

ENTRENAMIENTO AVANZADO: NIVEL I

Modelación y Simulación de Sistemas de Conversión de Energía del Viento: Aspectos Teóricos

Los modernos sistemas de conversión de energía del viento, se basan en su mayoría de aerogeneradores con turbinas de viento de eje horizontal, sin embargo, existe una variedad de tecnologías que se encuentran comercialmente disponibles y otras tantas que aun están bajo desarrollo. Cada una de estas tecnologías posee multitud de ventajas y desventajas desde el punto de vista de control y operación, pero en especial el comportamiento dinámico de las mismas es sumamente diferente al de los generadores sincrónicos empleados en las unidades tradicionales de generación. En tal sentido, es necesario un entendimiento claro de los modelos asociados al comportamiento dinámico de los aerogeneradores, comprender las fortalezas y debilidades de los mismos, al tiempo de comprender los fenómenos electromecánicos inmersos durante perturbaciones tanto en el sistema de potencia como en la fuente primera, el viento. Este curso provee los detalles teóricos necesarios para la modelación y simulación en régimen dinámico de las tecnologías comercialmente disponible de aerogeneradores. Estos conocimientos son necesarios al emprender los estudios de impacto de integración de estas fuentes de electricidad, en los sistemas de potencia, y al ser integrada en los sistemas eléctricos de potencia, donde la simulación es la herramienta más importante de cálculo. Experiencias prácticas en la modelación y simulación del comportamiento de sistemas eléctricos de potencia ante la integración de diferentes tipos de aerogeneradores son presentados; casos de estudio son mostrados usando DIGSILENT® PowerFactory™ y MATLAB® Simulink™.

Dirigido a: Miembros de empresas del sector eléctrico, miembros de las operadoras del sistema, personal de mantenimiento, productores y desarrolladores de proyectos de integración, consultores e investigadores en el área eólica.

Facilitador: Francisco M. Gonzalez-Longatt PhD,
The University of Manchester, Inglaterra

Duración: Ocho horas académicas (08 h)

Lugar: Caracas, Venezuela

Fecha: 08 Octubre 2010

Costos: El instructor considera importantísimo la interacción con los participantes por lo que limita el cupo de participantes. Información: colica@usb.ve

Pre-requisitos: El participante debe tener un mínimo conocimiento de la modelación y simulación del comportamiento dinámico de sistemas de potencia considerando unidades de generación tradicionales, y paquetes de simulación computarizados de dinámica de sistemas eléctricos de potencia.

Método de instrucción:

- Clase magistral con interacción bidireccional con los participantes.
- Presentaciones basadas en documentos digitales originales del facilitador.
- Demostraciones prácticas empleando software para modelación y simulación.

I. Procesos Dinámicos en Sistemas de Potencia

- Escalas de tiempo y frecuencias características de fenómenos dinámicos en sistemas eléctricos de potencia.
- Modelo de estado de un sistemas de potencia: Modelo de ecuaciones diferenciales algebraico: *Differential-Algebraic-Equation* (DAE) model
- Simulación de la dinámica de sistemas eléctricos de potencia
- Diferentes tipos de simulación y requerimientos de precisión y exactitud.
- Trabajo de simulación y modelación requerida.

II. Modelación dinámica de aerogeneradores en estudios de sistemas de potencia

- Introducción a la modelación de aerogeneradores
- Consideraciones básicas respecto al modelado y simulación: Suposiciones
- Modelos de orden reducidos para aerogeneradores
 - Modelo de bloques de turbinas de viento
 - Turbina de viento a velocidad constante
 - Turbina de viento con generador de inducción doblemente alimentado: *Double fed induction generator*.
 - Turbina de viento *direct drive*: generador sincrónico de imanes permanentes.
 - Modelo de la velocidad del viento
 - Modelo para escalas de tiempo cortas (*short-term*): espectros de Kaimal y von Karman.
 - Modelos para escala de tiempo media-larga (*medium-long term*): Modelo de Van der Hoven
 - Modelo del rotor de la turbina
 - Introducción a los sistemas aerodinámicos
 - Vista general a la modelación aerodinámica
 - Perfiles, coeficiente de arrastre y sustentación (C_d/C_l)
 - Descripción básica del rotor de la turbina: Curvas de coeficiente de potencia (C_p) y Trust (C_T)
 - Diferentes tipos de representación de rotor de la turbina:
 - Potencia constante
 - Aproximaciones mediante funciones y polinomios:
 - Modelo de Hier
 - Modelo de turbina a velocidad constante
 - Modelo de turbina a velocidad variable
 - Representación por medio de tablas.
 - Método del momento para elemento de pala y código aero-elástico.
 - Modelo del sistema mecánico
 - Modelo del eje: flexibilidad del eje
 - Modeló de la caja multiplicadora (*gearbox*)
 - Modelo del generador eléctrico
 - Generador de inducción con rotor de jaula de ardilla
 - Generador de inducción doblemente alimentado
 - Generador sincrónico con rotor de imanes permanentes
 - Sistemas de control y protección
 - Control de ángulo de paso

- Modelo del servo-motor
- Sistema de protecciones y relays

III. Modelo de orden reducido para Aerogeneradores

- Modelo de Aerogenerador con turbina de viento a velocidad constante
 - Estructura del modelo y consideraciones
 - Modelo del rotor de la turbina a velocidad constante
 - Modelo del generador de inducción con rotor de jaula de ardilla
 - Modelo del sistema de protección.
 -
- Modelo de aerogenerador empleando generador de inducción doblemente alimentado
 - Estructura del modelo y consideraciones
 - Modelo del rotor de la turbina a velocidad variable
 - Modelo del generador de inducción con rotor bobinado
 - Modelo del convertidor
 - Modelo del sistema de protección
 - Modelo del control de velocidad
 - Modelo del control de ángulo de paso
 - Modelo del servo
 - Modelo del control de voltaje en terminales
- Model del Aerogenerador *Direct Drive*
 - Estructura del modelo y consideraciones
 - Modelo del rotor de la turbina a velocidad variable
 - Modelo del generador de imanes permanentes
 - Modelo detallado
 - Modelo simplificado
 - Modelo del controlador de Voltaje

IV. Experiencias prácticas en modelación y simulación

- Paquetes de simulación dinámica de sistemas eléctricos de potencia: Principales características
 - DIgSILENT® PowerFactory™
 - MATLAB® Simulink™
- Comportamiento dinámico de las diferentes tecnologías de turbinas de viento ante series de tiempo de velocidad del viento.
- Comportamiento dinámico de las diferentes tecnologías de turbinas de viento ante eventos de cortocircuitos.
- Desempeño de granjas de viento durante condiciones dinámica de viento.



Francisco M. Gonzalez-Longatt. Posee los títulos de ingeniero electricista del Instituto Universitario Politécnico de la Fuerza Armada Nacional (1994), Magister en Gerencia mención administración de empresas de la Universidad Bicentaria de Aragua (1999), Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Central de Venezuela (2008), y además un Postdoctorado en The University of Manchester (2009). Desde 1995 fue profesor a dedicación exclusiva, asistente, en la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada (UNEFA), dictando asignaturas a nivel de pre y post-grado en varias universidades Venezolanas. Fue Jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UNEFA. Actualmente es investigador asociado en el Electrical Energy and Power Systems (EEPS) de la School of Electrical & Electronic Engineering en The University of Manchester, Reino Unido. Es presidente del Grupo de Investigaciones Avanzadas de Energía Eléctrica, GiaELEC, y vicepresidente de la Asociación Venezolana de Energía Eólica, Aveol. Autor de numerosos artículos publicados en eventos a nivel nacional e internacional, entre los que se muestran algunos de los presentados a en eventos a nivel mundial exclusivamente de generación eólica:

- “Dynamical Model of Variable Speed WECS: Attend of Simplification” publicado en el *Fifth International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Wind Farm*, Glasgow, Escocia, 2005.
- “Wind Energy Resource Evaluation on Venezuela: Part I”, publicado en el *Nordic Wind Power Conference en Espoo, Finland en Mayo de 2006*. Siendo este artículo de especial interés a nivel mundial por ser un primer diagnóstico del uso potencia de la energía del viento en Venezuela.
- “Effects Over Distribution Feeder of High Penetration Level of WECS Based on Induction Generators” y “Preliminary Evaluation of Wind Energy Utilization on Margarita Island, Venezuela”, presentados en el *Sixth International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Wind Farm, Delf, Netherland*, Octubre de 2006.
- "Dynamic Behavior of Constant Speed WT based on Induction Generator Directly connect to Grid". 6th World Wind Energy Conference and Exhibition (WVEC 2007). October 2-4, 2007. Mar del Plata Argentina.

De igual modo el instructor tiene experiencia de campo en granjas de viento a nivel mundial, en Mayo de 2005, Parque Eólico de Hagshaw Hill Wind Farm (26 x 600 kW), ubicada a 2 millas de Douglas en Lanarkshire, Scotland, United Kindom. Y en 2007 OffShore windpark Egmond aan Zee (36 x3 MW) Egmond Aan Zee, Holanda. En tal sentido, el facilitador dispone de experiencia real de campo, junto con material original de vivencias practicas que estarán disponibles en le tutorial.

Por último el facilitador es autor de textos de educación superior en el área de análisis de sistemas de potencia, más de una decena de artículos en revistas y congresos a nivel internacional relacionados con fuentes alternas de energía y generación distribuida. Es Senior Member Institute of Electrical and Electronic Engineers (EE.UU) y es miembro del Institute of Electrical Engineers (IEE, United Kindom), además pertenece a varias sociedades del IEEE entre ellas la Power Engineering Society del IEEE.