonstrate the improvements made by the wind farm control.

Publicaciones en proceeding de congresos con referato

-“A PI Controller with Dynamic Set-Point Weighting for Nonlinear Processes”.

R. J. Mantz.

IFAC Conference on Advances in PID Control. PID'12. Brescia, Italia. 28-30 marzo 2012. DOI 10-3182/20120328-3-IT-3014.00087. ISBN: 978-3-902823-18-2. ISSN: 1474-6670.

Abstract. The paper deals with the control of nonlinear processes with 2DOF-PI controllers. A new and practical tuning method, based on recent ideas of immersion and invariance, is proposed for the dynamic adjustment of the set-point weight. The main attractive feature of the proposal is the possibility of assigning a reduced linear dynamics for the tracking response beyond the nonlinear characteristics of the process and the amplitude of the set point changes. From a practical point of view the adjustment is performed by a simple sliding mode regime that accepts a straightforward implementation.

-“Evaluación Experimental de un Inversor Z-Source Operando en Modo Deslizante”

J.L. Idiart, J.M. Trepát, R.J. Mantz, M.G. Cendoya.

AADECA 2012 - 23 Congreso Argentino de Control Automático. 3 al 5 de Octubre de 2012 - Buenos Aires, Argentina.

Resumen. En este trabajo se considera un Inversor Z-Source (IZS) que forma parte de un sistema autónomo de conversión de energías renovables de baja potencia, con almacenamiento en baterías. El IZS es controlado mediante un esquema anidado: un lazo interno con controlador por modo deslizante, fija la corriente del inductor; un lazo externo, tipo PI, regula la tensión del capacitor. Se muestran resultados de ensayos efectuados a un prototipo experimental, que validan la propuesta.

-“Control de la Producción de Hidrógeno a partir de la Capacidad Remanente de Sistemas Fotovoltaicos”.

J. Trepát, R.J. Mantz, M. Cendoya.

XI Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. CIBIM 2013. 11 al 15 de noviembre de 2013. La Plata. pp 1234-1250. ISBN: 978-950-34-1025-7.

Resumen. El hidrógeno es aceptado como una de las alternativas más viables para sustituir los combustibles fósiles en un futuro cercano. Sin embargo, para alcanzar lo que se ha dado a conocer como la economía del hidrógeno se requerirá de su producción sustentable a partir de recursos renovables. En este sentido, se observa una marcada tendencia en impulsar nuevas tecnologías para su producción. En particular, la producción de hidrógeno vía electrólisis del agua a partir de la

conversión de energía fotovoltaica es vista como una de las alternativas más potables. Efectivamente, tanto la tecnología de la electrólisis como la de los sistemas de conversión de energía fotovoltaica se encuentran muy desarrolladas. Sin embargo, y a pesar de que en la última década se ha observado una drástica caída de los precios de los paneles fotovoltaicos, los costos de la producción limpia de hidrógeno a partir de este recurso renovable son mayores que los que se pueden obtener con los métodos convencionales de producción a partir de combustibles fósiles (métodos como el reformado con vapor, autotérmico, oxidación parcial, pirólisis o gasificación). Efectivamente, los costos de producción de hidrógeno limpio están principalmente asociados al costo de la energía eléctrica y si bien, en el caso de la conversión fotovoltaica, el recurso primario es de libre disponibilidad, la realidad es que la inversión inicial es elevada. Un enfoque tendiente a reducir los costos es la optimización del dimensionamiento relativo de los distintos componentes (paneles fotovoltaicos, electrolizador, convertidores, sistemas de compresión y almacenamiento, etc.) de los sistemas de conversión. Si bien este enfoque es indispensable a los efectos de reducir los costos, está fuertemente ligado a la aplicación, al lugar de emplazamiento, y es poco flexible frente a ampliaciones del sistema. Obviamente, los costos de producción de hidrógeno podrían reducirse significativamente si de antemano existiese y pudiese disponerse de sistemas de conversión de energía fotovoltaica con capacidad de generación ociosa. Si bien, esta suposición era totalmente inviable una década atrás, la situación actual es diferente. Efectivamente, al incrementarse el factor de penetración de energías renovables en las redes de distribución (generación distribuida) ha sido necesario plantear nuevos objetivos de generación a partir del compromiso entre la energía capturada, la calidad de potencia suministrada e incluso, en casos con altos índices de penetración de los recursos renovables, con objetivos de asistencia a las redes eléctricas. Este hecho se ve reflejado en las normas de los entes de regulación que exigen que los sistemas de conversión de energías renovables de potencia sean operados emulando comportamientos de los sistemas de generación convencionales. Estas normas, ya clara y explícitamente establecidas para el caso de la energía eólica, han comenzado a ser extensivas a los sistemas de conversión de energía fotovoltaica. Su aplicación necesariamente requiere de un exceso de potencia instalada (PV) con capacidad de generación ociosa. El trabajo evalúa como podría emplearse esta capacidad ociosa de sistema de conversión PV para la generación de hidrógeno sin afectar el objetivo original del sistema de conversión, es decir, cumplir con los requerimientos de energía y calidad de suministro. Este hecho podría reducir sustancialmente los costos de producción limpia de hidrógeno proyectando valores más competitivos a corto plazo. El trabajo se centra básicamente en dos aspectos: 1) evaluar la posibilidad de incorporar un sistema de electrólisis a sistemas preinstalados de conversión de energía fotovoltaica sin convertidores adicionales. Este punto, es decir la no incorporación de nuevos convertidores, es considerado clave ya que considerando el estado actual de la tecnología es el lugar donde aún pueden reducirse los costos en forma significativa; 2) proponer acciones de control para el aprovechamiento de la capacidad de generación ociosa de un sistema fotovoltaico para la producción de hidrógeno sin afectar la calidad del suministro eléctrico. Con este fin se consideran también los requerimientos de operación del electrolizador teniendo en cuenta que su operación va a estar sujeta a la variabilidad del recurso solar. El control es abordado en base

a conceptos de regímenes deslizantes. Si bien el trabajo se centra en una configuración particular de sistema de conversión y en una escala de potencia reducida que permita su posterior evaluación experimental en laboratorio, el análisis y los resultados obtenidos a partir del control propuesto permiten ser optimistas con la generalización de las ideas a sistemas más complejos y de mayor orden de magnitud.

-“Problemas de Wind-Up en Controladores con Acción Feedforward”.

P. Troncoso, R.J. Mantz, P. Battaiotto.

XI Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. CIBIM 2013. 11 al 15 de noviembre de 2013. La Plata. pp 3503-3516. ISBN: 978-950-34-1025-7.

Resumen. *Las acciones de control feedforward son ampliamente empleadas en aplicaciones industriales como complemento del control por realimentación. En este contexto, el control feedforward agrega grados de libertad para que los controladores por realimentación puedan resolver en forma más eficiente el compromiso entre distintos tipos de especificación es. El control feedforward es también particularmente útil cuando, por razones de estabilidad, los valores de ganancia del lazo no son lo suficientemente grandes para el adecuado rechazo de perturbaciones. Las acciones feedforward se emplean tanto para mejorar la respuesta del sistema al seguimiento de la señal de referencia como al rechazo de perturbaciones. En ambos casos su implementación requiere una aproximación realizable de la inversa del sistema que se desea controlar. Dado que todo sistema físico presenta un comportamiento esencialmente pasa-bajos en frecuencia, la acción feedforward involucra la incorporación de filtros de características pasa-alto en la banda de frecuencia de interés, lo cual hace que la acción de control presente comportamientos transitorios que hagan propensa la saturación de los actuadores de potencia y por consiguiente es una fuente potencial de problemas de wind-up tanto del controlador como de la planta [3]. Incluso en el control de sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas, deben tomarse las precauciones especiales para evitar la pérdida de direccionalidad del control y del grado de desacoplamiento que se obtendría en condiciones normales de operación (sin restricciones). Si bien estos problemas no son exclusivos de la acción feedforward, pueden manifestarse en forma distintiva debido a las características pasa-altos de este tipo de corrección. Si bien se han propuestos numerosos algoritmos para atenuar los efectos que pueden inducir las restricciones en los actuadores, los basados en el condicionamiento de la referencia, y en particular aquellos implementados por regímenes deslizantes, han demostrado ser comparativamente más robustos y simples de implementar en la medida que la complejidad del sistema se incrementa. En base a estas propiedades, este trabajo evalúa la adecuación de técnicas de condicionamiento de la referencia por regímenes deslizantes en problemas de sistemas de control con acciones feedforward. En particular, se propone el condicionamiento vía regímenes deslizantes de orden superior. La motivación para esta propuesta surge del hecho que los controladores más empleados en el ámbito industrial incluyen acciones proporcionales e incluso derivativas que, en conjunto con la acción feedforward y el acondicionamiento por modos deslizantes convencionales, podrían dar lugar a un “chattering” residual que afecte la vida útil del actuador de potencia mecánicos o hidráulicos.*

-“Estabilización mediante estrategia de proyección mínima de la asistencia de red de un sistema de generación renovable de H2”

J.García Clúa, R.J. Mantz, H. De Battista y N. Gallegos.

XV Reunión de Trabajo Procesamiento de la Información y Control, RPIC 2013, 543-548, 16 al 20 de septiembre de 2013. San Carlos de Bariloche. ISBN 978-987-27739-7-7.

Resumen. *En este trabajo se propone un control de asistencia de red de un sistema de generación renovable de H2 de estructura simple y robusta. La conexión a red tiene el doble propósito de minimizar el efecto de variaciones de potencia eólica en el suministro del electrolizador y maximizar la producción de H2. Para regular la corriente del electrolizador en su valor nominal se plantea un esquema de control en cascada donde interesa diseñar el lazo de realimentación que comanda la conmutación del convertidor de red. Como ley de conmutación se aplica la estrategia de proyección mínima que estabiliza un sistema afín conmutado. Para el análisis del equilibrio conmutado y su estabilidad se aplican conceptos de inclusión de Filippov y función común de Lyapunov, respectivamente. Los resultados teóricos obtenidos se corroboran mediante simulación numérica.*

-“Control por moldeo de potencia de un aerogenerador en generación distribuida.” R.R. Peña, R.D. Fernández, R.J. Mantz, y P.E. Battaiotto.

XV Reunión de Trabajo Procesamiento de la Información y Control, RPIC 2013, 543-548, 16 al 20 de septiembre de 2013. San Carlos de Bariloche. ISBN 978-987-27739-7-7.

Resumen. *En este trabajo se presenta el control de la potencia activa y reactiva de un aerogenerador eólico, equipado con un generador asincrónico trifásico de rotor bobinado. La técnica empleada para realizar el control tanto de potencia activa como reactiva está basada en pasividad, y en particular en conceptos de moldeo de potencia (Power Shaping). Se presentan simulaciones que permiten evaluar el desempeño del sistema de generación a cambios del recurso eólico y frente a fallas en la red.*

Publicaciones con referato de resumen o por invitación

-“Control de un Sistema Fotovoltaico con Asistencia de Red para la Producción de Hidrógeno”

J. García Clúa, F. Inthamoussou, M. Cendoya, R. Mantz, y H. De Battista.

Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia. FI. UNLP. Mayo de 2013. ISBN 978-950-34-0946-6.

Resumen. *En este trabajo se considera la electrólisis del agua a partir de la conversión fotovoltaica (PV) como una de las opciones más viables para la producción limpia de H2. Diferentes configuraciones se han propuesto para estos sistemas donde el mayor desafío es compatibilizar los requerimientos de operación de los electrolizadores, la calidad y eficiencia de producción del H2, con la variabilidad del recurso energético y los rendimientos de conversión de los paneles fotovoltaicos. En este marco, el control global del sistema juega un papel fundamental. El sistema de producción PV de H2 bajo estudio consiste básicamente en paneles PV, convertidor DC/DC, electrolizador e inversor para la asistencia de red. El control del convertidor compatibiliza la generación fotovoltaica con los requerimientos básicos de operación del electrolizador dando prioridad al*

rendimiento de conversión del recurso renovable. En forma complementaria, el control del inversor establece las condiciones de calidad del suministro de potencia para garantizar la calidad del H₂ producido y la vida útil del electrolizador. Se propone un supervisor discreto que permite comandar ambos controladores reduciendo al máximo el aporte de potencia de la red. Se presentan resultados de simulación que permiten verificar los objetivos de operación.

Trabajos presentados en congresos con evaluación de resúmenes

-“Control por pasividad de un aerogenerador en una red dispersa”.

R. Peña, R.D. Fernández y R.J. Mantz.

5to Congreso Nacional - 4to. Congreso Iberoamericano de HIDRÓGENO Y FUENTES SUSTENTABLES DE ENERGÍA. Córdoba, Argentina, 10 - 14 de junio de 2013.

Resumen. *Los sistemas de generación distribuida renovable (GDR) constituyen una ventajosa alternativa para incrementar la provisión local de energía eléctrica. Usualmente se estructuran sobre la red eléctrica preexistente, que generalmente resulta débil. Presentando una importante limitación cuando la inyección local de potencia es fluctuante por razones inherentes al mismo recurso renovable. En este contexto y considerando una de las estructuras de sistemas de conversión de energía eólica más versátiles (turbina de eje horizontal con pitch variable, una caja mecánica multiplicadora, una máquina de inducción trifásica de rotor bobinado (DFIG) y un convertidor back to back), se propone una estrategia de control para reducir los efectos de las limitaciones y mejorar el aprovechamiento energético. La estrategia consiste en un control por pasividad mediante moldeo de potencia (Power Shaping), a los efectos de lograr el control por rotor de la potencia activa inyectada a la red. El Power Shaping como todas las técnicas derivadas de la Pasividad, se destaca por no necesitar la linealización del modelo para obtener la ley de control y por establecer la función de Lyapunov que garantiza tanto la estabilidad del sistema controlado como la obtención del dominio de atracción de la misma. A diferencia del control por pasividad con inyección de amortiguamiento, el Power Shaping, no presenta el obstáculo de la disipación perversiva en el equilibrio a la vez que permite el empleo de ecuaciones considerando como variables tensiones y corrientes en lugar de cargas y flujos. El trabajo se completa con el modelado de componentes y estrategias de control en ambiente MATLAB®/Simulink.*

-“Control ‘Gain Scheduling’ de una turbina eólica de paso variable y velocidad fija para la producción de hidrógeno”

F.A. Inthamoussou, R.J. Mantz, F.D. Bianchi, H. De Battista.

5to Congreso Nacional - 4to. Congreso Iberoamericano de HIDRÓGENO Y FUENTES SUSTENTABLES DE ENERGÍA. Córdoba, Argentina, 10 - 14 de junio de 2013.

Resumen. *La energía eólica aparece actualmente como la fuente de energía renovable más competitiva desde el punto de vista económico para la producción de hidrógeno mediante electrólisis. Dado que los electrolizadores no están diseñados para operar con los suministros fluctuantes de potencia característicos de la energía eólica, la conexión de electrolizadores a turbinas eólicas requiere de ciertos cuidados y de estrategias de control apropiadas. La arquitectura del sistema considerado consta de una turbina eólica de paso variable que impulsa un generador asincrónico jaula de ardilla conectado directamente a la red eléctrica y paralelamente, por medio de un rectificador controlado, a un electrolizador. Así, la*

red eléctrica impone la velocidad de rotación de la máquina y provee al generador la potencia reactiva para su funcionamiento. Potencialmente podría también suministrar parte de la potencia requerida para la operación del electrolizador en condiciones nominales o recibir el exceso de potencia activa producida por la turbina. El objetivo del trabajo es controlar las potencias generada y consumida a un mismo valor (de manera de no intercambiar potencia media con la red) compatible con la disponible en el viento y con las especificaciones del electrolizador. La potencia capturada por la turbina es controlada mediante la rotación de las palas. Debido a que la turbulencia tiene un espectro en frecuencia que excede el ancho de banda del control del ángulo de paso, aparecen fluctuaciones en la potencia capturada que se derivan a red en lugar de inyectarse al electrolizador. Es decir, la red opera además como filtro para las fluctuaciones de potencia activa producto del desbalance transitorio entre la potencia producida por la turbina eólica y la consumida por el electrolizador. Se propone un control basado en la teoría LPV que provee un marco formal y herramientas útiles para el diseño de controladores 'gain scheduling'.

-“Modelizado y Control de Módulo Experimental para la Regulación de pH”

J.G.García Clúa, I.A.Weimer, N.G.Gallegos y R.J. Mantz.

1º Congreso de Ingeniería de Procesos y Productos. 6-8 de noviembre de 2013. CABA.

Resumen. *En el presente trabajo se aplican estrategias de control clásicas a la regulación de pH y se analiza su desempeño mediante simulación y a escala de laboratorio. A tal fin se dispone de un módulo experimental, para el cual se propone un modelo dinámico no lineal que sirve como punto de partida para la evaluación de estrategias de control más avanzadas. El problema de regulación de pH de una solución mediante la adición de ácido o base es común en procesos químicos, biológicos y fundamentalmente en el tratamiento de aguas residuales. Desde el punto de vista del control reviste especial interés debido a la dinámica no lineal asociada a la relación logarítmica entre la variable controlada y el caudal de reactivo adicionado. Dicha relación se conoce como curva de valoración y se ve distorsionada a su vez por variaciones frecuentes de caudal y composición del afluente. Ambas condiciones dificultan el diseño del lazo de control. El módulo experimental de control de pH consta de un tanque agitado continuo alimentado con una corriente principal y un caudal de solución ácida manipulado a través de una bomba peristáltica. El lazo de control realiza la medición del pH de la mezcla, la procesa a través del software residente en una PC y envía la acción de control a la bomba. Para el cómputo de la acción de control se implementan dos algoritmos de control disponibles en el software: PID y on-off. El ajuste de cada controlador se realiza con base en el modelo de lazo abierto que reproduce el comportamiento no lineal y variable del proceso. A partir de los resultados de simulación del lazo cerrado se evalúa el desempeño de ambas estrategias de control, en especial en lo que se refiere a seguimiento de la referencia y rechazo a las perturbaciones del afluente. Las observaciones hechas a partir de la simulación se corroboran con resultados experimentales. Se concluye que el modelo dinámico propuesto permite caracterizar satisfactoriamente la curva de valoración y el comportamiento del lazo cerrado. También quedan probadas las limitaciones de las técnicas clásicas ante la no linealidad y variabilidad del control de pH. La caracterización del módulo*

experimental efectuada en este trabajo podría utilizarse en el diseño de técnicas de control capaces de compensar no linealidades. Estrategias más avanzadas basadas en el modelo, tales como ganancia programada y linealización exacta, serán implementadas en trabajos futuros.

7.2 TRABAJOS EN PRENSA Y/O ACEPTADOS PARA SU PUBLICACIÓN.

-“Passivity Control via Power Shaping of a Wind Turbine in a Dispersed Network”.

R.R. Peña, R.D. Fernández, R.J.Mantz.

International Journal of Hydrogen Energy, ISSN: 0360-3199. En prensa.

Abstract. *The connection of renewable energy conversion systems in distribution networks must comply with codes for assuring power quality as well as the grid assistance demands. The new operating requirements cannot always be achieved from the control strategies that have been employed for years in conventional distribution systems. In this context, this paper addresses the problem of controlling a wind turbine from passivity control concepts. In particular a control strategy based on a new approach to the passivity theory, known as Power Shaping, is proposed. This approach allows to consider pervasive dissipation. The proposed strategy is evaluated in the context of extreme operating conditions showing capability to ride through grid failures. In this way, the simulation results encourage the application of concepts of Power Shaping in more complex systems of distributed generation.*

-“LPV Wind Turbine Control with Anti-Windup Features Covering the Complete Wind Speed Range”.

F. Inthamoussou, F. Bianchi, H. De Battista, R.J. Mantz.

IEEE Transaction on Energy Conversion. (ISSN 0885-8969). En prensa.

Abstract. *This paper addresses the control of a variable-speed variable-pitch wind turbine in the whole wind speed range. To this end, a linear parameter varying anti-windup (AW) controller is proposed as part of a control structure focused on improving the transition between low- and high-wind speed operations. The control structure is similar to classical PI controls used in commercial wind turbines. However, a more advanced gain-scheduled controller and AW compensation are proposed. As a consequence, the new control scheme is capable of improving the behavior of the wind turbine in the transition zone and provides better stability margins. The proposed control was evaluated in a 5-MW wind turbine benchmark and compared with a classical control scheme. To this end, very demanding and realistic testing scenarios were built using the FAST aeroelastic wind turbine simulator as well as standardized wind speed profiles.*

7.3 TRABAJOS ENVIADOS Y AÚN NO ACEPTADOS PARA SU PUBLICACIÓN.

7.4 TRABAJOS TERMINADOS Y AÚN NO ENVIADOS PARA SU PUBLICACIÓN. I

7.5 COMUNICACIONES.

7.6 INFORMES Y MEMORIAS TÉCNICAS.

8. TRABAJOS DE DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS.

9. SERVICIOS TECNOLÓGICOS.

10. PUBLICACIONES Y DESARROLLOS EN:

a. DOCENCIA

b. DIVULGACIÓN

11. DIRECCIÓN DE BECARIOS Y/O INVESTIGADORES.

Ver ítem 12

12. DIRECCIÓN DE TESIS.

- Dirección del Ing. José Gabriel García Clúa.
Carrera de Postgrado: Doctorado en Ingeniería (Categorizada A por CONEAU).
Tema: Sistemas de Control Híbrido. Aplicación a sistemas de generación de hidrógeno a partir de recursos energéticos renovables.
Financiamiento: CONICET, UNLP.
Lugar de Trabajo: LEICI. Dto. de Electrotecnia. Facultad de Ingeniería. UNLP.
Fecha de defensa de tesis: 13 agosto 2013.

- Codirección del Ing. Fernando Inthamoussou.
Beca CONICET.
Carrera de Postgrado: Doctorado en Ingeniería (Categorizada A por CONEAU).
Tema: “Sistemas Conmutados de Control. Aplicación en Sistemas de Conversión de Energías Renovables y su Integración a Redes Eléctricas”.
Financiamiento: CONICET, UNLP.
Lugar de Trabajo: LEICI. Dto. de Electrotecnia. Facultad de Ingeniería. UNLP.
Septiembre 2009 - actual.

- Dirección del Ing. Ricardo Ramiro Peña.
Carrera de Postgrado: Doctorado en Ingeniería (Categorizada A por CONEAU).
Tema: “Análisis y Estrategias de Control de Aerogeneradores y Granjas Eólicas en Generación Distribuida”.
Financiamiento: CONICET.
Lugar de Trabajo: LEICI. Dto. de Electrotecnia. Facultad de Ingeniería. UNLP.
Abril 2011 - actual.

- Dirección del Ing. Pablo Emiliano Troncoso.
Carrera de Postgrado: Doctorado en Ingeniería (Categorizada A por CONEAU).
Inscripción en trámite.
Tema: “Estrategias de Control para Sistemas con Restricciones. Aplicación a Sistemas de Generación de Energías Renovables en Conexión a Red”.
Financiamiento: CONICET.
Lugar de Trabajo: LEICI. Dto. de Electrotecnia. Facultad de Ingeniería. UNLP.
Abril 2013 - actual.

13. PARTICIPACIÓN EN REUNIONES CIENTÍFICAS.

14. CURSOS DE PERFECCIONAMIENTO, VIAJES DE ESTUDIO, ETC.

15. SUBSIDIOS RECIBIDOS EN EL PERÍODO.

-Subsidio a la Investigación Científica y Tecnológica. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Resolución N° 2410/12.
Período: mayo 2012 – mayo 2013.

-Subsidio a la Investigación Científica y Tecnológica. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Resolución N° 243/13.
Período: octubre 2013 – octubre 2014.

16. OTRAS FUENTES DE FINANCIAMIENTO

17. DISTINCIONES O PREMIOS OBTENIDOS EN EL PERÍODO.

18. ACTUACIÓN EN ORGANISMOS DE PLANEAMIENTO, PROMOCIÓN O EJECUCIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA.

19. TAREAS DOCENTES DESARROLLADAS EN EL PERÍODO.

Docencia de grado.

Profesor Titular Ordinario de la Cátedra Control Moderno. Dedicación Exclusiva. Área Control. Carrera de Ingeniería Electrónica. Facultad de Ingeniería. UNLP.

Docencia de postgrado

2012

- Profesor y Coordinador del Curso de Postgrado:
“Sistemas de Conversión de Energías Renovables. Fundamentos y Control”.
Duración: 60 horas. Abril-agosto de 2012. (expediente 300-005122-000. Resolución 0518 15/06/11).
Carreras de Postgrado: el curso se dictó para alumnos de los postgrados de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Referencia Departamento de Electrotecnia, FI, UNLP) acreditados por la CONEAU: A.

2013

- Profesor y Coordinador del Curso de Postgrado:
“Regímenes deslizantes y su aplicación al control de sistemas”.
Duración: 60 horas. Dictado con el Dr. Fabricio Garelli. Abril-julio de 2013. (expediente 304-009719/13-001).

Carreras de Postgrado: el curso se dictó para alumnos de los postgrados de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Referencia Departamento de Electrotecnia, FI, UNLP) acreditados por la CONEAU: A.

- Profesor y Coordinador del Curso de Postgrado:

“Sistemas de Conversión de Energías Renovables. Fundamentos y Control”.

Duración: 60 horas. Dictado con el Ing. F. Inthamoussou y el Dr. J. García Clúa. Septiembre-diciembre de 2013. (expediente 300-010291-000).

Carreras de Postgrado: el curso se dictó para alumnos de los postgrados de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Referencia Departamento de Electrotecnia, FI, UNLP) acreditados por la CONEAU: A.

20. OTROS ELEMENTOS DE JUICIO NO CONTEMPLADOS EN LOS TÍTULOS ANTERIORES.

Proyectos

1-ANCYT. Proyecto N°200700535.

Acreditado por UNLP bajo la denominación Proyecto N°11 I 127.

“Control, Adquisición y Procesamiento de Señales. Aplicaciones en sistemas electrónicos de potencia, generadores eólicos, arreglos de sensores y bioingeniería”.

2009-2012.

Participación como Investigador (Grupo Responsable).

2-UNLP. Proyecto Acreditado por la UNLP. N° 11/I164.

“Control de Sistemas con Restricciones”.

Período 2012-actual.

60000\$ Ajustable

Participación como Investigador y Director.

3-MinCyT, ANPCyT- Foncyt . PICT 2012-0037.

“Control, Electrónica e Instrumentación: Aplicaciones en Energías Renovables, Bioingeniería y Biotecnología”

416000\$.

Período 2013-actual.

Participación como Investigador (Grupo Responsable).

Convenios

- Coordinador por la parte Argentina del Acuerdo de Cooperación Internacional para el Desarrollo de “Técnicas avanzadas de control para turbinas eólicas”

Facultad de Ingeniería, UNLP – Institut de Reserca en Energia de Catalunya (IREC).

Diciembre 2012.

Evaluación

- Evaluador Promoción de la Carrera del Investigador Científico CICpBA. 2012.

- Miembro del International Program Committee (IPC) del 8th International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes. IFAC, www.adchem2012.org Singapore, July 2012.

- Miembro del International Advisory Committee del IEEE Symposium on Power Electronics & Machines for Wind and Water Application (PEMWA 2014), <http://www4.uwm.edu/ceas/pemwa2014.cfm> . July 24-26, 2014 in Milwaukee, WI. USA.

- Evaluador de trabajos científicos para los siguientes congresos:
 - AADECA 2012 - 23 Congreso Argentino de Control Automático. 3 al 5 de Octubre de 2012 Buenos Aires, Argentina.
 - 6th Annual Dynamic Systems and Control Conference, October 21-23, 2013, Stanford University, Munger Center, Palo Alto, CA
 - 52nd IEEE Conference on Decision and Control to be held in Firenze, Italy. December 10-13, 2013.
 - *XV Reunión de Trabajo Procesamiento de la Información y Control, RPIC 2013*, 16-20 de septiembre de 2013. San Carlos de Bariloche.

- Evaluador de Trabajos para su publicación en Revistas Científicas
 - 2012 International Journal of Hydrogen Energy, Elsevier. ISSN: 0360-3199
 - 2012–2013. International Journal of Robust and Nonlinear Control. Elsevier. ISSN:1099-1239
 - 2012 Journal of Process Control. Elsevier. ISSN: 0959-1524
 - 2013 Automatica. Elsevier. ISSN 0005-1098.
 - 2013 Energy Conversion and Management. Elsevier. ISSN: 0196-8904.
 - 2013 International Journal of Hydrogen Energy. Elsevier. ISSN: 0360-3199.
 - 2013 IEEE Transactions on Industrial Electronics. ISSN: 0278-0046.

21. TÍTULO Y PLAN DE TRABAJO A REALIZAR EN EL PRÓXIMO PERÍODO.

ESTRATEGIAS ROBUSTAS DE CONTROL

Las tareas que se proponen desarrollar en el presente plan son continuidad de las que se han venido desarrollando en el período que se informa y que han alcanzado distinto grado de avance. Las mismas se corresponden con las líneas de investigación de los proyectos 1) UNLP N°11/I164 “Control de Sistemas con Restricciones” y 2) PICT 2012-0037 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica ANCyT “Control, Electrónica e Instrumentación: Aplicaciones en Energías Renovables, Bioingeniería y Biotecnología”.

En términos generales, las tareas de investigación propuestas corresponden al área del Control de Sistemas y si bien podrían ser aplicables a distintas disciplinas, serán particularmente orientadas a aplicaciones de sistemas de conversión de energías renovables y a problemas de diseño de controladores para procesos industriales. Al igual que en el período anterior será objetivo del presente plan realizar investigaciones en el marco de la teoría del control de sistemas para aportar soluciones concretas y con sustento académico a problemas de control de sistemas complejos que involucren comportamientos no lineales, fuertes restricciones e incertidumbres. El sustento teórico para abordar los problemas de control estará basado principalmente en conceptos de sistemas de control de estructura variable y en sistemas de control híbrido, pretendiéndose incursionar más firmemente en conceptos de los sistemas de estructura variable conocidos como regímenes deslizantes de orden superior. El objetivo es poder proyectar muchos de los resultados ya obtenidos a aplicaciones donde el problema de “chattering” o de frecuencia de conmutación lenta no permita la aplicación directa de los conceptos convencionales de los regímenes deslizantes de primer orden. También se incursionará en aspectos de diseño de controladores empleando la teoría de pasividad incluyendo los nuevos enfoques de “moldeo de potencia” (Power Shaping Control) los cuales podrían ser potencialmente útiles al momento de plantear problemas de inyección de potencia en generación dispersa. Esta técnica es vista como una alternativa al enfoque del Control Robusto en muchas aplicaciones.

Como ya fue comentado, las actividades de investigación teórica estarán fuertemente vinculadas a problemas de control de sistemas de conversión de energía y al control de procesos industriales. Entre otros aspectos, puntualmente se va a trabajar (en algunos ya se lo viene haciendo) en:

- 1-. Estudio y modelado de sistemas complejos presentes en aplicaciones de control de procesos industriales y en sistemas de conversión de energías alternativas.
- 2-. Profundizar investigaciones en técnicas de control que permitan aportar soluciones concretas al problema de diseño y sintonía de controladores industriales multivariados con ponderación de los set-points.
- 3-. Investigar algoritmos de regímenes deslizantes de orden superior que permitan extender los conceptos del condicionamiento de la referencia para sistemas con restricciones a sistemas sensibles a problemas de chattering. Realizar estudios comparativos con otras técnicas, principalmente con aquellas basadas en regímenes deslizantes de primer orden y en conceptos de inmersión de sistemas e invariancia de variedades.
- 4-. Evaluar técnicas de control que empleen conceptos de pasividad y moldeo de potencia para sistemas de generación dispersa a partir de recursos renovables. En particular para sistemas con alta penetración de generación de energía eólica, evaluando una potencial contribución para asistir a la red.

5-. Continuar trabajando en estrategias de control para sistemas de generación a partir de recursos renovables empleando conceptos de control conmutado. Considerar aplicaciones tanto con configuraciones autónomas como asistidas por red y con conexión a red.

Al igual que lo que se viene realizando, las actividades de investigación serán complementadas con la formación de recursos humanos (becarios y estudiantes de postgrado) y la difusión de las mismas se realizará a través de publicaciones en revistas y congresos de la especialidad, como también a través de seminarios y cursos de postgrado.

Bibliografía

- Astolfi A., Karagiannis D., Ortega R.. “Nonlinear and Adaptive Control with Applications”. ISBN 978-1-84800-065-0. Springer-Verlag. London, UK. 2008.
- Ortega R., Jeltsema D. and Scherpen J., “Power shaping: a new paradigm for stabilization of nonlinear RLC circuits”. IEEE Transactions on Automatic Control, 48, 10, 1762–1767, 2003.
- Dirksz D. and Scherpen J., “Power-based control: Canonical coordinate transformations, integral and adaptive control” Automatica, vol. 48, no. 6, pp. 1045 – 1056, 2012.
- Liu J., Krogh B. and Ydstie B., “Passivity-based robust control for power systems subject to wind power variability” in 2011 American Control Conference (ACC) 2011,4149–4154. 2011.
- Dirksz D. and Scherpen J., “Power-based setpoint control: Experimental results on a planar manipulator”. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 20, 5, 1384–1391, 2012.
- Dirksz D. and Scherpen J., “Power-based adaptive and integral control of standard mechanical systems,” in 2010 49th IEEE Conference on Decision and Control (CDC), 4612–4617. 2010.
- Wu B., Lang Y., Zargari N. and Kouro S., Power Conversion and Control of Wind Energy Systems. Willey, 2011.
- López-García I., Espinosa-Pérez G., Siguerdidjane H. and D’oria-Cerezo A., “On the passivity-based power control of a doubly-fed induction machine,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 45, 1, 303–312, 2013.
- Sun Z, Ge S. “Stability Theory of Switched Dynamical Systems”. ISBN 978-0-85729-255-1. Springer-Verlag London Limited. 2011.
- Sira-Ramírez H. and Silva-Ortigoza R.. “Control Design Techniques in Power Electronics Devices”. ISBN-10: 1846284589. Springer-Verlag. London, UK. 2006.
- Sabanovic A., Fridman L., Spurgeon S.. “Variable Structure Systems from principles to implementation”. The Institution of Engineering and Technology. ISBN 0 86341 350 1. Cornwall, UK. 2004.
- Fox B. et al.. “Wind Power Integration Connection and system operational aspects”. ISBN 978-0-86341-449-7. The Institution of Engineering and Technology. London, UK. 2007.
- Hansen A. et al.. ‘Centralised Power Control of Wind Farm with Doubly Fed Induction Generators’, Renewable Energy, 31, 935–951. 2006.
- Petersson A., Harnefors L., Thiringer T.. ‘Comparison Between Statorflux and Grid-fux-oriented Rotor Current Control of Doubly-fed Induction Generators’, in 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, 482–489. 2004.
- Protsenko K., Xu D., “Modeling and control of brushless doubly-fed induction generators in wind energy applications,” Power Electronics, IEEE Trans. on, 23, 3, 1191–1197, 2008.
- Castaños F., Fridman L., “Measurement sliding mode-H1 control with application to decentralized syst.”. Proc. of 8th Int. Workshop on Variable Structure Systems, España. 2004.

- Chen C., Peng S.. “Design of a sliding mode control system for chemical processes”. *Journal of Process Control*, 15:515-530, 2005.
- Suvire G., “Wind Farm – Impact in Power System and Alternatives to Improve the Integration”. ISBN 978-953-307-467-2. InTech. Janeza, 2011.
- Afgan N. et al.. “Multi-criteria evaluation of hydrogen system options”. *Int. J. Hydrogen Energy* 32, 15, 3183-3193. 2007.
- Korpas M. y Greiner C.. “Opportunities for hydrogen production in connection with wind power in weak grids”. *Renewable Energy* 33, 6, 1199-1208. 2008.
- Ursúa A. et al.. “Influence of the power supply on the energy efficiency of an alkaline water electrolyzer”. *Int. J. Hydrogen Energy* 34, 8, 3221-3233. 2009.
- Hansen A. et al.. “Dynamic wind turbine models in power system simulation tool DIgSILENT”. *Grid Report Risø-R-1400(2nd edition)(EN)*, 2007.
- Mathew S., Philip G. “Advances in Wind Energy Conversion Technology”. ISBN 978-3-540-88257-2. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2011.
- Iov F., “A survey of interconnection requirements for wind power” . In *Proceedings of Nordic Wind Power Conference*, Roskilde, Denmark, 2007.