

Evaluación del Comportamiento de la Protección de Porcentaje Diferencial para Transformadores de Potencia a partir de la Simulación en MATLAB

O. E. Torres

Autor Invitado

Instituto Superior José Antonio Echevarría. Centro de Investigaciones y Pruebas Eléctricas, La Habana, Cuba.

Resumen-- La función de porcentaje diferencial de corriente constituye la función principal que se emplean hoy día en la protección de transformadores de potencia. Esta protección puede actuar incorrectamente, accionando para cortocircuitos externos y no accionando para cortocircuitos internos. Utilizando la modelación matemática en MATLAB se simularon y demostraron posibles operaciones incorrectas de la protección diferencial para transformadores de potencia. Estos conocimientos permitirán tomar acciones para evitar las operaciones incorrectas en el futuro.

Palabras Clave-- transformadores de potencia, protecciones eléctricas, protecciones de porcentaje diferencial, protección diferencial de corriente.

1. INTRODUCCIÓN

En un transformador de potencia pueden ocurrir numerosos regímenes anormales y averías para los cuales se hace necesaria su desconexión. Los cortocircuitos internos son las averías que deben desconectarse con la mayor velocidad posible y para esto hoy día se emplea ampliamente la protección de porcentaje diferencial longitudinal de corriente [1].

Esta protección aunque es considerada la función principal empleada en transformadores de potencia por encima de los 10MVA, no es una protección infalible, sino que puede operar incorrectamente. Aunque se ha trabajado mucho en el perfeccionamiento del principio diferencial, el cuál es diferente y más complejo en transformadores de potencia comparándolas con las empleadas en motores y generadores, puede operar incorrectamente sino se toman las medidas adecuadas.

Una vez que se expliquen los posibles fenómenos que pueden producir las operaciones incorrectas en la protección diferencial longitudinal de corriente, se empleará la modelación matemática en MATLAB para demostrar las posibles operaciones incorrectas que aún pueden ocurrir.

2. PRINCIPIOS DE LA PROTECCIÓN DE PORCENTAJE DIFERENCIAL

La protección diferencial longitudinal de corriente se basa en el principio de la primera ley de Kirchoff. Las corrientes que entren al equipo protegido deben ser iguales a las que salen. En los transformadores de potencia este principio simple no se cumple nunca debido a las corrientes propias de la magnetización en sus núcleos. Por tal razón la protección que más se emplea hoy día posee un principio más complejo y es la Protección de Porcentaje Diferencial Longitudinal de Corriente.

Esta protección de porcentaje diferencial se basa en el mismo principio de la diferencia entre las corrientes de ambos devanados primarios y secundarios, pero no solo emplea la diferencia entre las corrientes sino que utiliza una característica de operación un poco más compleja.

La Fig. 1 muestra una de las características de operación en los relés digitales actualmente utilizados. Dos corrientes son empleadas: la corriente de operación y de restricción [2].

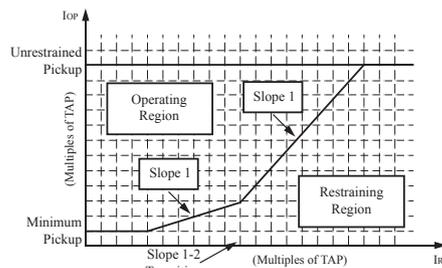


Figura 1: Características de operación de una protección de porcentaje diferencial [3]. Esta característica puede ser diferente según el fabricante del relé.

3. ASPECTOS QUE PUEDEN PROVOCAR LAS OPERACIONES INCORRECTAS

Aunque la función diferencial longitudinal de corriente es la función más importante que presentan los relés multifuncionales para proteger los transformadores de potencia esta no está libre de operar incorrectamente. Las operaciones incorrectas pueden ser clasificadas de varias formas:

- Opera la protección contra cortocircuitos externos para los cuales no debe operar (problemas de selectividad).
- No opera la protección cuando ocurren cortocircuitos internos porque no puede detectarlos (problemas de sensibilidad).
- Demora de tiempo en la operación de la protección para cortocircuitos internos (problemas con la velocidad de operación).

Existen varios factores que afectan el funcionamiento de la protección de porcentaje diferencial longitudinal de corriente, los cuales la pueden hacer operar incorrectamente:

- La imposibilidad de encontrar los transformadores de corriente ideales para lograr que la diferencia entre las corrientes del devanado secundario y primario se igual a cero (solucionado).
- El cambio TAP del transformador de potencia varía la relación de corriente entre los devanados para la cual fueron seleccionados los transformadores de corriente. Esto puede provocar un incremento en la diferencia de la corriente (solucionado).
- Las conexiones estrella – delta provocan una diferencia angular de las corrientes entre los devanados del transformador de potencia. Esto provocará una diferencia de corriente aunque los transformadores de corriente sean ideales (solucionado).
- Regímenes normales tales como las corrientes de inrush que provocan un incremento de las corrientes en solo uno de los devanados del transformador. Esto crea una diferencia muy grande entre las corrientes en ambos devanados (solucionado pero con inconvenientes).
- La saturación de los transformadores de corriente durante la ocurrencia de cortocircuitos tanto internos como externos. Esto puede provocar en dependencia de la profundidad de la saturación una diferencia muy grande entre las corrientes en ambos devanados (parcialmente solucionado).
- Apertura de uno o más conductores del circuito secundario de la protección diferencial. La diferencia entre las corrientes de ambos devanados puede ser grande y depende del régimen en que se encuentre el transformador (No solucionado).

La mayoría de los aspectos presentados anteriormente que afectan el correcto funcionamiento del principio de porcentaje diferencial longitudinal

de corriente en los transformadores de potencia ya han encontrado soluciones en los relés de porcentaje diferencial multifuncional que se construyen hoy día. Los relés digitales para proteger transformadores de potencia son uno de los más costosos de los que se encuentran en el mercado comparándolos con las otras máquinas: motores y generadores.

4. IMPACTO DE LAS SOLUCIONES ACTUALES PARA EVITAR LAS OPERACIONES INCORRECTAS

Al tratar de solucionar cada uno de los fenómenos negativos mencionados anteriormente que afectan a la protección de porcentaje diferencial de los transformadores de potencia, los relés digitales multifuncionales han aumentado su costo incrementando su capacidad de cálculo, implementando algoritmos de bloqueos para evitar operaciones incorrectas contra fallas externas e incluyendo más procesamiento matemático para lograr que se cumplan las relaciones del principio de la protección diferencial.

Los procesos matemáticos incluidos en el relé para lograr que se cumpla el principio diferencial son muchos y se mencionarán a continuación:

- Transformador de corriente ideal.
- Corrección dinámica del transformador de corriente ideal.
- Corrección del desfase producido por la conexión estrella – delta.
- Varias formas o tipos de rampas en las curvas de operación.
- Diferentes formas de calcular la corriente de restricción.
- Bloqueo por segundos y quintos armónicos de corriente.
- Bloqueo cruzado de armónicos de corriente.

No en todos los relés estas ecuaciones y nuevos procesamientos matemáticos se realizan de la misma manera, así que es importante estudiar con cuidado el relé que se desea verificar. Entre compañías fabricantes de protecciones se modifican por ejemplo las curvas de operación de los relés diferenciales.

A pesar de aumentar la capacidad de procesamiento matemático de los coprocesadores matemáticos empleados en los relés e incluir numerosos y

nuevos ajustes en el relé antes de tomar la decisión de operación esta protección no está libre de operar incorrectamente, para probarlo debemos emplear la simulación matemática dinámica en el tiempo.

5. MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA SIMULACIÓN DE LA PROTECCIÓN DE PORCENTAJE DIFERENCIAL DE CORRIENTE EN MATLAB.

Cómo el funcionamiento de esta protección es complejo y lo hace a partir de regímenes transitorios, basado en objetos que poseen un comportamiento no lineal, tales como: el transformador de potencia, los transformadores de corriente y el propio relé, se empleará MATLAB para la demostración de la operación de un tipo determinado de relé diferencial.

Para esta modelación se emplearon los siguientes modelos ya existentes en el blockset SimPowerSystem de MATLAB:

- Sistema de potencia equivalente.
- Transformador de potencia.
- Interruptor de potencia.
- Cortocircuito.
- Cargas o consumo eléctrico.

Para esta modelación se despreciaron las siguientes características conocidas en la protección de los transformadores:

- Curva de histéresis del transformador de potencia y los transformadores de corriente.
- Tiempo de operación del interruptor de potencia.
- Resistencia de la tierra en los cortocircuitos.
- Cortocircuitos internos en los devanados del transformador de potencia.
- El consumo se consideró a potencia activa y reactiva constante.

Se consideró que la modelación de estos aspectos despreciados no traería beneficios o modificaciones en los resultados esperados sobre el comportamiento del relé de porcentaje diferencial frente a los cortocircuitos internos o externos.

Otros modelos debieron ser creados:

- Modelo del circuito de control de los interruptores.
- Modelo del transformador de corriente.
- Modelo del relé de porcentaje diferencial.

5.1. Modelo del circuito de control del interruptor

Sobre el circuito de control se modelo solo las posibilidades de encender y apagar el interruptor ya sea por vía manual o por la vía de la protección, conocida como operación automática.

Es importante un modelo de un circuito de control del interruptor que permita el funcionamiento integral del modelo simulado en MATLAB. Este tiene como función activar o desactivar el interruptor modelado.

En la Fig. 2 se muestra el modelo utilizado para la simulación del circuito de control de los interruptores. El modelo del circuito de control tiene 3 entradas, dos para la operación de encendido y apagado manual y la tercera entrada para el apagado proveniente del relé.

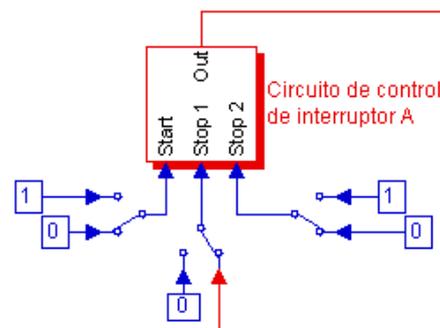


Figura 2: Modelo del circuito de control del interruptor. a) modelo general del circuito de control de los interruptores de potencia.

Se pudiera añadir más funciones o complejidades a este modelo del circuito de control para profundizar en otros aspectos tales como las características de *Breaker Failure* [2] de las protecciones digitales modernas, pero no son objetivos de este trabajo.

5.2. Modelo de los transformadores de corriente

Los transformadores de corriente -TC no vienen modelados en SimPowerSystem por lo que se crea un modelo que se pueda instalar en serie tal como si fuera uno de los TC reales.

En este modelo se consideró la curva de saturación del núcleo del transformador y la impedancia de la carga conectada al secundario del TC diferenciándola entre componentes inductivas y resistivas.

En la Fig. 3 se muestra el modelo utilizado en simulación de los transformadores de corriente. Este modelo es totalmente parametrizable por el usuario según el TC real que se esté empleando.

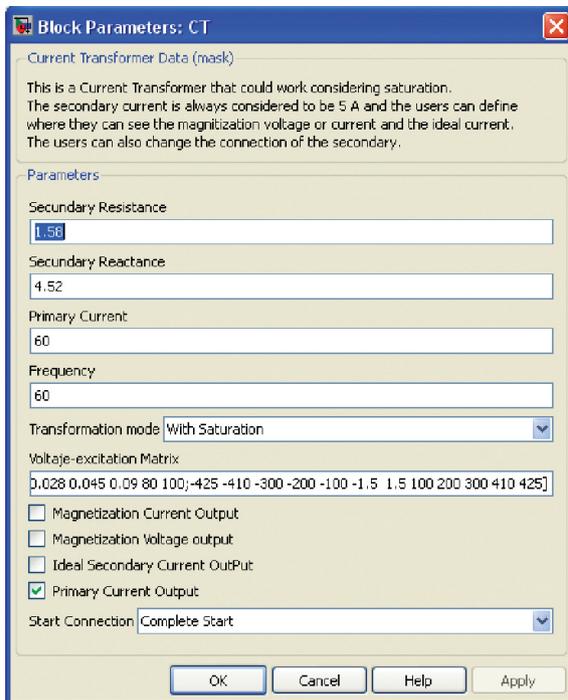
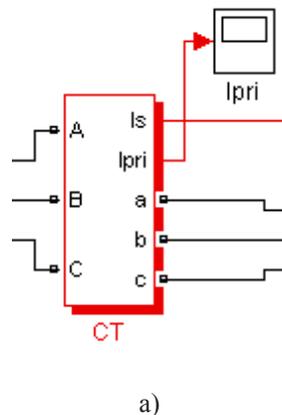


Figura 3: Modelo del TC saturable. a) Modelo genérico del TC trifásico. b) Parámetros especificados por los usuarios.

En este modelo se considera la carga del transformador de corriente como constante y esto no es real, dado que aunque los objetos son constantes, tales como: cables, relés, instrumentos de medición, entre otros, el transformador de corriente percibe la impedancia de carga en dependencia del tipo de avería que ocurra.

Igualmente en este modelo se considera una sola curva de saturación del TC y no una curva de histéresis como en verdad se conoce que reacciona el núcleo de cualquier transformador.

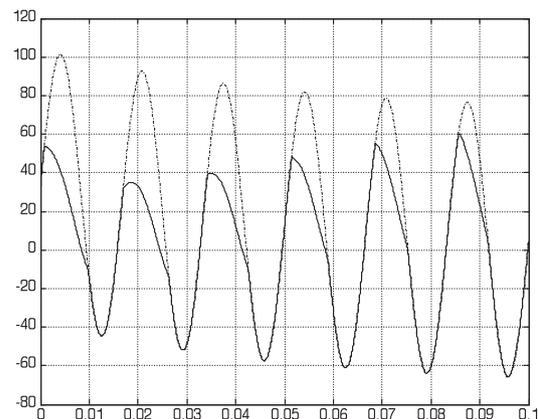


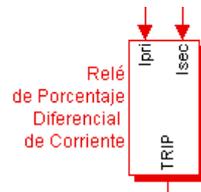
Figura 4: Formas de onda ideal y real de las corrientes en el secundario de un transformador de corriente saturado.

A pesar de las restricciones del modelo del transformador de corriente empleado, permite observar el proceso de saturación y su impacto en las formas de ondas de las corrientes Fig. 4.

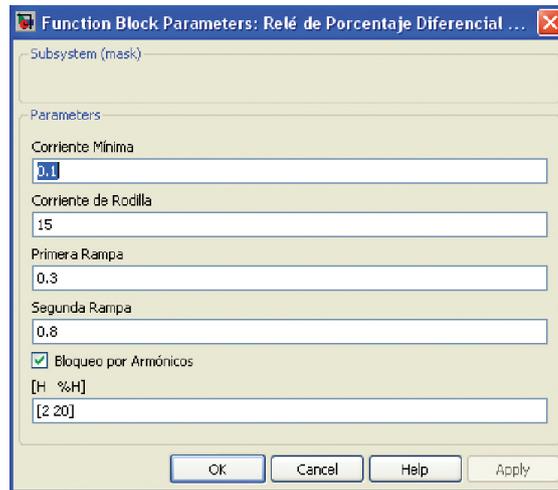
5.3. Modelo del relé de porcentaje diferencial

El modelo matemático del relé no incluye lo relacionado con el procesamiento digital de las señales de corriente y los errores que esto puede introducir, solo intenta reproducir la modelación de las funciones de protección diferencial y sus bloqueos dentro del relé multifunción.

El modelo del relé de porcentaje diferencial de corriente utiliza las corrientes de los transformadores de corriente conectados en el primario y el secundario, tiene una salida que es la señal de operación del relé. En la Fig. 5 se muestra el modelo utilizando.



a)



b)

Figura 5: Modelo del relé de porcentaje diferencial de corriente. a) modelo general del relé diferencial. b) Parámetros especificados por los usuarios.

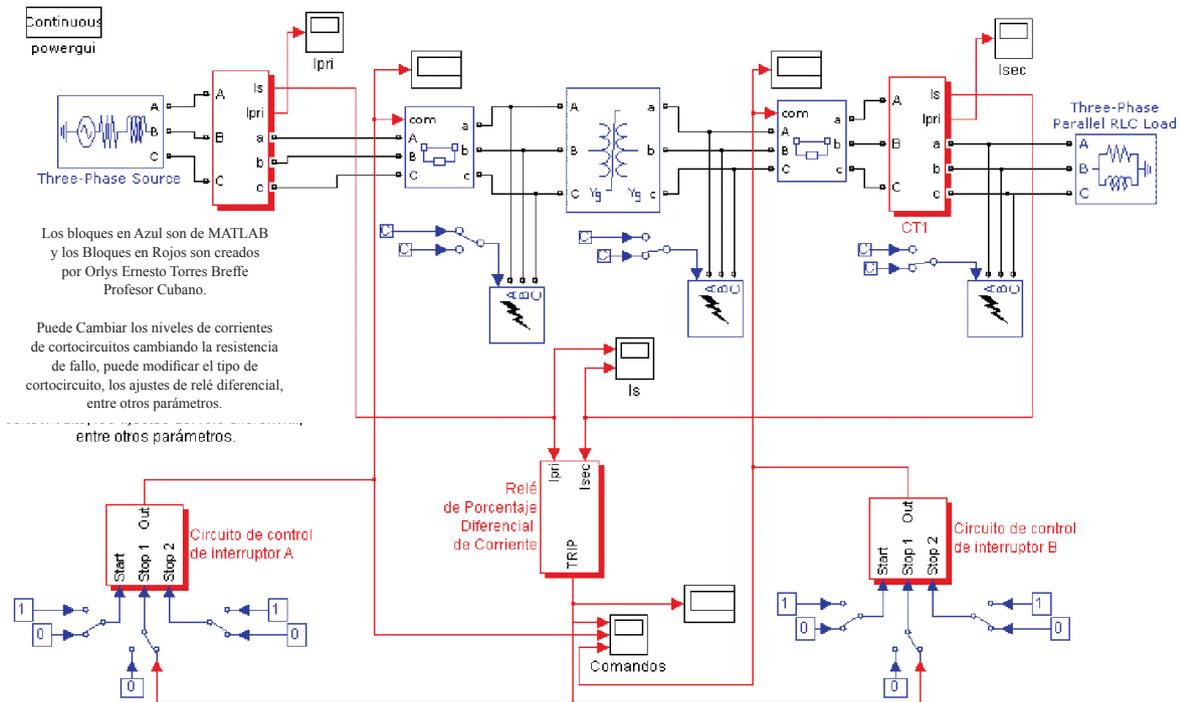


Figura 6: Modelo general empleado en la simulación del comportamiento de la protección de porcentaje diferencial de corriente para proteger un transformador de potencia contra cortocircuito externos e internos.

En este modelo solo se considera la curva de operación del relé de la forma en que se muestra en la Fig. 7 y de las muchas funciones matemáticas incluidas en los relés digitales modernos solo se insertó la función de bloqueo cruzado por segundos armónicos.

En la Fig. 6 se muestra el modelo general creado para simular el comportamiento de la protección diferencial; el cual incluye el sistema de potencia que alimenta una carga eléctrica constante a través de un transformador de potencia el cual está protegido por un relé de porcentaje diferencial.

6. OPERACIONES INCORRECTAS PARA FALLAS EXTERNAS

Ya se mencionó que esta protección de porcentaje diferencial solo debe actuar contra cortocircuitos en el interior del transformador, y por tanto, toda acción de la protección contra cortocircuitos externos de cualquier tipo se considera incorrecta.

Dos fenómenos de los mencionados anteriormente pueden provocar la operación incorrecta de la protección de porcentaje diferencial de corriente:

- La saturación profunda de los transformadores de corriente de uno de los devanados en presencia de las corrientes de cortocircuitos externos.
- La apertura de un conductor del secundario de los transformadores de corriente tanto para regímenes normales de carga, como para regímenes de cortocircuitos.

La saturación de los transformadores de corriente para que se convierta en un fenómeno inconveniente para la protección de porcentaje diferencial debe ocurrir en uno solo de los devanados a la vez. La saturación en ambos devanados no será igualmente dañina que la saturación en solo uno de los devanados del transformador.

La profundidad de la saturación es el factor más negativo para que el fenómeno de la saturación se convierta en un fenómeno que provoque operaciones incorrectas. Para un ajuste determinado del relé, a medida que el porcentaje de saturación aumenta, las probabilidades de operaciones incorrectas aumentan. En la Fig. 7 se muestra como el punto de operación pasa desde la zona de no operación a la zona de operación a medida que aumenta la profundidad o porcentaje de la saturación de los transformadores de corriente en solo uno de los devanados del transformador de potencia.

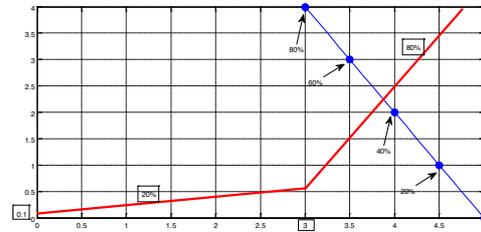


Figura 7: Punto de operación según el porcentaje de profundidad de la saturación de los TC de uno de los devanados de los transformadores de potencia.

Este tipo de saturación no debe ocurrir con frecuencia si los transformadores de corriente han sido correctamente seleccionados, pero puede ocurrir por varias razones. Una de las causas que provoca la saturación profunda de los Transformadores de corriente son los falsos contactos en el circuito secundario, lo cual provoca una impedancia adicional a la que producen los cables, equipos de medición y protecciones. Otra causa es el crecimiento de la corriente de cortocircuito a lo largo del tiempo.

Los falsos contactos en los circuitos secundarios de los transformadores de corriente pueden aparecer luego de un mantenimiento. Puede quedar el circuito secundario totalmente abierto o haciendo un contacto inadecuado. Lo cierto es que este problema puede destruir al transformador de corriente debido a las sobretensiones que aparecerían en el devanado secundario de los mismos.

En la Fig. 8 se muestra un caso típico de operación incorrecta con la operación de la protección diferencial para un cortocircuito externo. Se observan las corrientes de la fase A tanto del primario como del secundario en el secundario de los transformadores de corriente donde se satura el transformador de corriente del secundario.

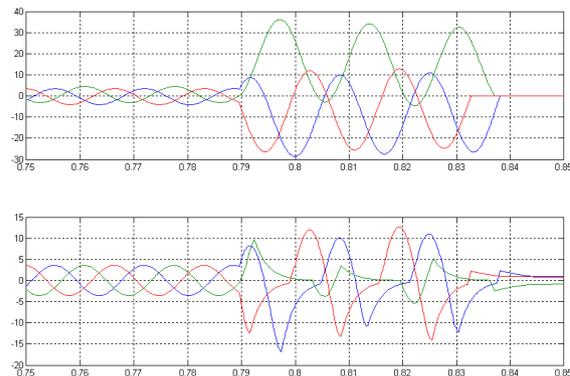


Figura 8: Formas de ondas de las corrientes de la fase A del secundario de los transformadores de corriente de ambos devanados para un cortocircuito externo con un TC saturado.

Los sistemas eléctricos de potencia están en continuos cambios y crecimientos. A medida que se construyen e instalan nuevas máquinas eléctricas generadoras, se instalan nuevas líneas en paralelo, entre otros cambios que se realizan constantemente en los sistemas eléctricos, las corrientes de los cortocircuitos van creciendo y puede que el TC escogidos años atrás, ya no cumplan las especificidades y se saturen en presencia de los cortocircuitos.

El ajuste las rampas o curvas de la protección es otro de los factores negativos que pueden provocar operaciones incorrectas de las protecciones eléctricas. Como las curvas de las protecciones diferenciales de porcentaje pueden ser diferentes entre un fabricante y otro, es importante hacer un ajuste correcto para evitar operaciones incorrectas posteriores. Estos relés precisan de 4 ajustes diferentes de ahí su complejidad e importancia. Jamás se debe ajustar la segunda rampa igual o por encima al 100%, pero esto depende de la forma en que se calcula corriente de restricción

7. OPERACIONES INCORRECTAS PARA FALLAS INTERNAS

Si las operaciones incorrectas contra las fallas externas resultan peligrosas, mucho peor resultarían las operaciones incorrectas contra fallas internas.

La desconexión de los transformadores de potencia casi siempre representa la desconexión de grandes cargas eléctricas según las arquitecturas o los tipos de esquemas de las subestaciones. Las operaciones incorrectas contra fallas externas casi siempre repercuten en gastos adicionales de recursos financieros, ya sea por energía dejada de servir o por pérdida de producción.

Las operaciones incorrectas contra fallas internas pueden ser aún más peligrosas porque pueden provocar la destrucción completa o parcial del transformador. Se considera operación incorrecta de la protección cuando ocurre la falla y esta no es desconectada o la desconexión que debería ser instantánea, resulta demorada.

Dos aspectos pueden provocar las operaciones incorrectas contra fallas internas:

- La magnitud de la corriente de la falla, la cual puede ser pequeña según la localización dentro del devanado y la impedancia que envuelve la falla.
- La saturación de los Transformadores de Corriente, que puede deformar la onda de corriente y hacer que la corriente de avería se parezca a las corrientes de Inrush según su

contenido armónico.

En la Fig. 9 se muestra el comportamiento de la corriente del primario y el secundario para fallas internas monofásicas a tierra en transformadores de potencia conectados con el neutro sólidamente aterrado, aunque es muy similar, aunque menor en magnitud, en el caso que se emplee el neutro aislado mediante resistencia.

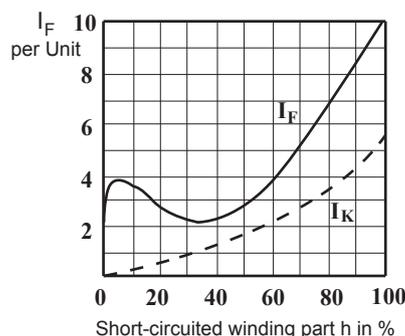


Figura 9: Corrientes en los devanados del transformador según la localización de la avería monofásica a tierra en el transformador [2].

Aunque la mayoría de las fallas internas en el transformador de potencia son de elevada magnitud y por tanto fácil de detectar comparándola con la corriente nominal, también pueden ocurrir averías que por su localización o por la impedancia involucrada en la misma, no alcancen magnitudes considerables y por tanto no serían desconectadas.

Las magnitudes de las corrientes van aumentando a medida que la localización de la avería se acerca a los terminales del devanado secundario del transformador. Las averías en las cercanías del neutro resultarán muy pequeñas e imperceptibles a las protecciones diferenciales.

Las averías presentadas en la Fig. 9 son calculadas sin considerar ninguna impedancia de falla, de ahí que pueden incluso resultar más pequeñas en otras localizaciones más avanzadas dentro del devanado del transformador. Las fallas monofásicas encuentran impedancia que impiden el crecimiento de la corriente por muchos factores. El propio aislamiento deteriorado del devanado reduce su resistencia dieléctrica en presencia de la falla, pero no se reduce la resistencia a un valor de cero. La propia resistencia de contacto del devanado con el chasis del tanque incorpora otra resistencia, así como la resistencia del sistema de puesta a tierra, son partes de las impedancias que se involucran a la avería.

La impedancia de la avería puede provocar que una

falla incluso en la mitad del devanado resulte de una amplitud tan pequeña que la protección de porcentaje diferencial no la detectaría. Por esta razón es que se emplean protecciones diferenciales especiales Fig. 10 para fallas a tierra.

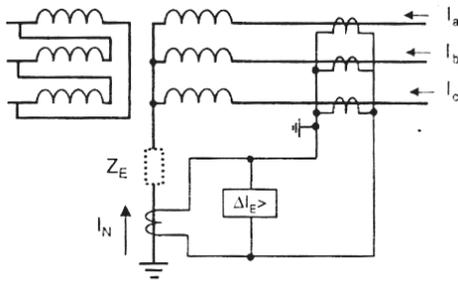


Figura 10: Protecciones diferenciales especiales contra fallas a tierra [3].

Otro fenómeno negativo adicional y diferente a la localización e impedancia de la falla es la saturación de los transformadores de corriente durante la falla. Ya se ha explicado que los transformadores de corrientes pueden saturarse y por tanto, la forma de la onda de corriente deja de ser sinusoidal por varias razones, primero por la propia componente de directa de la corriente de cortocircuito, y por la deformación propia de la saturación del transformador de corriente.

Por lo general, la deformación de la onda producida por la saturación de los TCs no provoca el incremento del segundo armónico, sino que suelen aparecer los terceros armónicos y otros más elevados. La saturación del transformador de corriente producida por corrientes con grandes componentes de directas, entonces produce la aparición de los perjudiciales segundos armónicos.

Los segundos armónicos como se explicó anteriormente se emplean por la protección diferencial de corriente para detectar y evitar su operación contra las grandes corrientes producidas por el inrush [5]. Por tanto, si ocurre un cortocircuito interno que debido a la saturación de los transformadores de corriente produzca grandes contenidos de segundos armónicos, de seguro la protección diferencial lo confundirá con un inrush y por tanto, no operará.

En la Fig. 11 se presenta la forma de onda de la señal de corriente de la fase A que produce la aparición de las corrientes de cortocircuitos con una saturación profunda de los transformadores de corriente. La operación se produce después de varios ciclos de permanencia de la corriente de cortocircuitos lo cual puede ser muy peligroso para el transformador. La demora estará en dependencia de la duración o prolongación de la componente directa de la corriente

de cortocircuito, lo cual depende de la relación X/R del sistema de potencia en esa localización y de la profundidad de la saturación del TC.

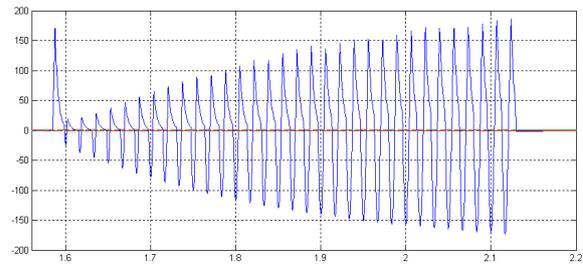


Figura 11: Formas de ondas de las corrientes durante un cortocircuito monofásico interno, con los transformadores de corriente del primario saturados por la presencia de alta impedancia adicional o corrientes de averías excesivas.

Otro fenómeno de confusión muy similar al explicado se puede producir cuando un cortocircuito ocurre justo en el momento de energizar el transformador de potencia. Cuando se energiza un transformador de potencia o durante otros momentos conocidos [3], las corrientes pueden alcanzar grandes magnitudes y estar compuestas por grandes contenidos de segundos armónicos.

Si durante la ocurrencia de un inrush se produce un cortocircuito, principalmente monofásico a tierra, puede que la componente de segundo armónico presente en las restantes fases donde no ha ocurrido el cortocircuito bloqueen la protección y tampoco operen, lo cual durará hasta que desaparezca el inrush y este puede durar entre 3 - 10 segundos.

En la Fig. 12 se muestra la forma de onda de la corriente de un cortocircuito monofásico a tierra que se produce coincidiendo con un inrush del transformador. Las grandes corrientes de cortocircuitos se mantienen hasta que desaparece el inrush y por tanto, grandes temperaturas afectarán los aislamientos destruyendo al transformador de potencia en su totalidad.

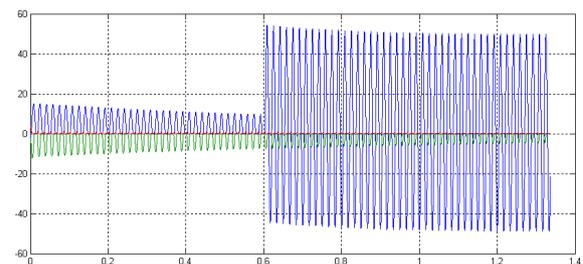


Figura 12: Formas de ondas de las corrientes de un cortocircuito monofásico a tierra coincidiendo con un inrush.

El fenómeno anterior puede ocurrir solo si la protección de porcentaje diferencial utiliza la técnica de bloqueo cruzado [4]. En este tipo de tecnología, ampliamente utilizada en los relés diferenciales para transformadores de potencia de la actualidad, aunque los armónicos aparezcan en una sola de las fases; la protección se bloqueará suponiendo un inrush. Esta técnica se aplica debido a que las corrientes con grandes componentes de segundos armónicos pueden que no aparezcan en las tres fases sino en algunas de las fases durante el inrush.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque existen varias soluciones ya implementadas y otras en investigación para evitar las operaciones incorrectas de la protección de porcentaje diferencial, no cabe duda que es en el transformador de potencia donde el método diferencial de corriente se comporta de la peor manera.

Existen algunas consideraciones a tomar en cuenta para asegurar o reducir la posibilidad de que la protección diferencial opere incorrectamente y se describirán a continuación:

1. Evitar la saturación de los TCs
 - a. Verificando que las corrientes de cortocircuitos se mantienen en los rangos establecidos para el trabajo lineal del TC.
 - b. Utilizar transformadores de corrientes exclusivos para la protección diferencial sin conectarle ninguna otra carga.
 - c. Verificar la continuidad del circuito diferencial luego de los mantenimientos y durante la instalación inicial. Se debe verificar que no existe ningún cable desconectado.
2. Si no es necesario, evitar el bloqueo cruzado de armónicos para detectar el inrush. Esto es solo necesario en transformadores muy modernos con núcleos que tienen una densidad de flujo elevada.

Existen software para el análisis y verificación del comportamiento de las protecciones eléctricas (ejemplo Easy power), pero es importante que se tome en cuenta si el software trabaja de forma dinámica o estática. Las protecciones operan durante regímenes transitorios por tanto su análisis debe ser dinámico.

Utilizando la modelación matemática en software como MATLAB, se podrá verificar que la protección de porcentaje diferencial longitudinal de corriente que hoy día es considerada como la protección principal

en los transformadores de potencia, no es infalible y puede operar incorrectamente por numerosas causas. Se puede considerar que comparándola con su aplicación en generadores y motores, en el transformador de potencia es donde peor se comporta.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Charles J. Mozina. “Digital Transformer Protection From Power Plants to Distribution Substations”, Western Protective Relay Conference. October 13-15. 1998.
- [2] SIEMENS. “Numerical Differential Protection. Principles and Applications”. 2005.
- [3] David Costello, “Lessons Learned Through Commissioning and Analyzing Data From Transformer Differential Installations”. Schweitzer Engineering Laboratories. 2006.
- [4] Zocholl, S. E. Guzman , Armando. Hou Daqing. “Transformer Modeling As Applied To Differential Protection”, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc . 22nd Annual Western Protective Relay Conference. October 24-26.1995.
- [5] Ken Behrendt, Normann Fischer and Casper Labuschagne. “Considerations for Using Harmonic Blocking and Harmonic Restraint Techniques on Transformer Differential Relays”. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. 2006.



Orlys Ernesto Torres Breffe.-

Nació en Moa, Holguín, Cuba en 1972. Obtiene título de Ingeniería Eléctrica en el Instituto Superior Minero Metalúrgico en 1995. Obtiene título de Master en Ciencia en la Universidad de Camagüey en 1999.

Obtiene el título de Doctor en Ciencias Técnicas en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría en 2005. Su campo de investigación son las protecciones eléctricas, los procesos transitorios y la Calidad de la Energía. En la actualidad está trabajando con la aplicación de las Redes de Neuronas Artificiales en las protecciones de transformadores de potencia.