

PROTECCIÓN DIGITAL DE TRANSFORMADORES, DESDE PLANTAS ELÉCTRICAS A SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

Charles J. Mozina
Beckwith Electric Company
6190-118th Avenue North • Largo, FL 33773-3724 U.S.A.
Tel. (727) 544-2326 • Fax (727) 546-0121

IEEE Sección México Reunión de Verano sobre Energía Eléctrica Julio 12-17, 1998 Acapulco, México

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la protección de transformadores de potencia ha estado relegada a la aplicación de relés diferenciales para transformadores y relés de sobrecorriente de respaldo para brindar protección contra cortocircuitos. Con el advenimiento de los modernos conjuntos de multifunción para transformadores, las protecciones diferencial y de sobrecorriente son ahora sólo dos de las numerosas funciones lógicas y protectoras que pueden incorporarse en el conjunto de protección de transformadores realzando su valor para el usuario. Otras funciones protectoras incluyen la protección contra sobreexcitación (24), contra sobrevoltaje de neutro (59G), diferencial de tierra (87GD), y separación de cargas por baja frecuencia (81U)/bajo voltaje (27). Actualmente, muchas de estas funciones son manejadas separadamente por relés discretos, o no se aplican por razones de economía.

Los requisitos para la protección de transformadores varían también según la ubicación del transformador en el sistema eléctrico. Este artículo trata sobre la protección de transformadores en diversas ubicaciones: plantas eléctricas, plantas industriales, subestaciones de transmisión y subestaciones de distribución.

Como los requisitos para la protección de transformadores varían de acuerdo a la aplicación, los usuarios generalmente sólo desean aquellas funciones necesarias para su aplicación específica. Para lograr esta funcionalidad especializada, la selección de las funciones de protección de transformadores deberá ser determinada por los usuarios y no por los fabricantes—tal como se hace en las aplicaciones de relés discretos. Este artículo discute la funcionalidad seleccionable por el usuario que permite adaptar el relé (*relevisor*) para aplicaciones específicas.

Asimismo, el uso de la lógica programable expande los beneficios de la protección de multifunción digital de transformadores, especialmente para aplicaciones con transformadores de distribución. Se han desarrollado esquemas lógicos para la protección contra fallas en la barra (*bus*) de distribución, la protección de respaldo con relés digitales a alimentadores, y la separación (*el rechazo*) de cargas en subestaciones de distribución con dos bancos. Este artículo analiza estos tipos de esquemas y sus respectivos beneficios.

Este trabajo cubre las siguientes áreas específicas de la protección de transformadores:

1. Protección de Transformadores de Plantas Eléctricas
 - sobreexcitación y restricción diferencial
 - protección contra fallas a tierra en transformadores tipo unidad elevadora para generador (GSU)
 - protección de transformadores auxiliares/de arranque e industriales
2. Protección de Transformadores de Subestaciones de Transmisión
 - protección contra sobreexcitación (V/Hz)
 - bloqueo del relé de cambio repentino en la presión (SPR)
3. Protección de Transformadores de Subestaciones de Distribución
 - separación de cargas por baja frecuencia/bajo voltaje
4. Esquemas Lógicos en Subestaciones de Distribución
 - lógica de fallas en la barra
 - lógica de respaldo de alimentadores
 - separación de cargas en subestaciones con dos bancos

La aplicación de la protección diferencial de transformadores (87T) ha sido tratada detalladamente en muchos otros trabajos, por lo tanto no será discutida en éste. Este artículo se concentra en otras funciones de protección ofrecidas por los relés de multifunción digitales para transformadores, así como en la lógica que puede aplicarse con esta tecnología.

FUNCIONES SELECCIONABLES POR EL USUARIO

Como los requisitos de protección de transformadores varían según la aplicación, las funciones seleccionables por el usuario constituyen una importante característica. La configuración específica del relé de multifunción digital es así controlada por el usuario, no por el fabricante. El costo es proporcional al nivel de funcionalidad requerido. Cuando el usuario adquiere un costoso conjunto de multifunción para transformadores e inhabilita aquellas funciones que no son adecuadas para su aplicación, se diluye la ventaja económica de la protección tipo multifunción. Empleando un relé con las funciones básicas necesarias para la mayoría de las aplicaciones y luego seleccionando en una biblioteca de funciones opcionales, el usuario puede configurar al menor costo la protección para su aplicación específica. La Figura 1 muestra una típica aplicación de este enfoque con dos devanados.

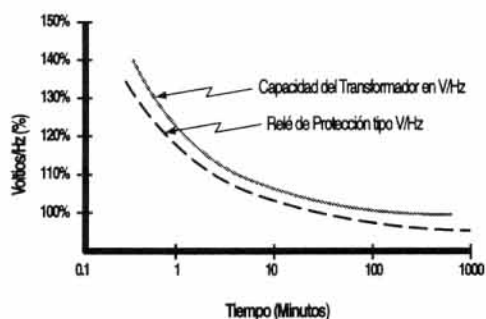


Figura 3 — Típica Curva de Capacidad de Corto Tiempo en V/Hz del Transformador

Bajo condiciones de operación normales del sistema, los reguladores de voltaje del generador y otros dispositivos de control del sistema eléctrico mantienen al voltaje dentro de los valores nominales continuos del transformador. Pero ello no ocurre durante condiciones anormales como las siguientes:

1. Una condición de operación "con formación de islas" en el sistema eléctrico, que resulta en la pérdida repentina de carga y provoca una subida del voltaje. Si las medidas de control del sistema no logran reducir el voltaje durante tales perturbaciones, puede haber un sobrevoltaje prolongado.
2. Una condición de "embalamiento" del regulador de voltaje del generador, que hace que el GSU (unidad elevadora del generador) y el transformador auxiliar experimenten altos voltajes. Si bien este evento generalmente ocurre fuera de línea, la sobreexcitación puede producirse cuando el generador y el GSU están conectados al sistema eléctrico. Se han registrado en tales eventos niveles de V/Hz superiores a 1,25 p.u.

Por tales razones, los transformadores de las plantas eléctricas, especialmente los transformadores auxiliares y tipo GSU, pueden verse afectados por el sobrevoltaje. Como consecuencia de la sobreexcitación, se producirá una corriente desequilibrada significativa en el circuito diferencial. Al examinarse este caso fuera de línea, como en el diagrama de abajo, se observa que la corriente desequilibrada puede exceder la capacidad del transformador en un 30%. En la Figura 4a se ilustra un caso real, en servicio, de un "embalamiento" de un regulador de voltaje fuera de línea. La Figura 4b muestra la acumulación de corriente cuando se produce una condición así.

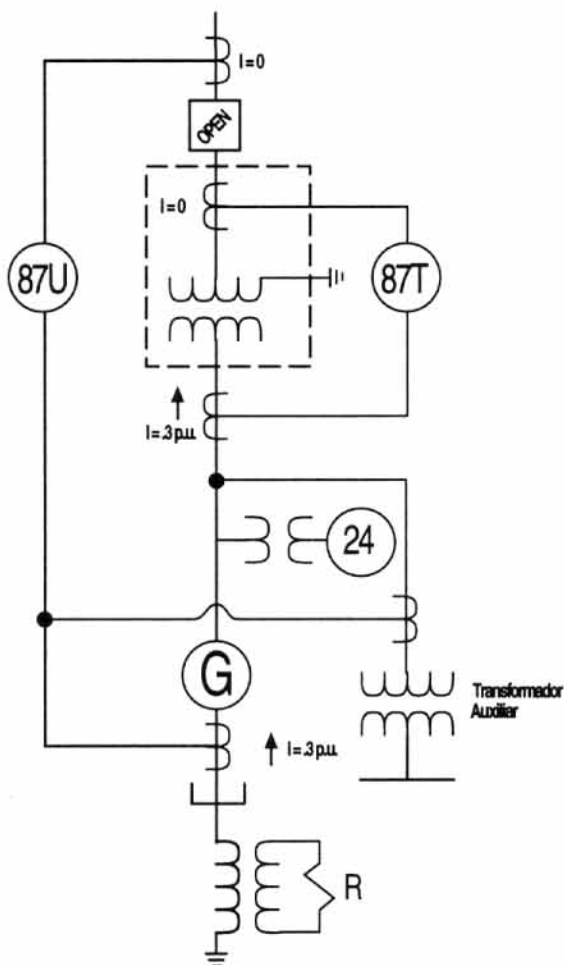


Figura 4a — Diagrama Unifilar de una Condición de Sobreexcitación Fuera de Línea

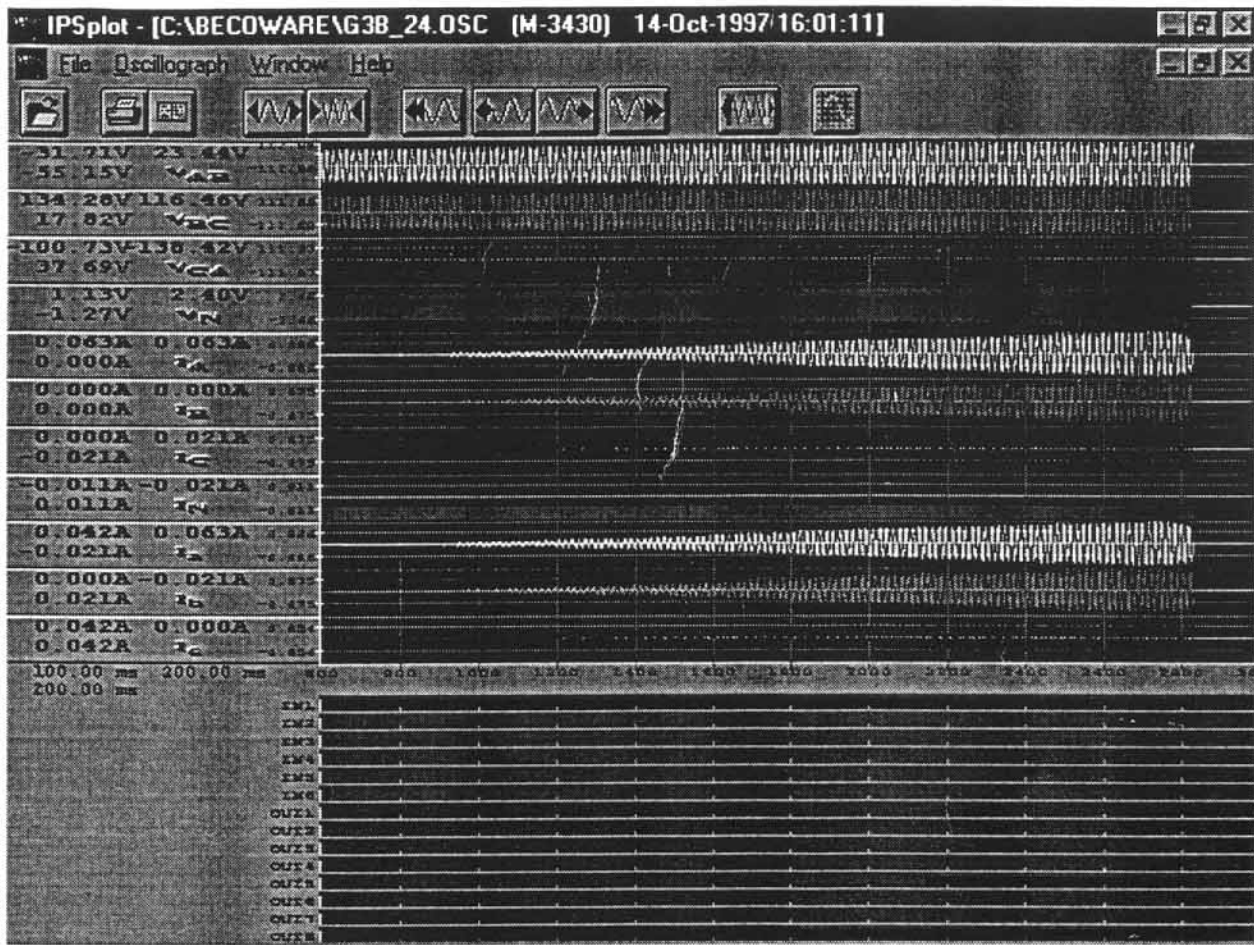


Figura 4b — Registro de Oscilógrafo de una Condición de Sobreexcitación Fuera de Línea

En casos como éstos, el relé diferencial para transformador de generador (87T) debería restringir y la protección tipo V/Hz (24) debería operar. Se sabe que los relés diferenciales estáticos y electromecánicos tienden a operar e indicar incorrectamente que existe una falla interna del transformador. Algunos ingenieros de protección han aceptado esto como una "buena operación falsa" ya que desconectaba el transformador ante un evento dañino. En eventos fuera de línea esto puede resultar aceptable, si bien se indica erróneamente que hubo una falla en el transformador. Pero en los eventos en línea, especialmente los producidos por la formación de islas en el sistema durante perturbaciones

de magnitud, tales operaciones falsas no resultan admisibles. En los relés digitales y estáticos modernos, se utiliza comúnmente la quinta armónica para proporcionar restricción en las condiciones de sobreexcitación. En tales casos será necesario instalar un relé de V/Hz (24) para detectar sobreexcitación, pues estos nuevos relés digitales diferenciales para transformadores restringirán aún bajo condiciones severas de V/Hz. En algunas aplicaciones, tales como la del diagrama unifilar típico de una turbina a gas que muestra la Figura 5, se ofrece esta protección dentro de la zona diferencial del transformador de manera de brindar protección de V/Hz cuando el generador está fuera de línea.

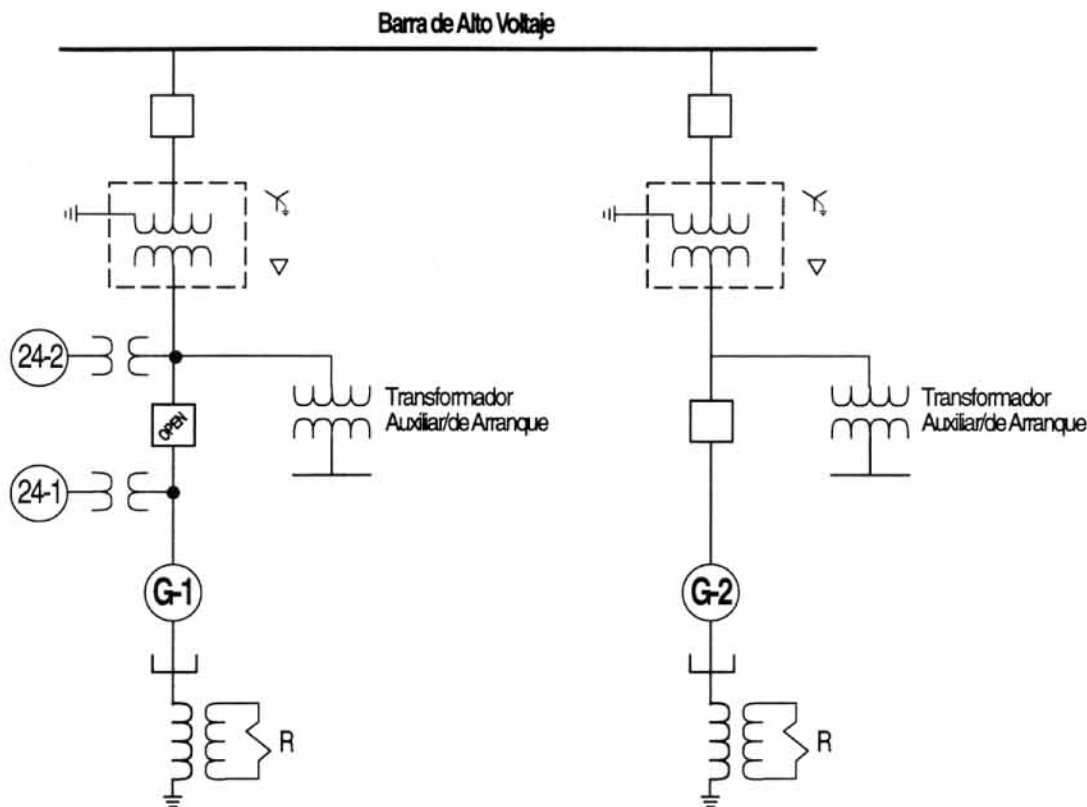


Figura 5 — Típico Diagrama Unifilar de una Turbina a Gas con Protección de V/Hz

Protección contra Falla a Tierra del Transformador GSU

La Figura 6 muestra un diagrama unifilar típico de una turbina a gas. Este tipo de disposición se utiliza también en algunas plantas hidroeléctricas.

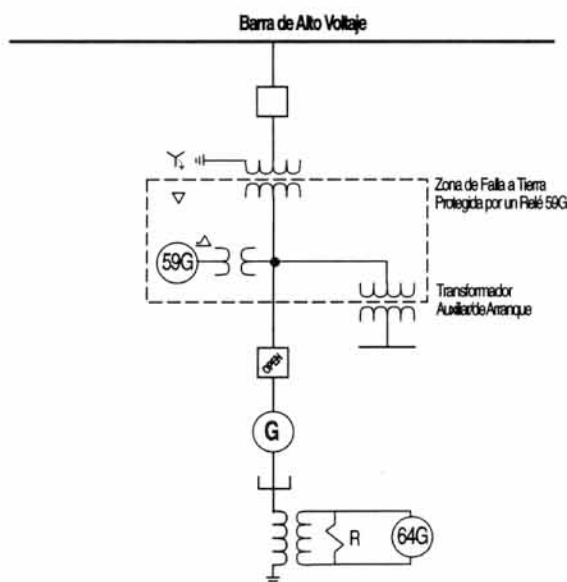


Figura 6 — Típico Diagrama Unifilar de una Turbina a Gas utilizando el 59G para Protección contra Falla a Tierra

La tierra del sistema en el lado de bajo voltaje del GSU está provista por el transformador de puesta a tierra del neutro del generador. El relé 64G ofrece la protección contra falla a tierra. Pero cuando el generador está fuera de servicio, el GSU permanece en servicio para alimentar el transformador auxiliar, que funciona entonces como fuente de alimentación de arranque de la planta. Para esta condición, es necesario que la protección contra falla a tierra se proporcione en la zona indicada en la Figura 6. Esta protección se ofrece mediante un VT en triángulo abierto conectado a un relé de sobrevoltaje 59G. Al estar en servicio el generador, habrá presencia de voltaje de tercera armónica a través del triángulo abierto. Por esta razón, el relé 59G deberá estar sintonizado a la frecuencia fundamental (60 Hz).

Protección de Transformadores Industriales y Auxiliares/ de Arranque

Los transformadores auxiliares y de arranque en las plantas eléctricas así como los transformadores en instalaciones industriales, generalmente se conectan a tierra mediante un resistor de puesta a tierra en el neutro del transformador. La razón obvia para esto es la reducción de los niveles de la corriente de falla a tierra, para minimizar los daños en el punto de la falla. Estos sistemas están casi completamente constituidos por cables y por lo general alimentan una carga de motores significativa. El tipo más frecuente de falla es la falla entre una fase y tierra.

Una segunda razón muy importante para la puesta a tierra con resistor es que reduce la perturbación del voltaje causada por una falla entre fase y tierra. Hay muy poca reducción en el voltaje entre fases durante una falla a tierra

cuando las corrientes se reducen al nivel de 100-600 A que es típico en estos sistemas. Por lo tanto, los motores no son "sacudidos" por los huecos de voltaje ocasionados por las fallas entre fase y tierra.

Este tipo de conexión a tierra reduce la corriente de falla a tierra dentro de la zona diferencial del transformador en el devanado secundario. Esta corriente puede ser inferior al umbral de operación del tradicional relé diferencial de transformadores 87T. La Figura 7 ilustra la zona de operación donde el relé 87T puede no detectar una falla a tierra. En muchos casos, el relé de sobrecorriente de neutro temporizado 51G ofrece protección con retardo de tiempo contra las fallas en esta zona.

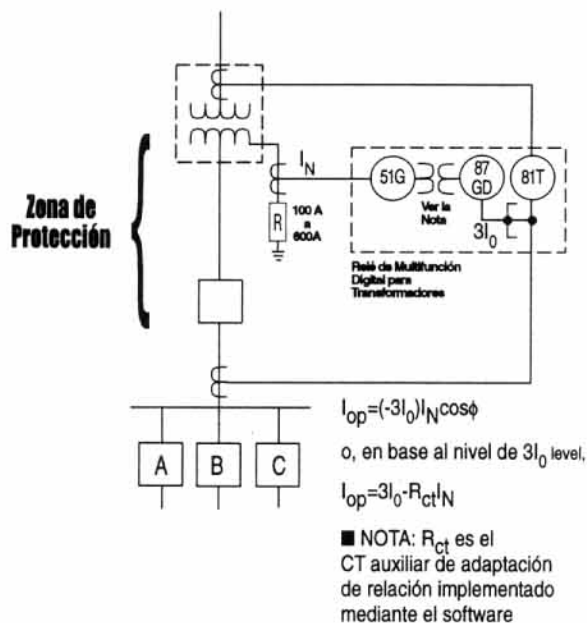


Figura 7 — Aplicación Auxiliar o Industrial del Relé Diferencial de Tierra en una Planta Eléctrica

Se puede obtener protección de alta velocidad usando un relé diferencial de tierra tipo de producto. Este concepto ya existía en la tecnología electromecánica y está ahora disponible en los conjuntos de protección digitales para transformadores. El relé de producto usa $(-3I_0)(I_N) \cos \phi$ como su magnitud operacional. Para las fallas externas a la zona de protección, la magnitud operacional neta es negativa y el relé va a restringirse de operar. Para valores bajos de $3I_0$, el relé usa un equilibrador de $3I_0 - R_{ct} I_N$, donde R_{ct} es un CT auxiliar de adaptación de relación, para determinar una falla interna. Este transformador de corriente auxiliar se suministra como parte del algoritmo del software para esta función de relé, en lugar de ser un CT real como en el caso de la tecnología electromecánica.

PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN

Protección (V/Hz) contra Sobreexcitación

Los transformadores de las plantas eléctricas, como se indicara en la sección previa de este artículo, no son los únicos transformadores que pueden estar sujetos a condiciones de sobreexcitación. Se tiene constancia que los autotransformadores con tomas en líneas de EHV (voltaje extra alto) soportan sobrevoltajes prolongados. El diagrama unifilar de la Figura 8 ilustra este tipo de configuración.

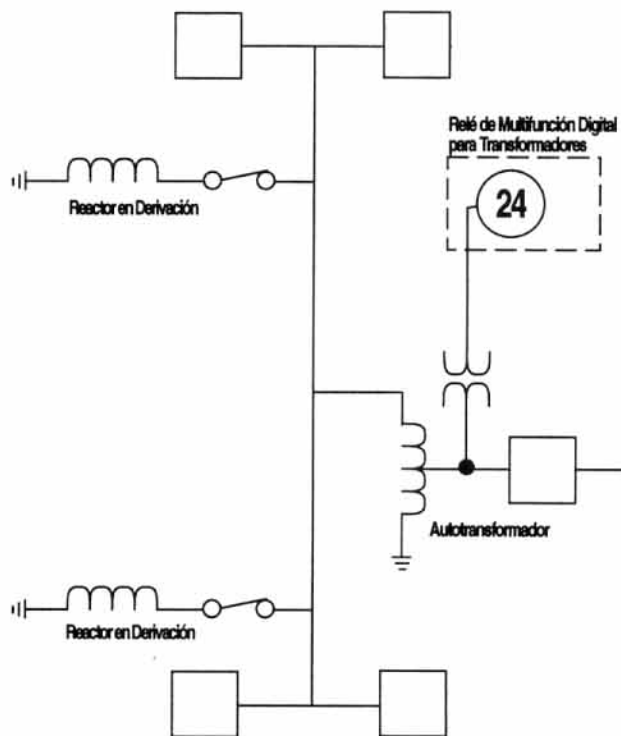


Figura 8 — Autotransformador con Toma en un Sistema de EHV

El control del voltaje en estos circuitos se realiza con reactores en derivación (*shunt*). Estos reactores controlan el sobrevoltaje causado por la capacitancia distribuida línea-derivación cuando se conmuta la línea entre su entrada y salida del servicio. Una conmutación incorrecta de la línea que deja por descuido fuera de servicio los reactores en derivación, puede producir una condición de V/Hz en las ubicaciones con tomas de transformador. Por lo tanto, en este tipo de aplicaciones es necesario considerar la protección de V/Hz.

Bloqueo del Relé de Cambio Repentino en la Presión (SPR)

El principio en base al cual se diseñó el SPR es el siguiente. Este relé fue desarrollado para responder al aumento repentino en la presión del gas o el aceite en un transformador, producido por el arco de una falla interna del transformador. La ruptura dieléctrica del aceite del transformador ocasionada por el arco eléctrico resulta en la creación de gas combustible.

Al despedirse el gas, el aceite, como no es comprimible, se desplaza hacia arriba - comprimiendo el gas en el "cojín de gas" y produciendo una tasa de cambio de presión. Esta tasa de cambio de presión es función del tiempo y la magnitud de la corriente de arco. El SPR es lo suficientemente sensible para responder al aumento de presión causado por las fallas entre espiras, y responderá con gran rapidez a las fallas internas graves.

La Figura 9 muestra una vista en corte del relé SPR de Westinghouse. Está montado en el espacio para gas que hay en la parte superior de la cuba del transformador. Los cambios de presión normales creados por un cambio en la carga o en la temperatura ambiente son compensados por un pequeño orificio entre el transformador y la cámara del relé. Un cambio en la presión que excede la tasa normal (0,29 a 0,44 psi por segundo) crea una diferencia de presión a través del fuelle. El fuelle acciona el microconmutador, como se muestra en la Figura 10, que engancha un relé auxiliar de alta velocidad (63X) que a su vez inicia la desconexión del transformador.

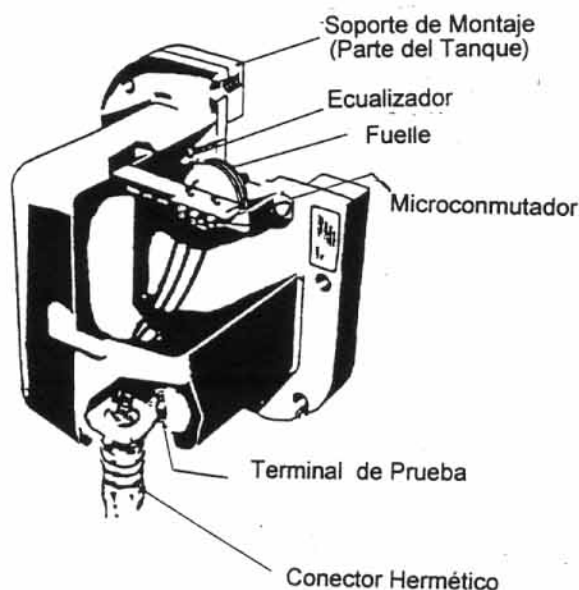


Figura 9 — SPR (Relé de Cambio Repentino en la Presión)

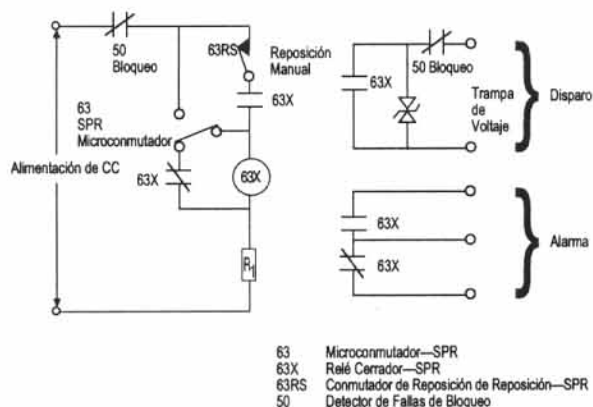


Figura 10 — Diagrama de Control Auxiliar del SPR

El tamaño y el volumen físico de los transformadores para EHV junto con los altos niveles de corriente de falla que existen en los sistemas de EHV actuales, crean fuerzas dentro del transformador durante una falla de paso. Estas fuerzas pueden causar un movimiento de los devanados o una deformación de la pared de la cuba de suficiente magnitud para provocar el desplazamiento del aceite. Esto, a su vez, comprime el cojín de gas, produciendo un cambio suficientemente grande de presión en los relés SPR tipo gas o aceite. El SPR no puede distinguir entre la tasa de cambio en la presión debida a una falla de paso o a una legítima falla interna. La experiencia de numerosas empresas de electricidad confirma que pueden producirse operaciones falsas del SPR como consecuencia de las fallas de paso.

La velocidad de la operación del SPR es proporcional a la tasa de cambio de la presión que se produce en el transformador. La Figura 11a ilustra el tiempo de operación como función de la tasa de cambio de la presión. Se cree que la mayoría de las fallas de paso provocan un cambio de presión en el rango de 10 a 20 psi por segundo. Una vez accionado, el SPR no se repone inmediatamente ya que continúa la oscilación de la presión en el transformador, y ello mantiene enganchado el relé. Los tiempos de reposición se muestran en la Figura 11b. La Referencia 3 ofrece un tratamiento más detallado de los tiempos de operación/reposición del SPR e incluye información sobre la respuesta de los relés SPR para presión del aceite.

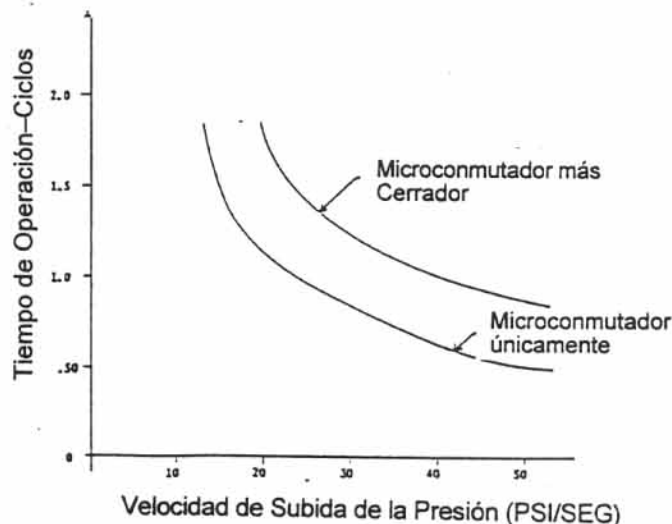


Figura 11a — Tiempo de Operación del SPR (tipo gas)



- eliminar la acción de disparo de los relés SPR;
- mantener el disparo y aceptar el riesgo de mal funcionamiento.

Relé de Multifunción Digital para Transformadores

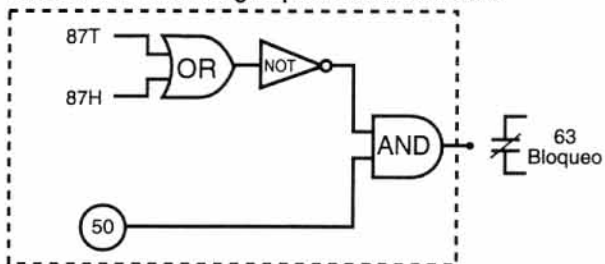


Figura 12b — Diagrama Lógico de Bloqueo del SPR

PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

La separación de cargas por baja frecuencia ha sido implementada ampliamente entre las subestaciones de distribución. Al disponerse de múltiples contactos de salida en la mayor parte de los conjuntos de protección digitales para transformadores, no hay razón para no incorporar la separación de cargas con estos relés. Sin embargo, la separación de cargas por bajo voltaje ha sido implementada sólo en unos pocos lugares en EE.UU. Al experimentar los sistemas de energía eléctrica en EE.UU. más eventos de hundimiento del voltaje, esta práctica se hará probablemente más común. Así como la baja frecuencia es una medida del grado de sobrecarga de megavattios en el sistema eléctrico, el bajo voltaje es una medida del grado de deficiencia de VARs. Si no se dispone de VARs, el voltaje cae, y puede caer tanto como para producir un colapso del sistema eléctrico.

- coordinación en la programación del voltaje y la potencia reactiva entre empresas eléctricas vecinas, para asegurar un respaldo adecuado en VARs;

- bloqueo de los LTCs durante una declinación en el voltaje del sistema, como lo hacen muchas empresas eléctricas en Europa;
- separación de cargas por bajo voltaje.

Los relés de bajo voltaje para esta aplicación deberán ser diseñados restringiendo su operación a un ancho de banda o un rango estrecho, y a un valor específico dentro de ese ancho de banda, para evitar la operación falsa en condiciones de falla. En algunos casos, la separación de cargas por voltaje y el bloqueo de LTCs se accionan únicamente cuando el sistema eléctrico está experimentando una condición de alto esfuerzo. Ello se logra mediante un mando SCADA al centro general de despacho.

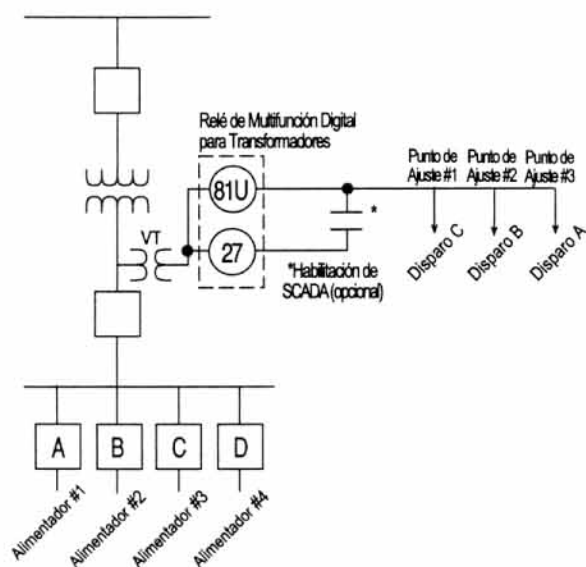


Figura 13 — Separación de Cargas por Baja Frecuencia/Bajo Voltaje
ESQUEMAS LÓGICOS EN SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

Los esquemas que integran la lógica de los relés digitales para alimentadores y transformadores pueden usarse para realzar los beneficios de la protección digital. Tales esquemas pueden ofrecer protección contra fallas en la barra y protección de respaldo contra fallas de relés de alimentadores, y pueden incrementar la utilización de subestaciones de distribución con dos bancos.

Lógica de Fallas en la Barra

La protección contra fallas en la barra de distribución puede lograrse utilizando detectores de fallas de sobrecorriente instantánea en los conjuntos de relés para transformadores y alimentadores. En la Figura 14 se muestra un esquema de este tipo. Un relé de sobrecorriente instantánea para transformadores (50) se usa como detector de fallas. Está ajustado para sobrealcanzar la barra y su operación es bloqueada por cualquier relé instantáneo de alimentador. Se añade comúnmente un pequeño retardo de tiempo de 5 a 8 ciclos para asegurar que se ha producido el bloqueo. Este

esquema ofrece una protección contra fallas en la barra relativamente rápida, sin necesidad de añadir otros relés diferenciales de barra.

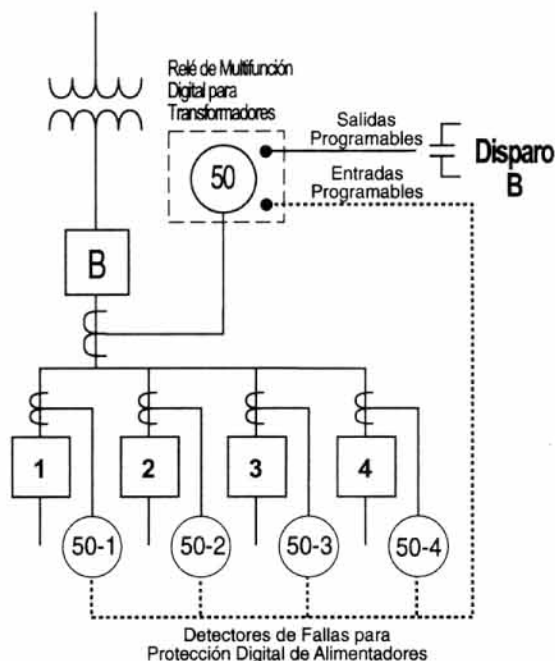


Figura 14a — Diagrama Funcional de Protección contra Fallas en la Barra

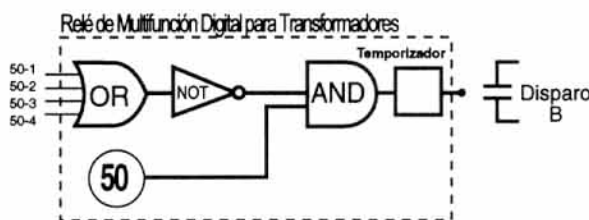


Figura 14b — Diagrama Lógico de Protección contra Fallas en la Barra

Lógica de Respaldo de Alimentadores

Los contactos de salida para fallas de autocomprobación en los relés de protección digitales para alimentadores, pueden usarse en conjunción con grupos de ajustes múltiples lógicos y programables en el conjunto de protección de transformadores para proporcionar respaldo a un relé de alimentador que haya fallado. El esquema lógico y el uso de un grupo de ajustes alternativos se muestran en la Figura 15. Un esquema como éste puede evitar que sea necesario contar con otros relés de respaldo independientes en cada tablero alimentador.

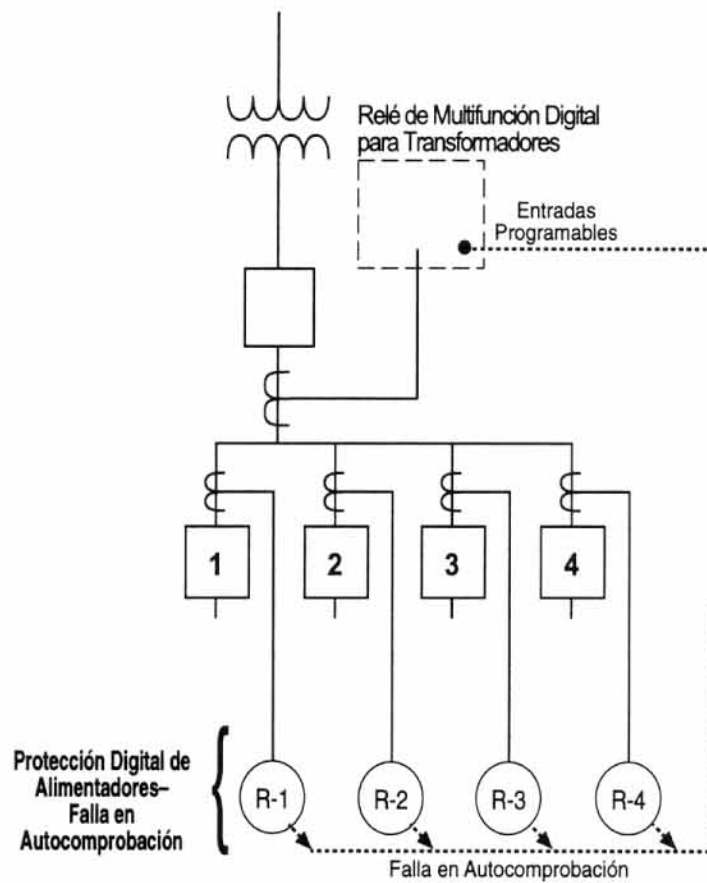


Figura 15a — Diagrama Funcional de Respaldo por Falla del Relé Digital de Alimentador

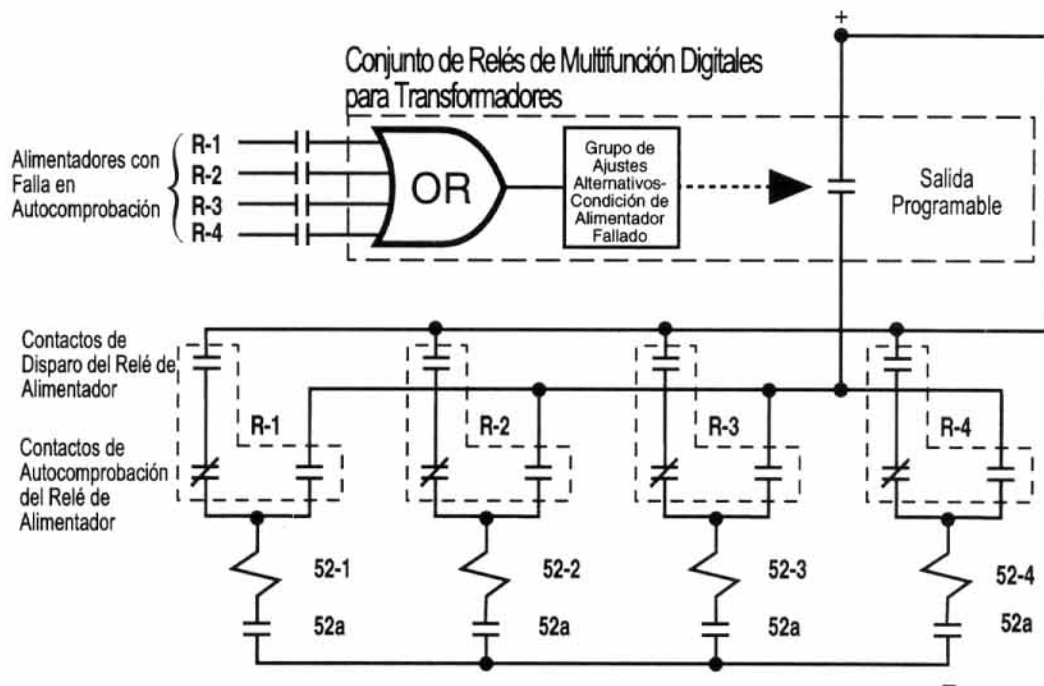


Figura 15b — Diagrama Lógico de Respaldo por Falla del Relé Digital de Alimentador

Separación de Cargas en Subestaciones con Dos Bancos

El incremento en la utilización de subestaciones de distribución con dos bancos puede ofrecer a una empresa de electricidad un beneficio económico substancial. La Figura 16a muestra una típica subestación con dos bancos. Es práctica común el operar bajo condiciones normales con el interruptor de enlace de la barra abierto para reducir el servicio ante fallas de alimentadores. Al perderse un transformador, o a veces también la línea de alimentación, el interruptor del banco afectado (A o C) se abre y el interruptor de enlace de la barra (B) se cierra para transferir automáticamente al banco complementario la sección de la barra donde hubo interrupción del servicio. Para acomodar este tipo de restauración automática, la carga de la estación con dos bancos está limitada al régimen de capacidad N-1 de uno de los transformadores. Este es típicamente de un valor que excede la capacidad nominal de uno de los transformadores, y es un régimen de carga de corto tiempo. El tiempo involucrado en este régimen se basa generalmente en la estimación que hace la empresa de electricidad de la rapidez (en un día, típicamente) con que la carga puede aliviarse mediante la transferencia de cargas a otras subestaciones, o instalando un transformador de subestación móvil.

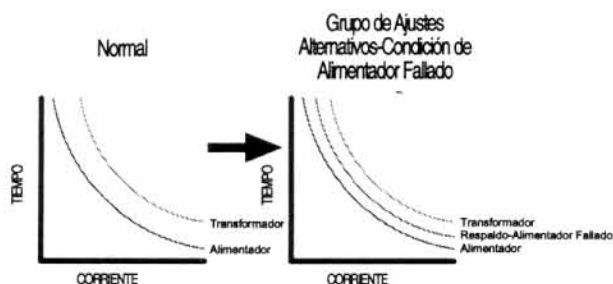


Figura 15c — Uso de un Grupo de Ajustes Alternativos - Respaldo por Falla del Relé Digital de Alimentador

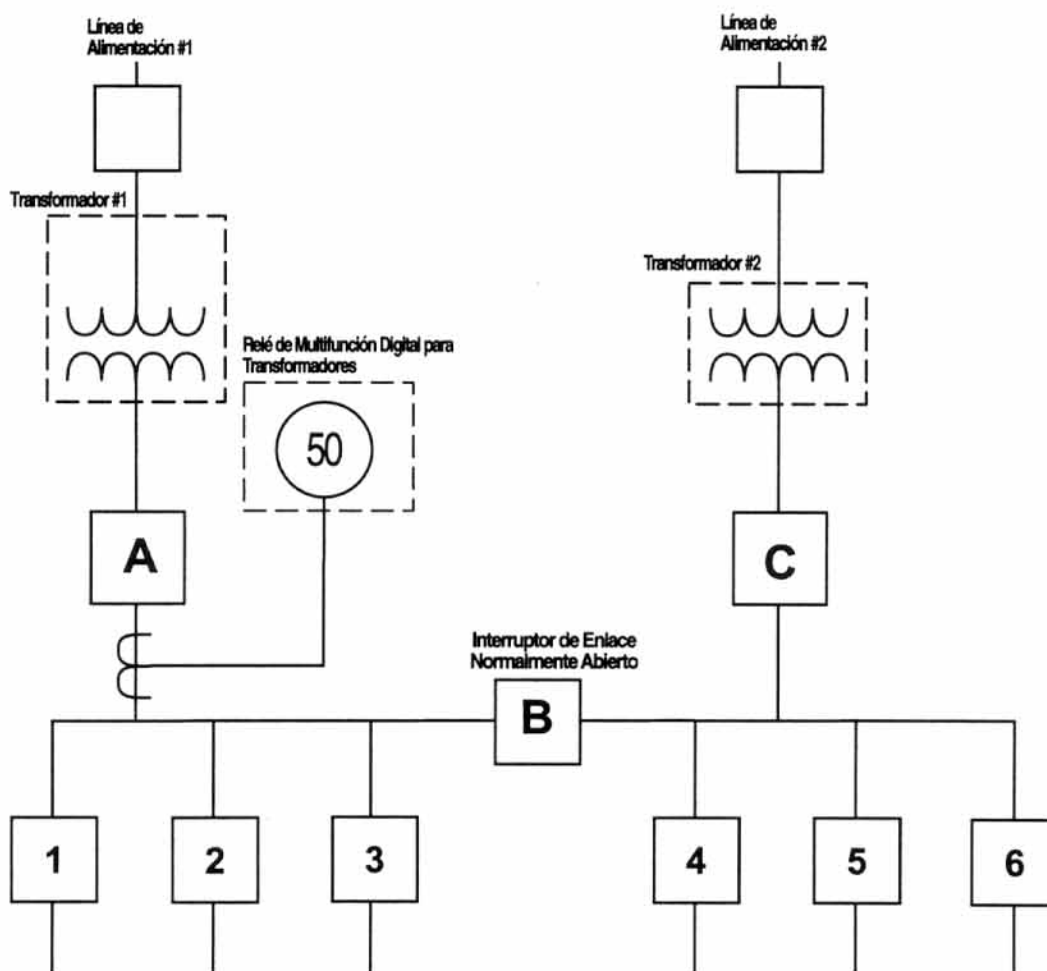


Figura 16a — Diagrama Funcional de Separación de la Sobrecarga en una Subestación de Distribución con Dos Bancos



Figura 16b — Diagrama Lógico de Separación de la Sobrecarga en una Subestación de Distribución con Dos Bancos

Como se muestra en el ejemplo de la Figura 16b, al cargarse la subestación de distribución hasta la capacidad nominal combinada de ambos transformadores se puede lograr un incremento significativo en la capacidad de carga. Típicamente, los picos de carga en la distribución ocurren sólo durante un pequeño porcentaje del tiempo en cada año. Por lo tanto, la coincidencia de la pérdida de un transformador o línea de alimentación con un período de carga pico es un evento poco común. La Referencia 4 ofrece un método analítico para evaluar el impacto de este tipo de filosofía de planificación sobre la fiabilidad para el usuario. En un conjunto de relés digitales para transformadores se puede implementar un esquema lógico para el disparo de alimentadores que permita la separación de cargas, y así proteger al transformador restante contra su exposición a las cargas que excedan su capacidad N-1 de corto tiempo. El incremento en la capacidad de distribución resultante de adoptar una filosofía de protección planificada como ésta, puede ser muy significativo.

CONCLUSIÓN

Con el advenimiento de relés digitales más poderosos para transformadores, basados en microprocesadores, es posible integrar en estos conjuntos otras funciones además de las protecciones de sobre corriente y diferencial. Funciones como las de sobreexcitación con V/Hz, sobrevoltaje de neutro, diferencial de tierra y separación de cargas por baja frecuencia/bajo voltaje, añaden características protectoras mejoradas a la zona de protección de los transformadores. Las funciones seleccionables por el usuario permiten configurar estos relés para cumplir con requisitos específicos de aplicación de protecciones. Los esquemas que integran la lógica del transformador y los relés digitales para alimentadores realzan aún más las ventajas para el usuario. En este artículo se reseñaron diversas aplicaciones específicas y esquemas lógicos que pueden ser de gran utilidad para el usuario.

REFERENCIAS

1. ANSI/IEEE C57.12 "Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers." (*Requisitos Generales Estándar para Transformadores de Regulación, Potencia y Distribución Sumergidos en Líquido*).

Ejemplo:

Régimen N-1 — Banco de 30MVA	40MVA
Plena Capacidad (30MVA x 2)	60MVA
Aumento de la Carga	20MVA

2. "Survey of the Voltage Collapse Phenomenon." (*Estudio sobre el Fenómeno del Hundimiento del Voltaje*), North American Electric Reliability Council, Agosto 1991.
3. "Current Supervision of Fault Pressure Relays on Large EHV Transformers" (*Supervisión de Corriente de Relés de Falla de Presión en Grandes Transformadores de EHV*), C.J. Mozina y D.E. Grimes, PEA, Febrero, 1977.
4. "Increasing the Utilization of Two-Bank Distribution Substations" (*Aumentando la Utilización de Subestaciones de Distribución con Dos Bancos*), C.J. Mozina, PEA, Septiembre 1980.
5. "Microprocessor Transformer Differential Relays Application and Operating Experiences" (*Aplicación y Experiencias de Operación de Relés Diferenciales con Microprocesadores para Transformadores*), B.W. Jackson, S.B. Ladd, Duke Power Co., Georgia Tech Relay Conference, Mayo 1997.

ACERCA DEL AUTOR

Chuck Mozina es el Gerente de Ingeniería de Aplicación de Protecciones y Sistemas de Protección de Beckwith Electric Co. Es responsable de la aplicación de productos y sistemas Beckwith que se utilizan en protección de generadores y en esquemas de protección de interconexiones, sincronización y transferencias de barras.

Chuck es miembro activo del IEEE Power System Relay Committee (PSRC) (*comité sobre relés de sistemas de energía eléctrica*) y fue presidente del Rotating Machinery Subcommittee (*subcomité sobre máquinas rotativas*). Es representante de EE.UU. al CIGRE "Study Committee 34 on System Protection" y encabeza un grupo de trabajo de CIGRE sobre protección de generadores. Encabezó también el equipo de trabajo de IEEE que produjo el instructivo "The Protection of Synchronous Generators" (*la protección de generadores sincrónicos*), ganando la distinción "Outstanding Working Group Award" de PSRC en 1995. Chuck obtuvo en 1993 la distinción "Career Service Award" de PSRC.

Chuck es bachiller de ciencias en ingeniería eléctrica de Purdue University, y es autor de ensayos y artículos en revistas sobre protección con relés. Tiene más de 25 años de experiencia como ingeniero de protecciones en Centenier Energy, una importante empresa eléctrica privada en Cleveland, Ohio. Fue también instructor en la Escuela de Graduados de Ingeniería Eléctrica en Cleveland State University.