



APLICACIONES INDUSTRIALES

Consideraciones sobre la protección en la interconexión de la generación distribuida al sistema eléctrico de potencia

Considerations on the protection in the interconnection of the distributed generation to the electric power system

Emilio Francesena - Bacallao
Marta Bravo – de las Casas

Recibido: enero del 2009
Aprobado: marzo del 2009

Resumen/ Abstract

La Generación Distribuida (GD) es la vía que utilizan varios países para solucionar sus necesidades de disponibilidad de energía eléctrica. La interconexión de la GD a los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) requiere de una técnica de protección cuya filosofía puede variar respecto a la conocida tradicionalmente y por lo que su aplicación debe estar bien fundamentada. Este artículo trata sobre los requerimientos de protección en las interconexiones de la GD con el SEP, de acuerdo a las distintas situaciones y respecto al tipo, interconexión y operación de las plantas.

Palabras claves: protección, relés, generación distribuida, sistema eléctrico de potencia

The Distributed Generation is the way that uses several countries to solve their requirements of availability of electrical energy. The interconnection of the Electric Power System (EPS) with Distributed Generation require of a protection technique whose philosophy can vary with respect to the well-known one and therefore its application must be conceived and based well. The work treats on the requirements of the schemes of protections in these new plants of generation, according to the different presented situations and with respect to the type, interconnection and operation of the same ones in the SEP.

Keywords: protection, relays, distributed generation, electric power system

INTRODUCCIÓN

Cuando se conecta la Generación Distribuida (GD) en los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), provoca nuevas consecuencia técnicas, las que hacen necesaria la revisión de los sistemas de protección, por ejemplo, las redes dejan de ser radiales, pueden encontrarse líneas multiterminales, flujos de potencia y de cortocircuito en varias direcciones, entre otras.

Los esquemas de protección que existen en las redes de medio y bajo voltaje son generalmente de sobrecorriente tiempo inverso o tiempo definido, de acuerdo a los criterios convencionales de la protección. Puede ocurrir que aparezcan altos tiempos de limpieza de la falla o que exista coordinación no selectiva, ambas no aceptadas por los criterios de protección y además por el mercado de la energía eléctrica [1].

Los sistemas con GD requieren de una técnica de protección cuya filosofía puede variar respecto a la conocida tradicionalmente, debido a que las características de operación e interconexión y el tipo de planta, entre otras

cuestiones a tener en cuenta, hacen necesario analizar, la influencia que provoca la inclusión de la GD en el sistema al que se conecta y como las perturbaciones en dicho sistema afectan las plantas de GD.

DESARROLLO

Influencia de la conexión de la GD en los Sistemas Eléctricos de Potencia.

La tarea técnica principal de la interconexión es cómo unir la GD con los SEP existentes de una manera fiable, segura, y rentable.

Se pueden definir cuatro modos de operación de la GD con el SEP que en orden de complejidad son [2-4]:

1. Aislada, con ninguna posibilidad de conexión al sistema.
2. Aislada, con posible conexión de la carga de la GD al sistema, pero no en paralelo ambos.
3. Interconectada al sistema, pero sin exportación de energía.
4. Interconectada al sistema y flujo de energía bidireccional.

La IEEE trabajó en 1999 en una norma para la interconexión universal, actualmente llamada IEEE P1547. Su propósito es tener una norma uniforme para la interconexión de generadores de 10 MVA o más pequeños con los sistemas eléctricos de potencia.

Es necesario proteger los generadores de la GD no sólo contra los cortocircuitos, sino contra las condiciones anormales de operación. Muchas de estas condiciones anormales pueden ser impuestas en el generador por el sistema. Algunos ejemplos de dichas condiciones anormales: sobreexcitación, sobrevoltaje, corrientes desbalanceadas, frecuencia anormal y esfuerzo torsional del eje debido al recierre automático de un interruptor de la empresa eléctrica. Al estar sometidos a estas condiciones, los generadores pueden, en pocos segundos, sufrir daños o falla completa [5-6]. Las empresas eléctricas, por su parte, se preocupan porque la instalación de generadores de GD puede resultar en daños a sus equipos o a los equipos de sus clientes. Los pequeños generadores dispersos están conectados al sistema de la empresa eléctrica en los niveles de distribución y subtransmisión. Estos circuitos de la empresa eléctrica están diseñados para alimentar cargas radiales.

La introducción de generadores constituye una fuente indeseada de redistribución de corrientes de carga y de falla, así como una posible fuente de sobrevoltaje. Por lo general no se permite la operación en isla de generadores de GD dispersos con carga de la empresa eléctrica externas al sitio de la GD, por dos razones importantes:

1. La empresa eléctrica debe restaurar los circuitos interrumpidos, y este esfuerzo se complica mucho cuando hay generadores en isla con cargas de la empresa eléctrica. El recierre automático es generalmente el método que se usa para restaurar energía eléctrica a los usuarios. Al haber generadores en isla, se complica el recierre automático y también la conmutación manual que requiere sincronizar el generador/carga en isla al sistema de la empresa eléctrica.
2. La calidad de la energía (los niveles de voltaje y frecuencia, así como los armónicos) puede no ser mantenida por los generadores de GD en isla al nivel ofrecido por la empresa eléctrica, lo que puede resultar en daños a los equipos de los usuarios.

La función principal de la protección de interconexiones es evitar la formación de islas en el sistema (detectando la operación asincrónica de generadores dispersos) y deberá determinar si el generador ha dejado de operar en paralelo con el sistema de la empresa eléctrica. La detección y el disparo deberán ser lo suficientemente rápidos para permitir el recierre automático en el sistema de la empresa eléctrica.

Los generadores grandes se evalúan individualmente y por lo general se conectan al sistema de transmisión de la empresa eléctrica. Estos grandes generadores típicamente no requieren protección específica de interconexión ya que están integrados al sistema de protección de la empresa eléctrica. Los pequeños y medianos generadores de GD (alrededor de 5 MW o menos) habitualmente se conectan a los sistemas de subtransmisión y distribución de la empresa eléctrica. Estos circuitos de la empresa están diseñados para alimentar cargas radiales [3-6]. Por ende, como planteamos anteriormente, la incorporación del generador ofrece una fuente para redistribuir la corriente de falla y la carga del circuito alimentador, y también posible sobrevoltaje. Típicamente, la protección de interconexiones para estos generadores se establece en el punto de acoplamiento común entre la red de la empresa eléctrica y la GD, también llamada internacionalmente (por sus características) Productor Independiente de Energía (IPP en inglés). Este puede estar en el secundario del transformador de interconexión, como indica la figura 1, o en el primario del transformador, como en la figura 2.

La protección en la interconexión debe satisfacer los requisitos para permitir que el generador sea conectado a la red. Su función es triple:

1. Desconecta el generador cuando ha dejado de operar en paralelo con el sistema.
2. Protege el sistema contra los daños ocasionados por la conexión del generador, incluyendo la corriente de falla que suministra el generador para fallas en el sistema y sobrevoltajes transitorios.
3. Protege el generador contra daños producidos por el sistema, especialmente mediante el recierre automático.

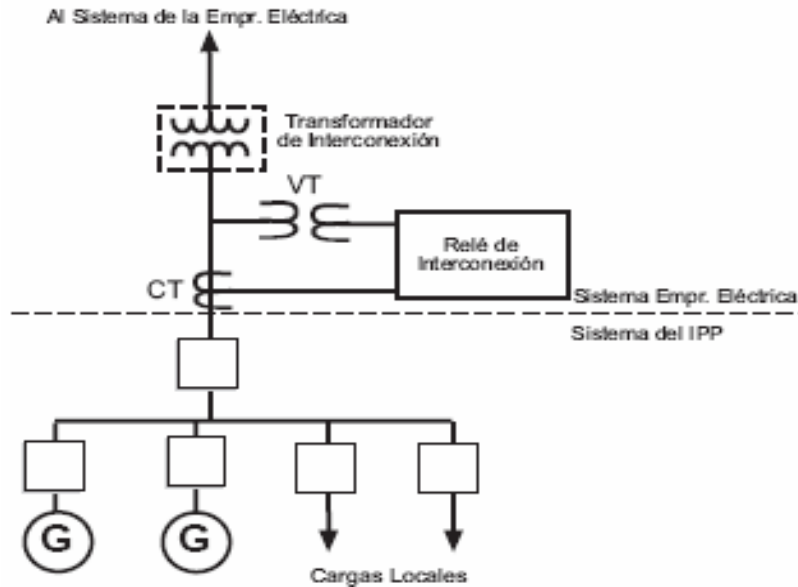


Fig. 1

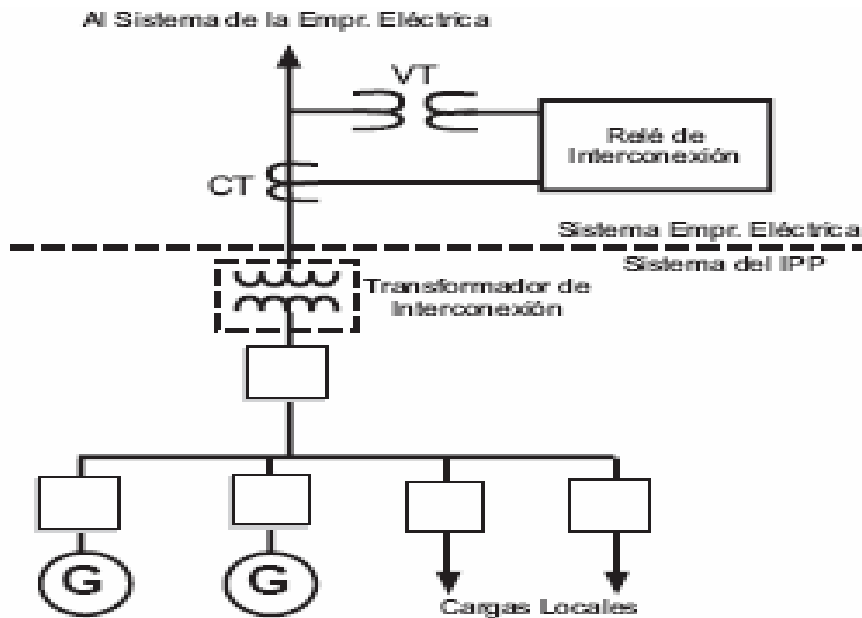


Fig. 2

La protección del generador típicamente se conecta en los terminales del generador, como se muestra en la figura 3.

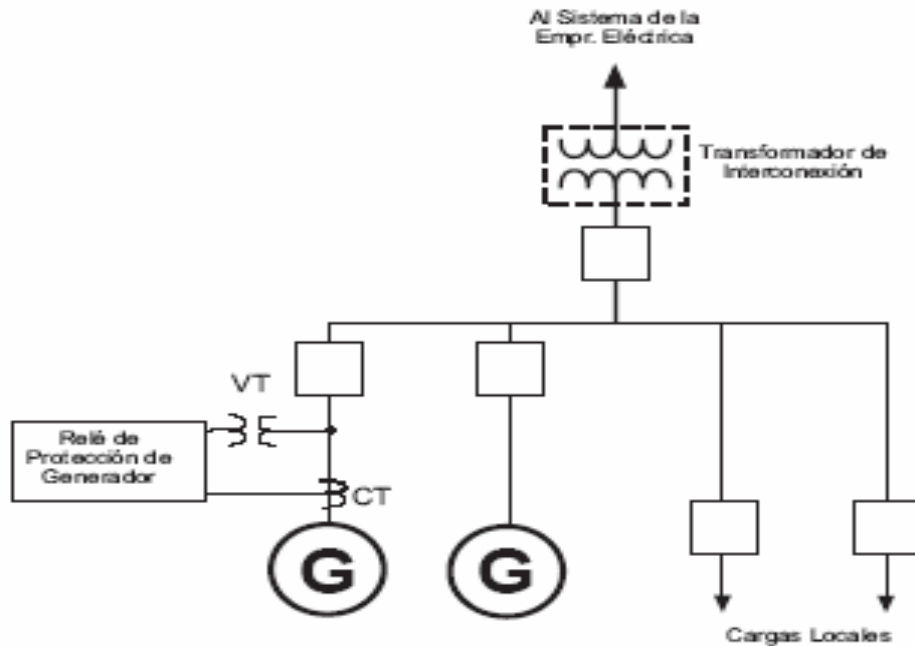


Fig. 3.

La protección del generador (ubicada como se muestra en la figura 3) permite detectar:

1. cortocircuitos internos del generador;
2. condiciones anormales de operación (pérdida de campo, potencia inversa, sobreexcitación y corrientes desbalanceadas).

APLICACIÓN DE LA PROTECCIÓN A LAS PLANTAS DE GD CONECTADAS AL SISTEMA

Hay dos tipos tradicionales de generadores de GD que operan interconectados con el sistema: los generadores de inducción y los generadores sincrónicos.

Las máquinas de inducción son típicamente pequeñas (de menos de 500 KVA); son de tamaño restringido porque su excitación es provista por una fuente externa de VAR. Los generadores de inducción son similares a los motores de inducción y se arrancan como motor (no requieren equipo de sincronización). Las máquinas de inducción pueden suministrar potencia activa al sistema, pero requieren una fuente de potencia reactiva.

Los generadores sincrónicos tienen un devanado de campo de corriente directa que proporciona una fuente de excitación a la máquina. Pueden ser una fuente de potencia activa y reactiva para el sistema y requieren equipo de sincronización para la puesta en paralelo con la red eléctrica.

Ambos tipos de máquinas requieren protección de interconexión.

La protección de interconexión para los generadores de inducción por lo general requiere únicamente relés de sobre/bajo voltaje y de frecuencia.

Las características de la protección de interconexiones varían substancialmente dependiendo de factores como: tamaño del generador, punto de interconexión con el sistema, tipo de generador y configuración del transformador de interconexión.

Se pueden citar de forma general, los objetivos específicos de un sistema de protección de interconexiones de plantas con GD, así como las funciones de protección necesarias para lograr cada objetivo, esto se resume en la tabla 1. [5- 8].

Tabla 1

Objetivo de la Protección.	Función de Protección a emplear.
Detección de la pérdida de operación en paralelo con el sistema.	81O/U, 81R, 27/59, 59I, Disparo Transferido
Detección de alimentación de fallas	Fallas de Fase: 51V, 67, 21 Fallas a Tierra: 51N, 67N, 59N, 27N
Detección condiciones perjudiciales en el sistema	47, 46
Detección de flujo de potencia anormal	32
Restauración	25

Para detectar la pérdida de operación en paralelo con el sistema, la filosofía consiste en establecer un rango de sobre/baja frecuencia (81O/U) y sobre/bajo voltaje (27/59) dentro del cuál se le permite operar al generador. Cuando el generador de GD está en isla, debido ya sea a una falla o a otra condición anormal, la frecuencia y el voltaje saldrán con rapidez fuera del rango de operación si existe una diferencia significativa entre los niveles de la carga y de generación.

En algunas aplicaciones de cogeneración, se utilizan relés de razón de cambio de la frecuencia (81R) para poder detectar más rápidamente la pérdida del suministro del sistema y separa de la empresa eléctrica las instalaciones de la planta.

Si la carga y el generador están casi en equilibrio al momento de la separación, el voltaje y la frecuencia pueden permanecer dentro del rango de operación normal y puede no producirse el disparo por baja/sobrefrecuencia y sobre/bajo voltaje. De existir esta posibilidad, quizás se necesite contar con disparo transferido, usando un medio confiable de comunicación.

Cuando los generadores de inducción están en isla con carga que incluyan capacitores y la capacidad del generador es cercana a la de la carga, puede ocurrir una condición resonante que produzca un sobrevoltaje no sinusoidal. Para estos casos, se puede utilizar un relé de sobrevoltaje instantáneo (59I) que responda a picos de sobrevoltaje para permitir detectar esta situación.

Cuando se detecte la pérdida de operación en paralelo, el generador de GD deberá ser separado del sistema de la empresa eléctrica con rapidez suficiente para permitir el recierre automático del interruptor en la subestación del sistema.

El uso de relés de baja frecuencia en conjunción con la necesidad de separar el generador de GD antes del recierre del interruptor de la empresa eléctrica, impide a la mayor parte de los pequeños generadores dispersos suministrar energía de respaldo a la empresa eléctrica durante perturbaciones importantes en el sistema. Cuando la frecuencia decrece a causa de una perturbación importante en el sistema, estos generadores disparan quedando fuera de línea. Si se extienden los tiempos de disparo por baja frecuencia, quizás resultará necesario modificar el método de recierre de la subestación, utilizando supervisión del voltaje y/o recierre con comprobación de sincronismo (25).

Esquemas de protección para la interconexión de pequeños generadores de GD

En la figura 4 se muestra un esquema típico de sobre/bajo voltaje y sobre/baja frecuencia en una pequeña instalación de GD. Estas funciones de protección pueden todas incluirse en un sólo relé digital de multifunción, como los que se introducen actualmente en nuestro país. [2-4],[7],[9].

En muchos generadores pequeños de GD, no se proporciona detección de alimentación de fallas. Los generadores de inducción suministran tan sólo dos o tres ciclos de corriente de falla para las fallas externas, similarmente a los motores de inducción.

Las pequeñas máquinas sincrónicas están generalmente tan sobrecargadas luego que dispara el interruptor de la subestación del sistema, que su contribución a la corriente de falla es muy baja.

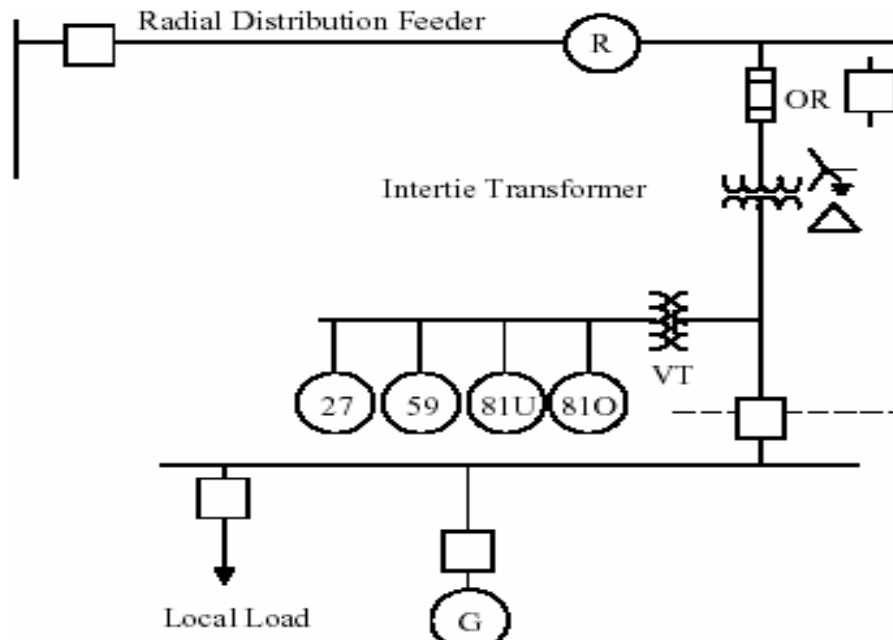


Fig. 4

Para estos pequeños generadores, la detección de la pérdida de operación en paralelo por medio de los relés 81O/U y 27/59 es toda la protección de interconexión que se necesita, además, como es lógico, de la específica que pueda dar el fabricante para el generador y el motor primario.

Esquemas de protección para la interconexión de generadores medianos de GD

Cuanto mayor sea el generador, mayor es la posibilidad que contribuirá una magnitud significativa de corriente a una falla en el sistema, por ello se proporciona la detección de alimentación de fallas además de la protección contra pérdida de operación en paralelo. [2-6], [10].

Al desarrollar un sistema de protección contra alimentación de fallas externas, es necesario considerar el decaimiento de la corriente de cortocircuito ante dichas fallas. Típicamente, se emplean funciones de relé tales como la 67 (direccional), la 21 (distancia) o la 51V (sobrecorriente controlado por voltaje) para detección de la alimentación de fallas de fase; como se puede observar en el esquema de la figura 5.

Los ajustes para los relés 67 y 21, deberán definirse excediendo el nivel de corriente de generación que la GD está suministrando al sistema. Algunos especialistas utilizan un relé de sobrecorriente controlado con restricción de voltaje (51V) junto con la función 67 para incrementar la sensibilidad del arranque.

La protección para la eliminación de la alimentación de fallas externas a tierra depende de la conexión del devanado primario del transformador de interconexión. Para devanados de transformador con primario conectado a tierra se utiliza un relé de sobrecorriente de neutro 51N, o en algunos casos, un relé direccional de tierra 67N.

En la figura 5 se muestra una protección típica para instalaciones con transformadores de interconexión con devanado primario conectado a tierra.

Para transformadores de interconexión no puestos a tierra, como se muestra en la figura 6, los relés de sobrevoltaje de neutro (59N, 27N) proporcionan la detección de fallas a tierra del suministro. Los VTs que alimentan estos relés tienen sus devanados primarios conectados fase a tierra. Muchas empresas eléctricas utilizan conexiones de transformadores de voltaje utilizando un sólo VT con relés 59N y 27N o tres VTs conectados en configuración delta abierta.

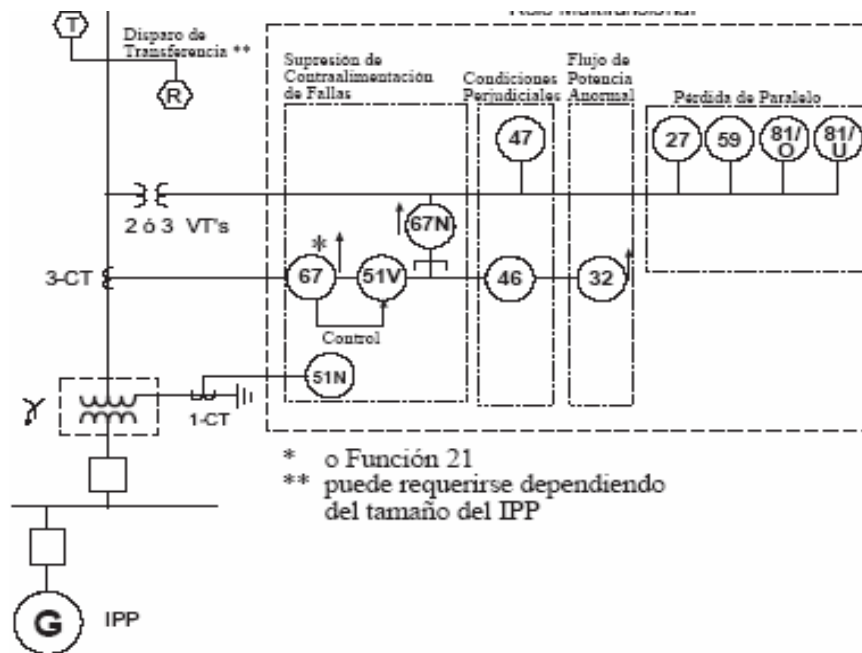


Fig. 5

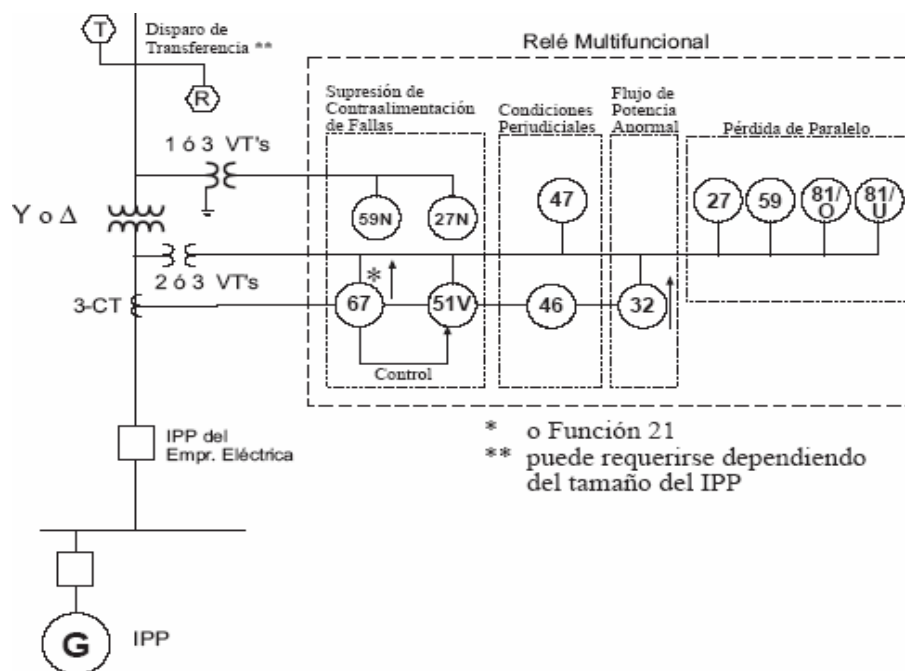


Fig. 6

Las condiciones de corrientes desbalanceadas producidas por conductores abiertos o inversiones de fase en el circuito de suministro del sistema pueden someter al generador a un alto nivel de corriente de secuencia negativa. Esta alta corriente de secuencia negativa resulta en un rápido calentamiento del rotor, lo que provoca daños en el mismo. Para la protección contra estas corrientes desbalanceadas, se utiliza un relé de sobrecorriente de secuencia negativa (46).

Para ofrecer protección contra inversiones de fase debidas al intercambio de fases inadvertido luego de la restauración de la potencia, se utiliza también un relé de voltaje de secuencia negativa (47). Estas funciones se muestran también en las figuras 5 y 6.

Los relés digitales actuales de multifunción cuentan con diversas características que los hacen ideales para la protección de interconexiones de generadores de GD. [1], [4-6], [9].

En dichas figuras se encierran en líneas de puntos las funciones de protección que se pueden agrupar en un solo relé de este tipo, cuya línea es la seguida para la protección de los grupos electrógenos que actualmente se instalan en nuestro país y muchos de los cuales ya están sincronizados al SEP Nacional.

Como se mencionó al principio, algunos modos de operación entre plantas que cogen y empresas eléctricas prohíben a las plantas suministrar potencia a la empresa eléctrica. El cogenerador suministra potencia únicamente a la carga local en sus instalaciones y reduce los costos de demanda de la empresa eléctrica mediante la "reducción de picos de demanda". El procedimiento frecuente de las empresas eléctricas consiste en instalar un relé de potencia direccional (32) para disparar el generador si se producen flujos inadvertidos de potencia durante un período predeterminado de tiempo.

Una vez que el generador ha sido separado del sistema luego que haya operado la protección de la interconexión, será necesario restaurar dicha interconexión, para ello se utiliza, un relé de comprobación de sincronismo (25), que mide el ángulo de fase (δ), el deslizamiento (F) y la diferencia de voltaje (V) entre los sistemas de la empresa eléctrica y de la generación, como se muestra en la figura 7. Típicamente, dichos relés supervisan el recierre local y remoto.

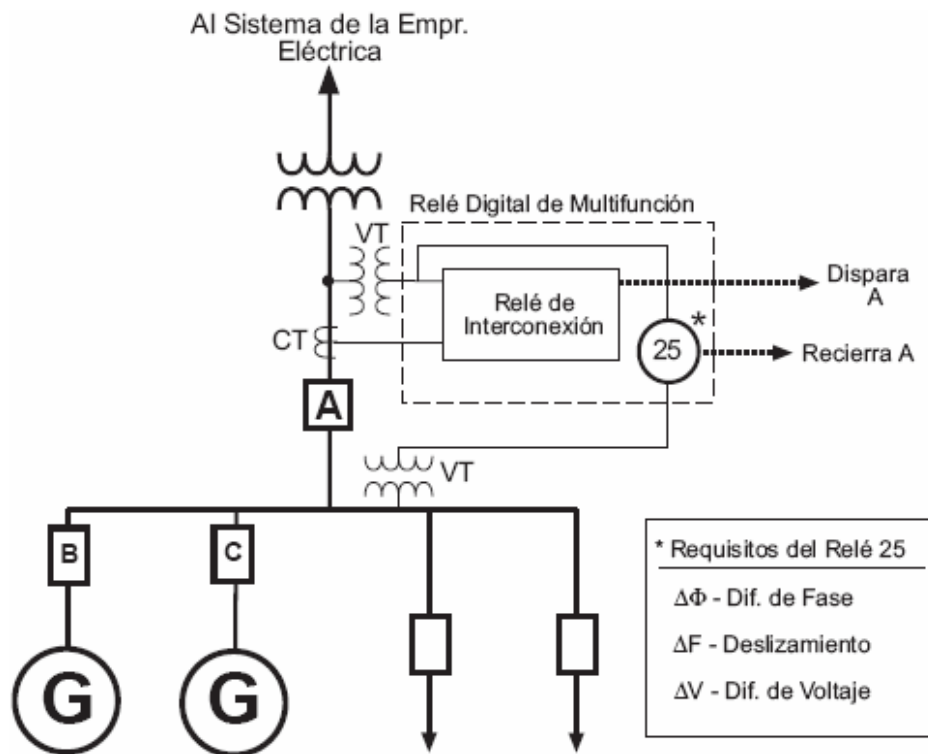


Fig. 7.

CONCLUSIONES

Vemos que los factores que determinan los requisitos de la protección incluyen: el tamaño del generador, el punto de interconexión con el sistema de la empresa eléctrica, el tipo de generador, la conexión del transformador de interconexión con el sistema y los niveles de alimentación a fallas entre otros.

En este trabajo se ofrece de forma resumida una guía acerca de los esquemas de protección y las protecciones a emplear.

Se requiere de conocimientos de los especialistas sobre las condiciones de operación de la planta de GD y el SEP en cada localización.

Los grupos electrógenos que se instalan actualmente en nuestro Sistema Eléctrico Nacional, así como aquellas plantas de emergencia que tienen la posibilidad de sincronización futura con el SEP, deben tener esquemas que garanticen la seguridad de operación, tanto para la GD como para el sistema actual de nuestro país.

REFERENCIAS

- [1] BRAVO M. Y FRANCESENA, E. *Algunos Aspectos de las Protecciones de los Sistemas Eléctricos con Generación Distribuida*. Editorial Feijóo , 2005. p 5 . ISBN ISBN 959250201-3.
- [2] U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy "Distributed Generation Interconnection Manual". [Consultado el: <http://www.puc.state.tx.us/electric/business/dg/dgmanual.pdf>]
- [3] GUSTAFSON, G. *Intertie Requirements for DGs Connected to Radial Distribution Feeders*". On 31st Annual Western Protective Relay Conference Spokane, Washington. October 19-21, 2004.[Consultado el: <http://www.basler.com/downloads/IntertieReqs.pdf>]
- [4] HAZEL, T. *Producción de energía eléctrica integrada en emplazamientos industriales y edificios comerciales*" commercial buildings". Schneider Electric. 2001, 28 p. p.
- [5] Resource Dynamics Corporation. *Application Guide for Distributed Generation Interconnection: 2003 Update*. The NRECA Guide to IEEE 1547,
- [6] MOZINA, C. J. Protección de Interconexiones de Generadores de IPP Usando Tecnología Digital". En XII Reunión de verano de potencia. En: Acapulco, Capítulo de Potencia, México (RVP'99). July 11-16,1999. . p. pp 681-688.
- [7] "Long Island Power Authority (LIPA). "Long island power authority interconnection requirements for new distributed generation greater than 300 kVA operating in parallel with LIPA's radial distribution system"". Marzo 2003, 32 p.
- [8] *Boletín Oficial del Estado "Normas de funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales de autogeneración*. España: [Consultado el: http://www.coitiab.es/reglamentos/electricidad/reglamentos/ORD_50785.htm]
- [9] FUCHS, R. *Protection schemes for decentralized power generation*. 2004. vol. Vol.1, pp 323 – 326 p. p On Developments in Power System Protection, Eighth IEE International Conference. ISBN ISBN: 0-86341-385-4
- [10] KARLAK J. "Technical Requirements for Interconnection and Parallel Operation of Distributed Generation". USA, 2003.

AUTORES

Emilio Francesena Bacallao

Ingeniero Eléctrico, MSc en Ingeniería Eléctrica, mención Sistemas Eléctricos, Profesor Auxiliar y laboro en el Centro de Estudios Electroenergéticos en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, UCLV. Cuba.
emiliof@uclv.edu.cu

Marta Bravo de las Casas.

Ingeniera Eléctrica, Dra. en Ciencias Técnicas, Profesora Titular Centro de Estudios Electroenergéticos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de las Villas, UCLV. Cuba
mbravo@uclv.edu.cu o mbravocasas@yahoo.com