ENERO 2008 • GIAELEC/RPT2008-03

Aspectos de Regulación en la Integración de Generación Distribuida

Responsables: Prof. Francisco M. González-Longatt

Supervisor: Prof. Francisco M. González-Longatt

Línea de Investigación:
Fuentes Alternas de Energía y Generación Distribuida

GIAELEC
Grupo de Investigaciones Avanzadas en Energía Eléctrica
http:www.giaelec.org

Índice de Contenido

Índice de Contenido ii
Introducción 3
Vista General a los Aspectos de Regulación 3
Aspectos a Considerar en la Regulación 4
  Estándar de Interconexión 4
  Emplazamiento, Certificación, y Permiso 5
  Acceso, Medición y Despacho 5
Requerimientos de Interconexión de la GD 6
  Consideraciones Basicas del IEEE P1547 6
Conclusiones 8
Referencias Documentales 9
Abreviaturas 10

Reporte

Documento para ser empleado solo con fines académicos y/o de investigación. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento, bajo cualquier tipo de formato.
Derechos de autor. Copyright © 2008.

Introducción

En este reporte de investigación se provee una breve discusión de aspectos relacionados a las regulaciones referentes a la integración de las fuentes de generación distribuida en los sistemas de potencia. Este reporte comienza con una corta descripción de los aspectos de interés de las regulaciones relevantes de interconexión; con un énfasis histórico y el caso Europeo.

Luego brevemente son abordados los principales aspectos a considerar en cuanto a regulación son: Estándar de Interconexión, Emplazamiento, Certificación y Permiso, Acceso, Medición y Despacho. Cada uno de estos aspectos es tratado de manera resumida y precisa.

Finalmente se presentan los requerimientos de Interconexión de la GD, basados fundamentalmente en el estándar IEEE P1547 [1].

Vista General a los Aspectos de Regulación

Los estándar técnicos que son adoptados por la industria frecuentemente son originados desde estándar desarrollados por cuerpos internacionales como el IEEE o IEC. Esos estándares, sin embargo son voluntarios a menos que una organización específica o legislativa requiera la adopción de esos estándares. Por ello, que un gran numero de estándares nacionales, requerimientos regionales, guías, recomendaciones o instrucciones para la conexión de generación distribuida están disponibles internacionalmente.

Al final de la década de 1980, las compañías de distribución de energía eléctrica en Europa, se habían enfrentado con el hecho de pequeños turbinas de viento y pequeñas granjas de viento, aerogeneradores que querian ser conectadas a las redes de distribución. En esta época, el estándar IEEE 1001 [2] *IEEE guide for Interfacing Dispersed Storage amd Generation Facilities with Electrical Utility Systems*, fue la única guía que parcialmente cubría la conexión de sistemas de generación a redes de distribución. Este estándar incluía aspectos básicos de calidad de servicio, protección de equipos, y seguridad. El estándar expiró y de tal modo en 1998, el *IEEE Working Group SCCC221 P1547* comenzó a trabajar en recomendaciones generales para la interconexión de la generación distribuida, el *IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System*, [1]. Cuatro años después, en septiembre de 2002, el grupo de trabajo finalmente completo el desarrollo de un nuevo estándar.

Regresando a finales de 1980, las empresas de distribución en Europa comenzaron a desarrollar sus propios reglas y estándar de interconexión. En el comienzo, cada compañía propietaria de red que enfrentaba el incremento de solicitudes de interconexión para granjas de viento desarrollo sus propias reglas. Durante la década de 1990, las interconexiones fueron armonizadas a nivel nacional (por ejemplo, en Alemania o Dinamarca). Este proceso de armonización frecuentemente involucraba asociaciones nacionales de red, junto con asociaciones nacionales de energía del viento, los cuales frecuentemente representaban el interés de los desarrolladores de granjas de viento, y los propietarios. En Europa, las organizaciones gubernamentales están fuertemente involucradas en las definiciones de las guías de interconexión. En otras regiones del mundo, esto puede ser diferente, como por ejemplo el caso de EE.UU en Texas y California, donde las autoridades de regulación fueron involucradas durante la definición de las guías de interconexión de la generación distribuida.

En el caso de Europa, la armonización de las reglas nacionales no ha terminado el desarrollo de tales reglas. Las reglas de interconexión nacional fueron continuamente reformuladas debido al incremento en la penetración y el rápido cambio en las tecnologías de las turbinas de viento (por ejemplo, la capacidad nominal se ha incrementado rápidamente desde 200 kW en 1990 hasta turbinas de viento de 3 a 4 MW a comienzo de 2004). Además, las nuevas tecnologías introducidas tales como los generadores doblemente alimentados (*DFIG: Double Fed Induction Generators*). Hasta entonces, tecnologías de generación que empleaban DFIG con potencia nominal hasta 3 MW y combinados en una sola planta de generación (granjas de viento), fueron obviadas por la industria.

No solamente se ha incrementado el tamaño de las turbinas de viento nuevas, sino que se ha incrementado el tamaño de las granjas de viento, lo cual ha resultado en solicitudes de interconexión a nivel de transmisión. De tal modo, que las reglas de interconexión para redes de transmisión fue necesario.

Desafortunadamente, los continuos cambios en las reglas y regulaciones del mercado eléctrico hacen que realizar una comparación y evaluación de las ya muy complejas reglas de interconexión es muy difícil, y es muy limitado en la literatura.

Una comparación puede ser útil debido a que:

- Las reglas de interconexión son frecuentemente una fuente de controversias entre los desarrolladores de granjas de viento y los operadores, de tal modo que la comparación y análisis

Documento para ser empleado solo con fines académicos y/o de investigación. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento, bajo cualquier tipo de formato.
Derechos de autor. Copyright © 2008.

podría contribuir a reducir tales controversias (en algunos países, los gobiernos han decidido resolver tales controversias por el ajuste de comités clarificadores que ayudan a resolver tales controversias entre las compañías de redes y los desarrolladores de granjas de viento).
- Esto podría proveer y un mejor entendimiento de los aspectos relevantes para aquellos países, regiones o empresas que se mantienen en el proceso de desarrollo de reglas de interconexión para granjas de viento. Esto podría ayudar a armonizar las reglas de interconexión en un contexto global.
- Para cumplir con los nuevos requerimientos de interconexión es un reto de los fabricantes de granjas de viento. Nuevos equipos y estrategias de control han sido desarrolladas. La comparación de los requerimientos de conexión en diferentes países daría a los fabricantes de turbinas de viento una vista general de las reglas existentes.
- Un entendimiento de las diferencias entre las reglas nacionales contribuiría a una armonización de las reglas de interconexión en Europa e incluso más allá.

La regulación aplicada a las granjas de viento son agrupadas de acuerdo al área de aplicación en:
- Granjas de viento o turbinas de viento conectadas a redes con voltajes menores a 110 kV
- Granjas de viento o turbinas de viento conectadas a redes con voltaje por debajo de 110 kV (por ejemplo red de E.ON con voltajes menores a 60 kV).
- Todas las granjas de viento o turbinas de viento, indistintamente del nivel de voltaje

Adicionalmente es importante mencionar que las reglas de interconexión, nacional, regional y de empresas en Europa, frecuentemente incluyen referencias a otros estándares (por ejemplo, estándares de calidad de servicio). Los más comunes que son referenciados en los estándares de interconexión son:
- IEC 61400-21: *Measurement and Assessment of Power Quality Characteristics of Grid Connected Wind Turbines*. [3]
- IEEE 519, *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in electric Power Systems*. [4]

Aspectos a Considerar en la Regulación

Las GD ofrece algunas ventajas que los reguladores pueden aprovechar. La GD provee una oportunidad para ahorrar dinero debido a los más bajos costos de producción de energía, la reducción en la inversión de sistemas de transmisión y distribución, mejora en la confiabilidad del sistema, mejora en la confiabilidad para un consumidor en particular, o una combinación de estos factores. La GD provee una oportunidad de reducir la contaminación dependiendo de la tecnología empleada y la aplicación. La GD provee a los consumidores más opciones para cubrir sus necesidades específicas, tales como incluir la previsión de calidad de servicios en cargas sensitivas.

Sin embargo, muy pocas regulaciones explicitas existen que permitan la aplicación de la GD. Actualmente, en la gran mayoría de los países, las instalaciones de GD debe tan se cumplir con las regulaciones aplicables a unidades en plantas de generación grandes y centralizadas o cumplir con regulaciones diseñadas para facilitar la conservación de energía a través de energía renovable o cogeneración. La GD se transforma entonces en un interés principal de consumidores en ambientes desreglados.

Los consumidores (fabricantes, proveedores de energía o consumidores de energía) desean que a corto plazo un número grande de aspectos regulatorios asociados a la GD sean resueltos. Si se efectúa esto, podría incrementarse la habilidad de planificar, instalar y operar los equipos de GD.

Los principales aspectos a considerar en cuanto a regulación son:
- Estándar de Interconexión.
- Emplazamiento, Certificación y Permiso.
- Acceso, Medición y Despacho

Estándar de Interconexión

El establecer estándares de interconexión es imperativo para el diseño de la tecnología y la producción en masa de las unidades de GD para una reducción de costos efectiva. Los aspectos del consumidor incluyen: (a) los estándares técnicos de interconexión que deberían ser adoptados, (b) permitir una pre-certificación de los equipos de GD usando pruebas tipos a los productos, (c) permitir el análisis de ingeniería de la confiabilidad de los sistemas de transmisión y distribución y la seguridad necesaria para cada proyecto de GD, (d) los cambios para ajustar la interconexión y usar el sistema de transmisión, y (e) la aplicación y uso de guías de requerimientos.

Las formas de aplicación actuales y los procesos para interconexión son largos y se hacer estos es relativamente costosos para productores de potencia a pequeña, en particular por los costos y retraso de

Documento para ser empleado solo con fines académicos y/o de investigación. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento, bajo cualquier tipo de formato. Derechos de autor. Copyright © 2008.

tiempo. Actualmente, las certificaciones de productos y las pruebas tipos no son aceptables bajo la mayoría de las reglas públicas.

Se lograran estas reglas se podría permitir a una unidad de generación particular de GD ser inspeccionado asumiendo bajo características técnicas uniformes para el generador, en vez de que requerir la revisión caso por caso de la instalación especifica para cada unidad. El costo de revisión de cada instalación de GD puede hacer que la opción de GD no sea competitiva.

Para permitir el uso de emergencia o de *peak shaving* de generadores de respaldo, requiere tanto de una regulación de interconexión más simple, además de cambios en la regulación para prevenir que generadores de respaldo sean conectados a la red debido a aspectos de seguridad o confiabilidad.

Hay una serie de aspectos técnicos aun no resueltos que están más allá de los aspectos de interconexión. Por ejemplo, luego de completar la interconexión, el despacho de la unidad de GD requiere tanto de sistema de control en el generador y un sistema de comunicación que puede inicializar el arranque de la unidad de GD en tiempo real. El control puede ser bajo los auspicios ya sea del consumidor, compañías de distribución (Retailco), compañías de transmisión y distribución (*DISCO Distribution and Transmission Company*), o los operadores independientes del sistema (*ISO: Independient System Operator*), o de arreglos contractuales.

Muy pocas regulaciones explicitas existen que permitan la aplicación de GD. Actualmente las instalaciones de GD deben ya ser cumplir con las regulaciones aplicables a las grandes unidades de generación centralizadas o cumplir con regulaciones diseñadas para instalaciones de conservación de energía a través de energía renovable o cogeneración. La GD así se ha transformado en un interés del cliente principalmente en ambientes desregulados.

Emplazamiento, Certificación, y Permiso

Las variables reguladas cuando se emplaza una planta de generación de cualquier tamaño incluyen calidad del aire, suministro de combustible, ruido y seguridad. Estos mismos aspectos afectan la instalación de cada unidad de GD. Sin embargo, las políticas gubernamentales que específicamente tratan con la GD como una posibilidad para cumplir con las necesidades de energía son limitadas en la mayoría de los casos. En muchos casos, la GD no forma parte de los planes de infraestructura energética a largo plazo. Un retardo en los datos de desempeño técnico de las GD y la inexistencia del proceso de pre-certificación para equipos hace lento las revisiones regulatorias. Todos estos factores tomados juntos, crean un clima incierto para GD cuando se proponen como un desarrollo.

Los dos principales aspectos del emplazamiento, certificación y permiso que han emergido son: (a) como lograr los requerimientos de múltiples jurisdicciones locales y permisos de agencias diferentes, y (b) como se pueden agregar los efectos de localizar múltiples unidades en un área geográfica común.

Acceso, Medición y Despacho

Los aspectos de acceso, medición y despacho determinan si hay que permitir a la GD el acceso a la red, y si es así, como medir y pagar por el acceso. La garantía de acceso no es incluida en todas las normativas, y los costos también son un punto de un buen debate aun en la actualidad.

Los instaladores de GD frecuentemente sienten que pagan mucho mientras que las DISCOS sienten que sus costos no son cubiertos. A la fecha, aun se mantiene la discusión en estos aspectos. Una discusión m profunda se logra en el hecho de establecer el beneficio de las partes pagan y el costo incurrido. Debido a que los consumidores de DG usan el sistema de transmisión y distribución de una nueva forma, siendo conectada a la red ya sea para suministrar potencia de respaldo o suplementaria, nuevos métodos de estimar los costos de responsabilidad se hacen necesarios para ajustarse al nuevo ambiente. Los cargos que se efectúan a las DISCO cubre: (a) los costos de transmisión y distribución, (b) confiabilidad del sistema, y (c) por ingeniería de estudios de emplazamiento. Típicos pagos consideran que cubren costos que incluyen:

- *Cargos por demanda en espera* (*standby*) que cubre el servicio de respaldo para salidas no programadas, mantenimiento del servicio en salidas programadas, y servicios suplementarios donde la salida de la GD no cumple con las necesidades del consumidor de GD,
- *Cargos por salidas o desconexiones* que cubre los costos del uso no continuo del sistema de la red pero emplea para propósitos de respaldo.
- Gastos varados y gastos de transición de competencia (CTC: *competition transition charges*) que cubre el desmantelamiento nuclear y gastos de objetivo públicos debidos por clientes de la red.

Si los cargos por *standby* son muy altos, los usuarios responden instalando múltiples, y más pequeñas unidades de generación para proveer su propia redundancia y pico, y de tal modo previenen cambios completamente. Esto puede llevar a insuficientes niveles de inversión tanto en transmisión, distribución y GD.

Documento para ser empleado solo con fines académicos y/o de investigación. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento, bajo cualquier tipo de formato. Derechos de autor. Copyright © 2008.

Comprar los cargos de respaldo está también siendo negociados ya que determina cuanto una DISCO pagara por el exceso de GD, bajo un arreglo con el vendedor/comprador. Si la DISCO puede beneficiarse del despacho de la GD durante periodos de pico, esto puede influenciar en cuanto se debe ajustar el pago de los cargos por respaldo.

Hay un balance en el ajuste de los costos entre la integridad/confiabilidad del sistema y la habilidad de los fabricantes de GD para competir.

Requerimientos de Interconexión de la GD

La interconexión de las FGD a los sistemas de potencia tradicionales impone una serie de desafíos; los cuales pueden venir en dos formas: (a) Técnicos y, (b) Económicos.

Para proveer la uniformidad de los requerimientos técnicos de interconexión se han desarrollados estándares mundialmente aceptados que proveen los requerimientos relevantes de desempeño, operación pruebas, consideraciones de seguridad, y mantenimiento de la interconexión.

Uno de estos estándares, es el denominado IEEE P1547, *Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*, que persigue establecer los requerimientos que se deben cumplir en el punto común de acoplamiento (PCC) las fuentes de generación distribuida.

Este estándar establece los requerimientos técnicos mínimas que son universalmente necesario para la interconexión de las FGS, incluyendo el uso de maquinas sincrónicos, maquinas de inducción, o convertidores estáticos de potencia. De tal modo que se proveen un conjunto mínimo de requerimientos de pruebas para asegurar un método de interconexión universal.

Los criterios y requerimientos en el IEEE P1547 son aplicables a todas las tecnologías de FGD con capacidad de hasta 10 MVA o menores que en el PCC y todos los sistemas de potencia eléctricos a voltajes típicos de distribución primaria y secundaria. Es necesario aclarar que el IEEE P 1547 no define la capacidad máxima de GD que puede ser conectada en un punto común de acoplamiento de la red, y además no prescribe la operación o no de los dispositivos de protección de GD.

De igual modo el IEEE P1547 no aplica a esquemas con transferencias automáticos en los cuales la transferencia de carga entre la FGD y el sistema de potencia se efectúa en una operación que provee una duración de operación en paralelo de menos de 100 ms.

Consideraciones Básicas del IEEE P1547

A continuación se presentan algunos aspectos de consideraciones básicas incluidas en el estándar IEEE P1547:

- La GD no debe degradar el voltaje proveído a los consumidos, y los limites de voltaje de servicio deben de estar dentro de lo que establecer la norma ANSI C84.1, Range A.
- Aparte de los efectos en el voltaje del sistema de potencia debido a la generación de potencia real de la GD, esta no debe oponerse o regular cambios en el nivel de voltaje prevaleciente en el punto de conexión; excepto que la GD pueda permitir el uso de AVG cuanto tal regulación pueda ser acompañando de ningún detrimento en el voltaje del sistema de potencia.
- La unidad de GD deberá sincronizarse con el sistema de potencia sin que cause una fluctuación en el PCC mayor a ±5% del voltaje operativo.
- Las FGD deben tener capacidad de responder a condiciones anormales que afecten el voltaje y la frecuencia (medidos en el PCC).
- La función de protección de la interconexión en el sistema, deberá medir el calor efectivo (RMS) o valor de frecuencia fundamental del valor de la frecuencia, y cada valor del voltaje de línea a neutro, o alternativamente el voltaje de fase a fase. Cuando cualquier valor en el voltaje este por debajo del rango mostrado en la Tabla 1, la GD deberá cesar de energizar al sistema de potencia.

Tabla 1. Recuesta del sistema a un voltaje anormal

Rango de Voltaje (% de voltaje base)	Tiempo de despeje (segundos)
$V < 50$	0.16
$50 \leq V < 88$	2.00
$50 \leq V < 88$	1.00
$V \geq 120$	0.16

Nota. Voltajes bases son los voltajes nominales establecidos en la norma ANSI C84.1
GD ≤ 30 kW, Máximo tiempo de despeje
GD > 30 kW, Tiempo de despeje por defecto

Documento para ser empleado solo con fines académicos y/o de investigación. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento, bajo cualquier tipo de formato. Derechos de autor. Copyright © 2008.

- Para FGD de menores de 30 kW de capacidad pico, el ajuste de voltaje y el tiempo de despeje será ajustable o fijo. Para mayores a 30 kW, el ajuste de voltaje será ajustable.
- El voltaje debe ser medido en el punto de la conexión de la FGD, cuando alguna de las siguientes condiciones existe:
    1. La capacidad agregada del sistemas de GD conectados al PCC es menor o igual a 30 kW
    2. El equipo de interconexión es certificado que no pasa la prueba de no aislamiento.
    3. La capacidad agregada de GD es menor que el 50% de la carga total de los sistemas de potencia a mínima carga y no es permitido que exporte potencia activa y reactiva.
- En cuanto a las perturbaciones de frecuencia, todas las FGD permanecerán conectadas al sistema de potencia si la frecuencia permanece en el rango de 59.3Hz a 60.5 Hz. La medición de frecuencia se efectuara en la FGD o en el PCC. Una unidad de GD menor a 30 kW cesara de energizar al sistema de potencia en 0.16 segundos si la frecuencia excede de 60.5 Hz, y será capaz de retardar la desconexión con un ajuste de baja frecuencia en el rango de 59.3 a 57 Hz, y desconectara en los 0.16 segundos cuando la frecuencia es menor a 57.0 Hz.
- En el caso de los generadores sincrónicos en aplicación de GD con una relación de robustez de 20 o menos deberán estar equipados con funciones de protección contra la perdida de sincronismo para aislar le FGD del sistema de potencia sin la intervención de ningún retardo intencional.
- Desde el punto de vista de calidad de servicio, la FGD y su conexión al sistema no deben inyectar corriente dc mayor o igual a 0.5% de la salida de corriente a potencia nominal. La FGD no deberá crear flicker objetables a los otros usuarios.
- Cuando el FGD sirva cargas balanceadas lineales, la inyección de corriente armónica en el área del sistema de potencia en el PCC no debe exceder los límites establecidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Máxima distorsión armónica de corriente en porcentaje de la corriente

Orden armónico individual	< 11	$35 \leq h < 35$	$35 \leq h < 35$	$35 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
Porcentaje (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

Aspectos mas específicos de interés, pueden ser consultados directamente en el *IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System*, IEEE P1547 [1].

Documento para ser empleado solo con fines académicos y/o de investigación. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento, bajo cualquier tipo de formato. Derechos de autor. Copyright © 2008.

Conclusiones

En este reporte de investigación se presentan los resultados de una investigación documental referente a los aspectos de regulación al efectuar la integración de la generación distribuida. Se ha efectuado una corta descripción de los aspectos de interés de las regulaciones relevantes de interconexión; con un énfasis histórico, iniciando por el estándar IEEE 1001, hasta llegar al estándar de interconexión IEEE P1547 y se ha prestado particular interés a la evolución histórica desde 1980 del caso Europeo.

Se han abordado los principales aspectos a considerar en cuanto a regulación son: Estándar de Interconexión, Emplazamiento, Certificación y Permiso, Acceso, Medición y Despacho. Cada uno de estos aspectos es tratado de manera resumida y precisa.

Igualmente se han presentado algunos de los requisitos técnicos establecidos en el estándar IEEE P1547 para la interconexión de FGD, a los sistemas de potencia

Reporte

Documento para ser empleado solo con fines académicos y/o de investigación. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento, bajo cualquier tipo de formato.
Derechos de autor. Copyright © 2008.

Referencias Documentales

[1] IEEE (2003), *"IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System"*, IEEE Standard P1547. IEEE, New York.

[2] IEEE (1988). *"Guide of Interfacing Dispersed Storage and Generation Facilities with Electric Utility Systems"*, IEEE Standard 1001. IEEE, New York.

[3] IEC, (1999). *"Measurement and Assessment of Power Quality Characteristic of Grid Connected Wind turbines"*. International Standard 61400-21, Second Edition. International Electro technical Commission.

[4] IEEE (1992). *"IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems"*. IEEE Standard 519, IEEE, New York.

Reporte

Documento para ser empleado solo con fines académicos y/o de investigación. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento, bajo cualquier tipo de formato.
Derechos de autor. Copyright © 2008.

Abreviaturas

- DISCO: (*Distribution and Transmission Company*) Compañías de Transmisión y Distribución
- GD: Generación Distribuida.
- FGD: Fuente de Generación Distribuida
- IEC: (*International Electromechanical Comission*) Comisión Electromecánica Internacional.
- IEEE: (*Institue of Electricanl And Electrnic Engineers)* Instituto de Ingenieros Electricistas y Electronics
- ISO: (*Independient System Operator*)operadores independientes del sistema
- RETAILCO: (*Retail Company*)Compañías de distribución

Reporte

Documento para ser empleado solo con fines académicos y/o de investigación. Prohibido la reproducción parcial o total de este documento, bajo cualquier tipo de formato.
Derechos de autor. Copyright © 2008.