



Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado
Secretaría de Ciencia, Tecnología y
Posgrado

SISTEMA DE INFORMACION DE CIENCIA Y
TECNOLOGIA (SICyT)

FORMULARIO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Código del Proyecto: ENTUNHA0004290

1. Unidad Científico-Tecnológica

- FR Neuquén - GRUPO SUSTENTABILIDAD, MATERIALES E INSTALAC. ELECTROMECHANICAS
- FR Haedo - SECRETARIA DE CIENCIA Y TECNOLOGIA - FRH
- FR Haedo - FACULTAD REGIONAL HAEDO Y NEUQUEN
- FR Haedo - GRUPO GESE

2. Denominación del PID

Propuesta y optimización de la energía eléctrica entregada por la generación eólica PMSG (generación sincrónica a imanes permanentes)

3. Resumen Técnico del PID

La necesidad de aporte, dado el incremento de la demanda, de mayores niveles de entrega de energía y por medio de recursos con bajo nivel de contaminación; orientó esta investigación hacia las fuentes de suministro llamadas no convencionales o de recursos renovables. En este sentido la energía eólica tiene un papel protagónico, ya que propone un suministro en escala tendiendo a compararse a aquellas del tipo convencionales, como se sabe, proveniente de recursos fósiles. La conversión de la energía del viento, o bien llamada eólica en eléctrica, a hecho de su tecnología algo muy complejo; envuelve a innumerables disciplinas, aeronáutica, mecánica, eléctrica, electrónica, civil, industrial, meteorología, estadística aplicada, por citar algunas. En base a lo anterior aparecen normas y códigos de red eléctrica que regulan su calidad e inserción ordenada, temas referidos a estos promueven el estudio. Los convertidores de potencia en frecuencia utilizados en las tendencias tecnológicas actuales de generación eólica (PMSG o WRSG) aportan en tal sentido con el objetivo de cumplir con los códigos de red y aportar un mayor porcentaje de energía contenida en el viento a la red. A través de electrónica de potencia desvinculan generación por recurso variable (viento) de la carga. Esta manera de conversión de la energía ofrece ventajas importantes de desempeño respecto a tecnologías anteriores, pero posee el desafío de controlar y mitigar factores a evaluar en la calidad de la energía eléctrica inyectada como lo es el contenido armónico. La consigna de este trabajo es evaluar los factores que según normas internacionales (IEC-61400-21) tratan la calidad energética inyectada por los aerogeneradores conectados a la red eléctrica, en particular dado la tecnología de conversión utilizada, el contenido armónico. Para ello, en lo posible, se necesitará realizar su medición en campo, obtener datos de empresas que lo analizan, e investigaciones que lo estudian. En base a lo anterior se propondrá para la etapa de modulado y control de los convertidores electrónicos de potencia alguna herramienta o algoritmo matemático que aporte desempeño. Luego sistemas de modelado y simulación permitirán evaluar resultados y comparar con las investigaciones actuales, con la finalidad de ser concretados en un futuro prototipo experimental.

4. Programa

Energía

5. Proyecto

Tipo de Proyecto: TUTORADO SIN INCENTIVO

Tipo de Actividad: Seleccione..

Campos de Aplicación:

Rubro	Descrip. Actividad	Otra (especificada)
ENERGIA (Producción)	Eólica	

Disciplinas Científicas:

Rubro	Disciplina Científica	Otras Disciplinas Científicas
-------	-----------------------	-------------------------------

INGENIERIA AERONÁUTICA	Aerodinámica	-
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES ELECTRÓNICA Y CONTROL	Electrónica	-
INGENIERIA ELÉCTRICA	Automatización y control	-

Palabras Clave

EÓLICA ENERGÍA CALIDAD ARMÓNICOS POTENCIA CONTROL

6. Fechas de realización

Inicio	Fin	Duración	Fecha de Homologación
01/01/2016	31/12/2017	24 meses	-

7. Aprobación/ Acreditación / Homologación / Reconocimiento (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)

7.1 Aprobación / Acreditación / Reconocimiento (para ser completado por la FR cuando se posea N° Resolución)
N° de Resolución de aprobación de la FR:

7.2 Homologación (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)

Código SCTyP : ENTUNHA0004290

Disposición SCTyP:

Código Ministerio:

8. Estado (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)

EN TRÁMITE

9. Avales (presentación obligatoria de avales)

C.V. de integrantes. Avales de Decanos y Secretarios de Investigación y Posgrado de Regional Tutora y Tutorada.

10. Personal Científico Tecnológico que participa en el PID

Apellido y Nombre	Cargo	Hs/Sem	Fecha Alta	Fecha Baja	Otros Cargos
BUFANIO, RUBÉN DOMINGO	DIRECTOR	10	01/01/2016	31/12/2017	
MARASCO, NESTOR DAMIAN	BECARIO POSGRADO - DOCTORAL EN EL PAÍS	10	01/01/2016	31/12/2017	
DE VILLAFLORES, ALEJANDRO	INVESTIGADOR DE APOYO	10	01/01/2016	31/12/2017	
GONZALEZ, JUAN MANUEL	BECARIO ALUMNO FAC.REG.	10	01/01/2016	31/12/2017	-
DOMECQ, BRIAN LUCAS	BECARIO ALUMNO FAC.REG.	5	01/01/2016	31/12/2017	-
BERTON, SERGIO NICOLÁS	BECARIO ALUMNO FAC.REG.	10	01/01/2016	31/12/2017	-
RUSCIO, JUAN PABLO	INVESTIGADOR DE APOYO	5	01/01/2016	31/12/2017	-
SAAVEDRA SÁNCHEZ, MARTÍN	BECARIO ALUMNO FAC.REG.	5	01/01/2016	31/12/2017	-
VIDAL TORRES, NAHUEL CAMILO	INVESTIGADOR DE APOYO	10	01/01/2016	31/12/2017	-

11. Datos de la investigación

Estado actual de concimiento del tema

Se desarrolla para ello una investigación bibliográfica que sostiene y justifica este trabajo, a saber:

11.1: Orientada a comprender la magnitud del problema y establecer herramientas de solución

Aquí se utilizan dos referencias muy importantes una de orden general [1] que trata sobre los desafíos de la penetración eólica, donde se definen aspectos básicos importantes de balance energético con conceptos sobre condiciones de intercambio de reactivo y entrega de potencia activa, se avanza sobre los requerimientos de la calidad de energía suministrada por las turbinas eólicas, condiciones de medida de los diferentes parámetros eléctricos, experiencias prácticas y de modelado. Por otro lado, una vez conocido el ambiente general del problema, se utiliza como base de consulta la referencia [2], en ella se analizan los actuales y posibles futuros códigos o requerimientos de los operadores de la red, la estructura básica y tendencia de los convertidores de potencia utilizados en la generación eólica en particular la que aplica a PMSG, la sincronización con la red, el nivel de control requerido tanto en estado normal como frente a fallos, el diseño de filtrado y control de corrientes armónicas a través de diferentes opciones.

Las referencias anteriores, en fundamental la [2], orientaron a buscar soluciones frente a la inserción del contenido armónico por parte de los convertidores de potencia, a través del modelado y simulación con el programa Matlab®.

11.2: Orientada a comprender la tecnología de generación y la implicancia de las condiciones de la red dentro del problema planteado.

La necesidad de estabilidad estacionaria y dinámica en la calidad del producto técnico de tensión, respecto a variaciones de su amplitud como frecuencia en el punto de conexión común PCC (Punto Conexión Común), conduce a ser uno de los temas de mayor importancia a tener en cuenta por los operadores de la red a la hora de evaluar la inserción de generación eólica.

El contenido armónico está reconocido como un factor [1] que afecta la calidad de energía suministrada por la generación eólica de velocidad variable por la utilización de convertidores de frecuencia.

Es de suma importancia su valorización a la hora de certificaciones como manda la norma IEC 61400-21.

También es importante la evaluación del impacto en la red, especialmente si las características de la misma en el punto de conexión (PCC) presentan condiciones particulares referidas a relaciones de corto circuito (Rcc) bajas, (menores a 10 veces), y la topología eléctrica utiliza.

Mismo se han detectado problemas, debido a los armónicos, en los rodamientos de los generadores. Corrientes de alta frecuencia surgidas de las conmutaciones PWM (modulación por anchura de pulso) ocasionan deterioro prematuro en la superficie rodante y en el lubricante de la misma.

Cuanto más logros se obtengan en los sistemas de conversión de potencia aplicados a generación eólica, más acercamiento en desempeño a generación convencional se obtendrá [2] y por ende mayores posibilidades de aumentar su proporción en energía inyectada en la matriz de una determinada región o país. En este sentido se encontró abundante aporte en [3] y [4], en la primera hay un amplio desarrollo conceptual y en la segunda aplicativo, sin dejar de ser rigurosa en todo aspecto teórico pero más inserta en el desafío de los diferentes sistemas de generación frente a su vinculación estable con la red.

Luego se encontró importante aporte a la integración de la energía eólica a través de [5], que muestra los desafíos y lineamientos técnicos necesarios para llegar a porcentajes de inyección de energía cercanos al 20 %.

[6] Entrega, a través del desarrollo de algoritmos como el GA (Genetic Algorithm) y aplicación de índices estadísticos, un modelo que permite dado una determinada topología de red, recurso, y serie temporal de variación de la carga, la mejor ubicación, cantidad y tipo de turbina eólica que minimice las pérdidas de potencia en la red con enfoque a la calidad de la energía inyectada.

La bibliografía [7] es un artículo de investigación que da aspectos de evaluación de la calidad de la energía de una granja eólica haciendo referencia al contenido armónico de los generadores del Tipo D (PMSG).

[8] Cubre, aparte de importantes consideraciones teóricas de funcionamiento de las turbinas eólicas, desafíos y condiciones para con la integración de la energía eólica en la red.

La referencia [9] es de suma ayuda, ya que plantea un problema práctico de emisión del contenido armónico en generación eólica en una red típica y su modelado. Mismo se tiene aporte de [10], [11] en análisis puntuales como el modelado y control de corrientes de secuencia cero en múltiples convertidores conectados en la red y el impacto debido a la no sinusoidal inyección energética en la eficiencia de la generación eólica.

Las referencias [12] y [13] fueron apropiadas para abordar conceptos de diseño e implementación general.

11.3: Orientada a comprender las normas internacionales que rigen la integración de la generación eólica y los límites de perturbación a la red (contenido armónico entre otras).

En los sistemas eléctricos con energía eólica, es muy importante dado la variabilidad del recurso, por lo tanto la potencia generada, la necesidad de normalizar características de suministro de potencia replicable en todas las turbinas o parques eólicos. Como resultado de esto surgió el desarrollo de la norma [14] [IEC-61400-21] (IEC, Comisión Internacional de Electrotécnica) que describe los procedimientos a seguir para evaluar la calidad de energía entregada por la generación eólica.

Mejoras en el sistema de modulación, control, y filtrado de los convertidores de potencia disminuye el efecto distorsivo del contenido armónico y sus consecuencias. Se verifica el nivel de su incidencia a

través de los procedimientos e instrumentos de medida y límites impuestos por las [15], (IEC-61000-4-7; IEC-61000-3-6), y [16], (EN-50160), cuantificando su efecto, a corto, largo plazo y en forma estadística.

Desde hace unos 20 años, debido al importante crecimiento de la penetración eólica, es que surgen los denominados códigos de red. Aunque sus normativas son particulares a cada región o país, ya que depende de la estructura particular de cada sistema o mallado de red, dan una idea del desafío de esta generación y de la continua investigación que se debe seguir desarrollando para permitir mayores niveles de suministro. Es por ello son útiles en este aspecto las referencias [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23] [24], ya que indican niveles y condiciones permitidas de distorsión junto a suministro de potencia, en regiones de alto volumen de generación eólica.

11.4: Orientada a comprender la implicancia de la electrónica de potencia en el problema planteado.

La electrónica de potencia desarrolló innumerables beneficios en los sistemas de generación, contribuyendo tanto en los denominados aislados con característica híbrida como en los concentrados en escala. En estos últimos se encuentran a los generadores eólicos de potencia, los cuales inyectan energía a la red contribuyendo a la diversificación de la matriz energética como es común en muchos países del mundo. Estos sistemas de generación, como se dijo, suelen estar acompañados por razones técnicas por convertidores electrónicos de potencia. Surge aquí en el punto de conexión con la red, dado los mecanismos de integración, posibles desbalances como los relacionados al contenido armónico, flicker, factor de potencia y control del perfil de tensión. Frente a esto es importante el aporte de las referencias [25], [26], [27] y [28], ya que entregan el concepto del funcionamiento de los convertidores de potencia para la conversión de la energía eléctrica y las condiciones de diseño frente a diferentes escenarios. A través de estas y las indicadas en los párrafos de más abajo se desarrollara, fundamentalmente, esta investigación. Por otro lado Matlab® utiliza [26] para validar las salidas de los Tool Box empleados, dentro de los ejemplos de evaluación, del contenido armónico inyectado.

Uno de los factores importantes a tener en cuenta, dentro de lo marcado en los párrafos anteriores, es la deformación en la forma de la señal de tensión causada por la inyección de corrientes armónicas por parte del sistema de conversión eléctrico utilizado en la generación, un potencial efecto distorsivo surge de la amplificación debido a posibles condiciones de resonancia con la red en alguna de las frecuencias armónicas de orden superior del espectro generado por el propio sistema de conversión de potencia. En este sentido hay un gran aporte de las referencias [29] y [30], en donde se hace un análisis de las diferentes técnicas de modulación y un tratamiento de modelización referido a la estabilidad y control de los armónicos en sistemas de generación eólica.

En lo referente a los sistemas de conversión de energía en generación eólica, las turbinas que presentan tratamiento del flujo eléctrico a través de electrónica de potencia brindan ventajas a la hora de maximizar eficiencia energética fundamentalmente en la zona de potencia parcial. Esta desvinculación de frecuencia entre la de giro del generador y de la red provoca desventajas como la inyección de contenido armónico de corriente respecto a otras topologías como ser las Tipo A, B, y C, todas estas con generador de inducción con vinculación directa a la red, en donde se desprecia su incidencia.

11.5: Orientada a comprender la sintonía de los controladores y los conceptos avanzados de modulación en los convertidores de potencia.

El desafío de lograr suavizar las variaciones de potencia entregada desde la generación y dar cumplimiento a los requerimientos por parte del operador de la red, por ejemplo frente a fallos, hace necesario un amplio desarrollo de los niveles de control.

La sintonía de los controladores y sus adecuadas vinculaciones son fundamentales, es por ello se necesita una base teórica importante basada en técnicas de control y sintonía de los PID (Proporcional, Integral y Derivativo) en conjunto a otros conceptos como de variable de estado suministrados en su mayoría por la referencia [33]; y aquellas más referidas a la generación eólica como la encontrada en [31], [32]. Por otro lado hay importante aporte de trabajos tutoriales de gran contribución actual [34], [35].

Vinculado a lo indicado en el párrafo anterior, ya que se embebe con las técnicas de control, se encuentran las estrategias de filtrado, aquí se recibe de la referencia [36] un aporte importante como base teórica y en la [37] un caso de aplicación en energía eólica.

11.6: • Orientada a comprender la modelización de los convertidores de potencia en la mitigación del contenido armónico inyectado.

Debido al criterio de investigación en donde se utiliza una generación sincrónica como fuente de conversión es necesario conocer el concepto de su funcionamiento, controles y principios de modelado

que rigen a este tipo de generador. Es por ello la referencia [38], [39] brinda un amplio recorrido en su caracterización y posible enlace con el esquema de conversión que se propondrá en este trabajo (espalda con espalda).

Dada la necesidad de trabajar en modelización sobre convertidores de potencia, se encuentra un importante aporte conceptual en la referencias [40], y [41]. En éstas, aparte de recibir contribuciones adicionales a la del párrafo anterior, refuerzan conceptos dentro del espacio vectorial en que se tratará el sistema propuesto.

Luego de analizados los principales fundamentos teóricos del modelado y control en sistemas de potencia para generación eólica, se encontró importante aporte en [42] y [43], con soluciones de problemas puntuales específicos a este tipo de generación, dando idea de la necesidad de más trabajo e investigación en lo referente a la mitigación del contenido armónico inyectado.

11.7: Hipótesis:

Se puede mejorar la calidad del suministro eléctrico de los generadores eólicos (en principal su contenido armónico) a través de nuevos métodos de modulación de los convertidores de potencia que lo componen.

Desarrollando técnicas adecuadas de control interno de los convertidores de potencia se mejorará la calidad del suministro y la proporción de integración de la energía eólica.

11.8: Justificación:

Los sistemas de generación eólica ("Tipo D" o Full Converters) poseen convertidores electrónicos de potencia que inyectan contenido armónico en la red eléctrica. Surge por lo tanto en el enlace como en la propia red, dado los mecanismos de integración, posible pérdida de energía como calor al medio y generación de fallos en dispositivos y protecciones. Por lo tanto es necesario de analizar y mitigar.

Uno de los factores importantes a tener en cuenta, como se indicó en 11.4, es la deformación en la forma de la señal de tensión, causada por la inyección de corrientes armónicas por parte del sistema de conversión utilizado en la generación.

Análisis de distorsiones, generadas por la inyección de contenido armónico, es necesario plantear tanto del lado de conexión de media como de alta tensión, simulando diferentes escenarios de flujos de cargas (máximos y mínimos) y condiciones de impedancias armónicas de la línea.

El desarrollo de conocimientos en estos temas es de importancia para las empresas de suministro, de manera de evitar resonancias en los sistemas de distribución de la red basados en la amplificación armónica debida a energías como la eólica u otra distribuida con generación a partir de sistemas de conversión de potencia.

Otra particular importancia es la del desarrollo de propuestas de conversión de potencia, por ejemplo en el sistema de rectificación, aplicado esto a producción eólica con generador síncrono de imanes permanentes y velocidad variable, en donde la disminución del contenido armónico de la corriente tomada al generador con lleva a una mejora en el factor de potencia general del sistema y menores vibraciones y esfuerzos mecánicos de dicho generador.

El contenido armónico está reconocido como un factor que afecta la calidad de energía suministrada por la generación eólica de velocidad variable, por lo que es de suma importancia su valorización a la hora de certificaciones y evaluación del impacto en la red y por consiguiente el estudio de los diferentes sistemas de control que disminuyan su efecto. Por ello es de no menor importancia crear bases de conocimiento y sistemas que permitan medir [IEC-61000-4-7] y cuantificar su efecto a corto, largo plazo y en forma estadística. Adecuados criterios de medición permitirán diferenciar ventajas y desventajas de diferentes tecnologías, su incidencia en la red y su mejor control.

Referencias:

[1] Thomas Ackermann, Wind Power in Power Systems, John Wiley and Sons, 2005.

[2] Remus Teodorescu, Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems, IEEE, Wiley, 2011

[3] D.P. Kothari, Sistemas Eléctricos de Potencia, Mc Graw Hill, 2008

[4] Prabha Kundur, Power System Stability and Control, Mc Graw-Hill, 1994

- [5] Brendan Fox, Wind Power Integration, Institution of Engineering and Technology, London, 2007
- [6] Lingfeng Wang, Wind Power Systems, Springer, 2010
- [7] Ana Estanqueiro, Assessment of Power Quality Characteristics of Wind Farm, IEEE, 2007
- [8] Burton, Wind Energy Handbook, Wiley, 2001
- [9] Sokatis Stravos, An Investigation of the emission of harmonics of wind Turbine, IEEE, 2007
- [10] Ihor Shchur, Impact of Nonsinusoidalness on Efficiency of Alternative Electricity Generation Systems, IEEE, 2010
- [11] Weihao Hu, Modeling and Control of Zero-Sequence Current in Multiple Grid Connected Converter, IEEE, 2008
- [12] V. Nostraud, Wind Turbine Engineering Design, Reinhold Company, 1987
- [13] J.F. Manwell, Wind Energy Explained, Theory, Design and Application, Wiley, 2002
- [14] IEC (International Electrotechnical Commission) (2001) Wind Turbine Generator Systems, Part 21: Measurement and Assessment of Power Quality Characteristics of Grid Connected Wind Turbines, IEC61400-21 (12.2001)
- [15] IEC (International Electrotechnical Commission) (2002) Electromagnetic Compatibility EMC, Parts 4–7: Testing and Measurement Techniques: General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation, for Power Supply Systems and Equipment Connected there to IEC 61000-3-6: (10.1996), EMC. Part 3: Limits. Section 6: Assessment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV Power Systems, IEC 61000-4-7 Ed.2.0 (8.2002), basic EMC publication (technical report), <http://www.iec.ch>.
- [16] EN (1995), Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems, EN 50160, www.cenelec.org.
- [17] BTM Consult, World Market update, March 2008, <http://www.btm.dk>
- [18] Order 661, Interconnection with Wind Energy, issued by Federal Energy Regulatory Commission (FERC) of United States, June 2005
- [19] Transmission Code 2007, Networks and System Rules of the German Transmission System Operators, August 2007, www.vdn-berlin.de.
- [20] Ordinance on System Services by Wind Energy Plants. Draft, 2009, www.erneuerbare-energien.de.
- [21] Requirements for Offshore Grid Connections in the E.ON Netz Network, 2008, www.eon-netz.com
- [22] Resolution P.O.12.3, Response Requirements against Voltage Dips in Wind Installations. Red Eléctrica, March 2006, www.ree.es
- [23] Annex of O.P. 12.2, Restricted to the Technical Requirements of Wind Power and Photovoltaic Facilities, October 2008, www.ree.es
- [24] Grid Code, version 3.1, elaborated by The EirGrid, April 2008.
- [25] M. H. Rashid, Power Electronics Handbook, 2nd Edition, Academic Press, 2007.
- [26] N. Mohan, Power Electronics, Converters, Applications and Design, John Wiley & Sons, 2003.
- [27] A. Barrado, A. Lázaro, Problemas de Electrónica de Potencia, Pearson Prentice Hall, 2007.
- [28] E. Ballester, R. Piqué, Electrónica de Potencia, Marcombo, Octubre 2011.
- [29] Bin Wu, Power Conversion and Control of Wind Energy Systems, IEEE, 2011.
- [30] A. Yazdani, R. Iravani, Voltage Sourced Converters in Power Systems, Wiley IEEE, 2010.
- [31] F. Bianchi, Wind Turbine Control Systems, Springer, 2007
- [32] I. Munteanu, Optimal Control of Wind Power Systems, Springer, 2008
- [33] K. Ogata, Ingeniería de Control Moderna, Pearson Educación, Madrid 2010
- [34] P. Moriarty, Wind Turbine Modeling Overview for Control Engineers, June 2009.

- [35] J.Laks, L. Pao, A. Wright, Control of Wind Turbines: Past, Present, and Future, University of Colorado, 2009.
- [36] A. Araujo, Análisis y Síntesis de redes lineales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Segunda Edición, 2009.
- [37] A. Liserre, M. Teodorescu, Grid Filter Design for a Multi-Megawatt Medium-Voltage Voltage Source Inverter, IEEE, 2011.
- [38] O. Anaya-Lara, N. Jenkins, Wind Energy Generation, Modeling and Control, Wiley, 2009.
- [39] R. De Doncker, D. Pulle, Advanced Electrical Drives, Analysis, Modeling, Control, Springer, 2011
- [40] P. Krause, Analysis of Electric Machinery and Drive Systems, Second Edition, IEEE, 2002.
- [41] R. F. Dias Filho, Análisis de Técnicas de Control de Convertidores Conectados a Redes Eléctricas, 2009.
- [42] Y. Liyong, Y. Peie, A Novel Control Strategy of Power Converter Used to Direct Driven Permanent Magnet Wind Power Generation System, IEEE, 2009
- [43] T. Lee, J. Li, An Active Damping Method for Interface Converters of Distributed Generation, IEEE, 2009.

Grado de Avance

Aunque no está directamente vinculado a la generación eólica, es importante el aporte de lo realizado a través del PID de más abajo, en donde el Mg. Ing. Ruben Bufanio estuvo como integrante de dicho grupo, y es útil para lo que se plantea en este trabajo:

Título: Estudio de Armónicos en Sistemas Eléctricos de la Región Comahue y análisis de medidas de remediación.

Informe Final.

Código: ENUTNCF1202

Programa: Energía

Director: Labriola, Carlos Víctor Manuel

Por otro lado aportan conocimiento general los PID que se están finalizando actualmente, en donde el MG. Ing. Ruben Bufanio participa de ambos y el Ing. Alejandro de Villafior del primero de los indicados más abajo

Título: Estudio de Controles de Paso de Pala para Generador Eólico de Baja Potencia

Código: UTN1899

Programa: Energía

Director: Ing. Hugo Garbuglia

Título: Medición de Recurso Eólico con Fines Energéticos

Código: UTN1894

Programa: Energía

Directora: Dra. Julia Contín

Objetivos de la investigación

Objetivo General:

Evaluar la calidad energética eléctrica de los aerogeneradores de potencia Tipo D (PMSG) [1], en fundamental el contenido armónico inyectado con el fin de mitigarlo.

Objetivos Específicos:

A) Proponer el algoritmo matemático para la modulación de los interruptores de potencia de los convertidores de energía que reduzca el contenido armónico inyectado a una carga o red eléctrica.

B) Describir una estrategia de control de los convertidores de potencia con el fin anterior.

C) Analizar, un aerogenerador de baja potencia, 50kW, con tecnología de conversión de la energía eólica (WECS) para generador sincrónico a imanes permanentes (PMSG) de polos no salientes, acoplamiento directo (Gear Less), de velocidad variable y paso de pala empleando una tecnología de conversión (back to back) en dos niveles, en modulación vectorial, en donde la barra de continua (DC) se respalde (o no) a través de un banco de baterías, con capacidad dependiente del estudio de la carga, y recurso eólico del sitio.

Descripción de la metodología

De acuerdo a objetivo general

Enfoque / diseño metodológico:

- 1) Situación de la generación eólica y planteo de la problemática del contenido armónico como factor a evaluar de la calidad energética eléctrica suministrada a la red por los aerogeneradores de potencia.
- 2) Relevamiento del inconveniente del contenido armónico, a través de las mediciones de campo propias o realizadas por un tercero.
- 3) Confirmación por modelado y simulación de punto anterior y recreación de otros escenarios
- 4) Propuesta de los algoritmos y estrategias de control.
- e) Modelado del sistema electroproductor con las propuestas anteriores.
- 5) Evaluación de las salidas, según diferentes escenarios de velocidad de viento y condición de la red eléctrica.
- 6) Comparación de resultados con el medio científico.
- 7) Estudio de la bibliografía obtenida.
- 8) Propuesta del algoritmo matemático en el campo transformado vectorial.
- 9) Evaluación de resultados a través de modelado y simulación.

Métodos técnicas e instrumentos:

Métodos: Estudio del problema a través del acervo bibliográfico, medición de variables que lo verifiquen, planteo de soluciones, evaluación de resultados.

Técnicas: Medición de variables eléctricas que relacionen al problema, modelado y simulación, verificación con desarrollo experimental.

Instrumentos: software de modelado, instrumentos de medición de distorsión armónica.

Unidades de Análisis:

- 1) Estado del arte.
- 2) Medidas de campo.
- 3) Verificación y evaluación por modelado y simulación.
- 4) Planteo de propuestas y su modelado.
- 5) Verificación y comparación.

Variables e indicadores:

Distorsión armónica total, Potencias, perfil de tensión, impedancia de la red eléctrica (potencia de corto circuito).

De acuerdo a objetivos específicos

OBJETIVO ESPECIFICO "A"

Enfoque / diseño metodológico:

- 1) Estudio de la bibliografía obtenida.
- 2) Propuesta del algoritmo matemático en el campo transformado vectorial.
- 3) Evaluación de resultados a través de modelado y simulación.

Métodos técnicas e instrumentos:

- 1) Análisis circuital, a través de las leyes que lo rigen, con generación y red ficticia en conversión de dos niveles.
- 2) Utilización de variable promediada y linealización.
- 3) Trabajo de las ecuaciones en el campo transformado.

Unidades de análisis:

- 1) Planteo de las ecuaciones diferenciales que rigen al sistema.
- 2) Modelado de la propuesta a través de diagramas en bloques.
- 3) Simulación de lo elaborado.

Variables e indicadores:

- 1) Distorsión armónica total
- 2) Perfil de tensión y corriente

Observaciones: El logro de este objetivo específico involucra haber desarrollado la técnica de control, por tal motiva se vincula directamente con el que sigue.

OBJETIVO ESPECIFICO "B"

Enfoque diseño / metodológico:

- 1) Estudio de la bibliografía obtenida.
- 2) Propuesta de la estrategia de control.
- 3) Evaluación de resultados a través de modelado y simulación.

Métodos, técnicas e instrumentos:

- 1) transformada de Laplace
- 2) Estrategia de control a través de variables de Estado
- 3) Sintonía controladores a través de técnica Ziegler Nichols u otras.

Unidades de análisis:

- 1) Estabilidad del sistema a lazo abierto
- 2) Estabilidad del sistema a lazo cerrado

Variables e indicadores:

- 1) Márgenes de fase [°] y ganancia [dB] del sistema a lazo abierto y cerrado.
- 2) Tiempos de establecimiento frente a perturbaciones en la generación y la carga.

OBJETIVO ESPECIFICO "C"

Enfoque diseño / metodológico:

- 1) Estudio de la bibliografía obtenida.
- 2) Modelado y simulación del sistema completo.
- 3) Análisis de desempeño en diferentes escenarios “críticos” de generación y condiciones de la red eléctrica.
- 4) comparación con los trabajos y bibliografías existentes.

Métodos, técnicas e instrumentos:

- 1) Aplicación de bloques o “tool box” predefinidos (que están fuera del enfoque de la investigación)
- 2) Utilización de red o carga “infinita”.
- 3) Trabajo en el campo transformado vectorial de dos variables.

Unidades de análisis:

- a) Trabajando en sistema aislado
- b) Trabajando conectado a la red eléctrica.

En ambos casos analizando los lineamientos que plantea la norma IEC-61400-21.

Variables e indicadores:

- 1) Distorsión armónica total (THD).
- 2) Perfil de tensión y corriente (Amplitud y frecuencia), reactivo.
- 3) Estabilidad del sistema (Tiempos de establecimiento).

Observaciones: Llegado a este punto se pueden sacar las conclusiones del caso, es decir si se ha cumplido con las hipótesis planteada y contribuido a remediar el problema.

12. Contribuciones del Proyecto

Contribuciones al avance científico, tecnológico, transferencia al medio

- En la penetración de la energía eólica: los requerimientos de los códigos de red, aunque diferentes de un país o región a otra, promueven una adecuación de la misma con reglas similares a la solicitada para generación convencional. Esto aumenta el desafío hacia la generación eólica y por lo tanto un desplazamiento a sistemas distribuidos con conversión bidireccionales como los que se desarrollarán en este trabajo es decir hacia los sistemas PMSG o WRSG [5], [6], [7].

- En sistemas de conversión de potencia en dos niveles: más sencillos de adoptar que los multiniveles [29], en lograr buenos resultados respecto a calidad de energía entregada a una carga o red y cumplir con las normas del sistema [14], [15], [16].
- A la modulación vectorial SVM: aunque más compleja, presenta mejores condiciones de adopción que las SPWM gracias a las técnicas de procesamiento digital actuales, lo cual ratifica la tendencia hacia su uso [29], [30] en niveles de potencia de conversión mayores a los 100kW.
- Al modelado y arreglo vectorial: con una modulación alternativa de los tiempos de permanencia de los estados de conmutación de los interruptores de potencia de los convertidores de potencia eléctrica.
- Existen dos enfoques amplios a través de los cuales se puede contribuir a la calidad de la energía eólica inyectada, uno referido al análisis del propio sistema electroproductor y el otro a la dinámica de su vinculación con la red eléctrica o carga [1]. Este trabajo se dedicará sobre el primero ya que pretende simplemente en mejorar la calidad en origen del flujo energético. Indudablemente su correcto funcionamiento está ligado directamente con la carga, pero la diversidad de esta y la dinámica de su condición [3], [4] hace necesario de otros estudios e investigaciones.

Contribuciones a la formación de Recursos Humanos

La energía eólica es hoy en día, en el ámbito mundial, una de las disciplinas que mayor cantidad de mano de obra está requiriendo. Aunque es de hacer notar, dicho recurso humano, deberá estar entrenado y calificado para la realización de la amplia cantidad de tareas que esta actividad requiere conocer. Este trabajo, humildemente, quiere aportar en tal sentido.

Se puede decir que casi todas las ingenierías aplican a este tipo de generación, como la Aeronáutica, Estructuras, Eléctrica y Electrónica, Ambiental, Industrial, Civil, Mecánica etc... y además todas aquellas ligadas al análisis del recurso eólico como la Matemática, Probabilidad y Estadística, Meteorología y Sistemas.

Investigaciones y desarrollos actuales en otras regiones indican que cada vez más recurso humano estará ligado a las energías renovables y fundamentalmente a la eólica por ser de entre estas la de mayor escala de producción de energía eléctrica.

Se estima a nivel mundial llegar antes del 2020 a 1TW (1000GW) de potencia instalada de energía eólica. La Argentina, con gran potencial eólico respecto a otras regiones del planeta donde esta generación es de vital importancia no ha llegado aún a los 500 MW de potencia instalada. Es decir que en este campo energético, hay mucho por hacer en nuestro país, con la ventaja frente a otras regiones que se tiene el recurso natural para lograrlo.

Políticas venideras y algunas de reciente concreción, como ser las referidas a la disminución de reservas de los combustibles fósiles, la dinámica de su precio, la elevada contaminación ambiental y cambio climático, hacen prever una prometedora necesidad de recurso humano en tan vital área energética.

Los objetivos planteados en este trabajo contribuyen al desarrollo conjunto de diferentes áreas de la ingeniería en un proyecto común de relevante importancia en el campo energético. Permitiendo no solo la transferencia horizontal y vertical dentro de una rama de la ingeniería sino la interrelación de ellas. Por ejemplo, cabe aclarar, todas las carreras dentro de la Facultad Regional Haedo y del Neuquén se verán vinculadas. Se necesitará, si se analiza el trabajo planteado, conocimientos aeronáuticos, mecánicos, electrónicos e industriales, por citar algunas disciplinas, todas estas abarcadas dentro de las Regionales.

Contribuirá a la tarea en equipo. Aspecto fundamental para la buena consecución de cualquier proyecto.

Dará apoyo a la mejora de los programas analíticos de cursos referidos a las energías alternativas, electrónica de potencia, máquinas eléctricas, sistemas de control, etc. Contribuyendo en su contenido y a las nuevas capacidades actuales que se buscan o requieren de los egresados de ingeniería.

13. Cronograma de Actividades

Año	Actividad	Inicio	Duración	Fin
1	Revisión Bibliográfica	01/01/2016	12 meses	31/12/2016

1	Evaluación de la calidad energética eólica en particular el factor referido al contenido armónico	01/03/2016	5 meses	31/07/2016
1	Estudio de los algoritmos matemáticos de modulación y control en G. Eólica	01/06/2016	7 meses	31/12/2016
1	Desarrollo de la propuesta del algoritmo de modulación y control a utilizar	01/07/2016	6 meses	31/12/2016
1	Modelado y simulación de los algoritmos planteados	01/10/2016	3 meses	31/12/2016
1	Difusión y evaluación del método propuesto	01/11/2016	2 meses	31/12/2016
2	Revisión Bibliográfica	01/01/2017	12 meses	31/12/2017
2	Aplicación, a través de modelado, de o los algoritmos propuestos a un generador eólico PMSG	01/01/2017	8 meses	31/08/2017
2	Modelado y simulación según los aspectos "críticos" de generación y carga (red eléctrica)	01/05/2017	5 meses	30/09/2017
2	Ajustes de modelo y arreglo propuesto	01/08/2017	3 meses	31/10/2017
2	Análisis de los resultados, comparación con los avances científicos existentes	01/09/2017	4 meses	31/12/2017
2	Análisis y difusión de los logros obtenidos	01/10/2017	3 meses	31/12/2017

14. Conexión del grupo de Trabajo con otros grupos de investigación en los últimos cinco años

Grupo Vinc.	Apellido	Nombre	Cargo	Institución	Ciudad	Objetivos	Descripción
Laboratorio de aeronáutica (Túnel de Viento)	Aguirre	Miguel	INVESTIGADOR FORMADO	Regional HAEDO	Buenos Aires	Conocer resultados de los métodos de control de paso de pala aplicados en los aerogeneradores	En el año 2015 y se continúa en el 2016 se sigue trabajando en el estudio de las cargas aerodinámicas a que son expuestos los aerogeneradores de eje horizontal según el control de potencia aerodinámico utilizado. La contribución del personal del túnel de viento de la Regional Haedo ha sido muy valorable

15. Presupuesto

Total Estimado del Proyecto: \$ 246800,00

15.1. Recursos Humanos - Inciso 1 e Inciso 5

Primer Año

Becarios Inciso 5	Cantidad	Pesos	Origen del financiamiento
1. Becario Alumno Fac.Reg.	4	\$ 20000,00	UTN- SCTyP
2. Becario Alumno UTN-SAE	0	\$ 0,00	-
3. Becario Alumno UTN-SCTyP	0	\$ 0,00	-
4. Becario BINID	0	\$ 0,00	-
5. Becario Posgrado-Doctoral en el país	1	\$ 10000,00	UTN- SCTyP
6. Becario Posgrado Doctoral en el extranjero	0	\$ 0,00	-
7. Becario Posgrado - Especialización	0	\$ 0,00	-
8. Becario Posgrado - Maestría en el país	0	\$ 0,00	-
9. Becario Posgrado - Maestría en el extranjero	0	\$ 0,00	-

Docentes Investigadores y Otros - Inciso 1	Cantidad	Pesos
1.Administrativo	0	\$ 0,00
2.CoDirector	0	\$ 0,00
3.Director	1	\$ 15000,00
4.Investigador de apoyo	3	\$ 30000,00
5.Investigador Formado	0	\$ 0,00
6.Investigador Tesista	0	\$ 0,00
7.Otras	0	\$ 0,00
8.Técnico de Apoyo	0	\$ 0,00

Totales	Inciso 5	Inciso 1	Total
Primer Año	\$ 30000,00	\$ 45000,00	\$ 75000,00

Segundo Año

Becarios Inciso 5	Cantidad	Pesos	Origen del financiamiento	
1. Becario Alumno Fac.Reg.	4	\$ 20000,00	UTN- SCTyP	Facultad Regional
2. Becario Alumno UTN-SAE	0	\$ 0,00	-	-
3. Becario Alumno UTN-SCTyP	0	\$ 0,00	-	-
4. Becario BINID	0	\$ 0,00	-	-
5. Becario Posgrado-Doctoral en el país	1	\$ 10000,00	UTN- SCTyP	Facultad Regional
6. Becario Posgrado Doctoral en el extranjero	0	\$ 0,00	-	-
7. Becario Posgrado - Especialización	0	\$ 0,00	-	-
8. Becario Posgrado - Maestría en el país	0	\$ 0,00	-	-
9. Becario Posgrado - Maestría en el extranjero	0	\$ 0,00	-	-

Docentes Investigadores y Otros - Inciso 1	Cantidad	Pesos
1.Administrativo	0	\$ 0,00
2.CoDirector	0	\$ 0,00
3.Director	1	\$ 15000,00
4.Investigador de apoyo	3	\$ 30000,00
5.Investigador Formado	0	\$ 0,00
6.Investigador Tesista	0	\$ 0,00
7.Otras	0	\$ 0,00
8.Técnico de Apoyo	0	\$ 0,00

Totales	Inciso 5	Inciso 1	Total
Segundo Año	\$ 30000,00	\$ 45000,00	\$ 75000,00

TOTAL GENERAL	Inciso 5	Inciso 1	Total General
Todo el Proyecto	\$ 60000,00	\$ 90000,00	\$ 150000,00

15.2 Bienes de consumo - Inciso 2

Año del Proyecto	Financiación Anual	Solicitado a
1	\$ 3.000,00	UTN - SCTyP
2	\$ 3.000,00	UTN - SCTyP
Total en Bienes de Consumo		\$ 6.000,00

15.3 Servicios no personales - Inciso 3

Año	Descripción	Monto	Solicitado a
1	Viáticos para mediciones de campo de las variables eléctricas	\$ 10.000,00	UTN - SCTyP
1	Viáticos para difusión de resultados en congresos	\$ 10.000,00	UTN - SCTyP
2	Viáticos para mediciones de campo de las variables eléctricas	\$ 10.000,00	UTN - SCTyP
2	Viáticos para difusión de resultados en congresos	\$ 10.000,00	UTN - SCTyP
Total en Servicios no personales		\$ 40.000,00	

15.4 Equipos - Inciso 4.3 - Disponible y/o necesario

Año	Disp/Nec	Origen	Descripción	Modelo	Otras Espec.	Cantidad.	Monto Unitario	Solicitado a
1	Disponible	Grupo GESE FRH	Medidor de Calidad de Energía Eléctrica, 4 tensiones, 4 corrientes	FLUKE 435	-	1,00	\$ 0,00	Facultad Regional
1	Disponible	Laboratorio de Electrónica	Medidor de calidad de energía eléctrica monofásico	Fluke 43B	-	1,00	\$ 0,00	Facultad Regional
1	Disponible	Laboratorio de Electrónica	Osciloscopio digital	-	-	1,00	\$ 0,00	Facultad Regional
1	Disponible	Laboratorio de electrónica	Multímetros digitales	-	-	1,00	\$ 0,00	Facultad Regional
1	Disponible	Grupo GESE	Computador Personal	-	-	1,00	\$ 0,00	Facultad Regional
1	Necesario	-	PC PORTABLE	HP I7 8GB memoria	-	1,00	\$ 25.000,00	UTN - SCTyP

1	Necesario	-	Equipamiento electrónico de medidas de corriente	-	-	2,00	7.000,00	\$UTN - SCTyP
Total en Equipos						\$ 39.000,00		

15.5 Bibliografía de colección - Inciso 4.5 - Disponible y/o necesario

Año	Disp/Nec	Origen	Descripción	Modelo	Otras Espc.	Cantidad	Monto Unitario	Solicitado a
1	Necesario		BURTON et al_WIND ENERGY HANDBOOK_Wiley 2001			1,00	\$ 1.200,00	UTN - SCTyP
1	Necesario		ACKERMANN, Editor_WIND POWER in POWER SYSTEMS_Wiley 2005			1,00	\$ 1.200,00	UTN - SCTyP
1	Necesario		BIANCHI et al_WIND TURBINE CONTROL SYSTEMS - , Modelling and Gain Scheduling Design_2007			1,00	\$ 1.000,00	UTN - SCTyP
1	Necesario		MANWELL et al_WIND ENERGY EXPLAINED - Theory, Design And Application_Wiley 2002			1,00	\$ 1.000,00	UTN - SCTyP
1	Necesario		MUNTEANU et al_OPTIMAL CONTROL of WIND ENERGY SYSTEMS - a Global Approach_Springer, 2008			1,00	\$ 900,00	UTN - SCTyP
1	Necesario		REMUS TEODORESCU, GRID CONVERTERS for PHOTOVOLTAIC and WIND POWER SYSTEMS, 2011			1,00	\$ 1.200,00	UTN - SCTyP
1	Necesario		Bin Wu, Power Convesion and Control of Wind Energy Systems, IEEE, 2011.			1,00	\$ 1.200,00	UTN - SCTyP
1	Necesario		R. De Doncker, D. Pulle, Advanced Electrical Drives, Analysis, Modeling, Control, Springer, 201			1,00	\$ 1.100,00	UTN - SCTyP
1	Necesario		Brendan Fox, Wind Power Integration, Institution of Engineering and Technology, London, 2007			1,00	\$ 1.500,00	UTN - SCTyP
1	Necesario		A. Yazdani, R. Iravani, Voltage Sourced Converters in Power Systems, Wiley IEEE, 2010			1,00	\$ 1.500,00	UTN - SCTyP
Total en Bibliografía						\$ 11.800,00		

15.6 Software - Disponible y/o necesario

Año	Disp/Nec	Origen	Descripción	Modelo	Otras Espc.	Cantidad	Monto Unitario	Solicitado a
1	Disponible	-	Matlab R2010a	-	-	1,00	\$ 0,00	UTN - SCTyP
Total en Software						\$ 0,00		

16. Co-Financiamiento

Año	RR.HH.	Bienes de Consumo	Equipamiento	Servicios no personales	Bibliografía	Software	Total
1	\$75.000,00	\$3.000,00	\$39.000,00	\$20.000,00	\$11.800,00	\$0,00	\$148.800,00
2	\$75.000,00	\$3.000,00	\$0,00	\$20.000,00	\$0,00	\$0,00	\$98.000,00
Total del Proyecto	\$150.000,00	\$6.000,00	\$39.000,00	\$40.000,00	\$11.800,00	\$0,00	\$246.800,00

Financiamiento de la Universidad

Universidad Tecnológica Nacional - SCyT	\$ 246.800,00
Facultad Regional	\$ 0,00

Financiamiento de Terceros

Organismos públicos nacionales (CONICET, Agencia, INTI, CONEA, etc.)	\$ 0,00
Organismos / Empresas Internacionales / Extranjeros	\$ 0,00
Entidades privadas nacionales (Empresas, Fundaciones, etc.)	\$ 0,00
Otros	\$ 0,00
Total	\$ 246.800,00

Avales de aprobación, Financiamiento y Otros

	Orden	Nombre de archivo	Tamaño
Descargar	1	AVALBUFANIO.pdf	96835
Descargar	2	Proyectopropuestayoptimizacion001.jpg	633690
Descargar	3	CVRuben_Bufanio.pdf	401141
Descargar	4	CV_deVillaflor_Alejandro.pdf	308910
Descargar	5	02-CVJUANPABLORUSCIO.pdf	298123
Descargar	6	CV-GonzalezJuanManuel.pdf	167621

Descargar	7	CVNahuelVidalTorres.pdf	75995
Descargar	8	CV_domecq.pdf	72164
Descargar	9	CV_MartinSaavedra.pdf	124475
Descargar	10	CV_SergioBerton.pdf	121800
Descargar	11	CVar_Marasco.pdf	17511

Currículums (Currículums de los integrantes cargados en el sistema)