

SISTEMA Y MÉTODO DE PRUEBA DEL PULSO DE RECONEXIÓN DE BAJA ENERGÍA

REFERENCIA CRUZADA A LA APLICACIÓN RELACIONADA

[0001] La presente solicitud reivindica el beneficio de prioridad de la Solicitud Provisional de los Estados Unidos No. 62/944,296, presentada el 5 de diciembre de 2019, cuya divulgación se incorpora aquí expresamente por referencia para todos los efectos.

ANTECEDENTES

Campo de la invención

[0002] La presente divulgación se relaciona en general con un sistema y un método para llevar a cabo una operación de prueba de pulsos de baja energía en una red de distribución de energía para determinar si existe una condición de falla.

Discusión del arte relacionado

[0002] Una red de distribución de energía eléctrica, a menudo denominada red eléctrica, generalmente incluye varias plantas de generación de energía, cada una de las cuales tiene varios generadores de energía, como turbinas de gas, reactores nucleares, generadores a base de carbón, represas hidroeléctricas, etc. Las plantas de energía proporcionan energía a una variedad de voltajes medios que luego se elevan mediante transformadores a una señal de CA de alto voltaje para conectarse a líneas de transmisión de alto voltaje que entregan energía eléctrica a varias subestaciones ubicadas normalmente dentro de una comunidad, donde el voltaje se baja mediante transformadores a voltaje medio para su distribución. Las subestaciones proporcionan energía de voltaje medio a varios alimentadores trifásicos, incluidas las tres líneas de alimentación monofásicas que proporcionan voltaje medio a varios transformadores de

distribución y conexiones de líneas laterales. Del alimentador se derivan una serie de líneas laterales trifásicas y monofásicas que proporcionan voltaje medio a varios transformadores de distribución, donde el voltaje se reduce a bajo voltaje y se proporciona a una serie de cargas, como viviendas, empresas, etc.

[0003] Las redes de distribución de energía del tipo que se menciona anteriormente incluyen normalmente varios dispositivos de derivación, disyuntores, reconectores, interruptores, etc. que controlan el flujo de energía a través de la red. Un interruptor de vacío es un interruptor que tiene una aplicación particular para muchos de estos tipos de dispositivos. Un interruptor de vacío emplea contactos opuestos, uno fijo y otro móvil, ubicados dentro de un contenedor de vacío. Cuando el interruptor se abre al alejar el contacto móvil del contacto fijo, el arco que se crea entre los contactos se extingue rápidamente a medida que la corriente de CA pasa por cero en el vacío. Por lo general, se proporciona un escudo de vapor alrededor de los contactos para contener los subproductos del arco. Para ciertas aplicaciones, el interruptor de vacío está encapsulado en una carcasa de aislamiento sólido que puede tener una superficie externa conectada a tierra.

[0004] Periódicamente, ocurren fallas en la red de distribución como resultado de varias cosas, como animales que tocan las líneas, rayos, ramas de árboles que caen sobre las líneas, colisiones de vehículos con postes de servicios públicos, etc. Las fallas pueden crear un cortocircuito que aumenta la tensión en la red, lo que puede hacer que el flujo de corriente de la subestación aumente significativamente, por ejemplo, muchas veces por encima de la corriente normal, a lo largo de la ruta de la falla. Esta cantidad de corriente hace que las líneas eléctricas se calienten significativamente y que posiblemente se derritan, además de causar posibles daños mecánicos a varios componentes de la subestación y de la red. Estas fallas son muchas veces fallas transitorias o intermitentes en lugar de fallas persistentes o acumuladas, donde lo que causó la falla se elimina poco tiempo después de que ocurre la falla, por ejemplo, un rayo. En tales casos, la red de distribución comenzará a operar normalmente

casi inmediatamente después de una breve desconexión de la fuente de energía.

[0005] Los interruptores de falla, por ejemplo, los reconectadores que emplean interruptores de vacío, se proporcionan en postes de servicios públicos y en circuitos subterráneos a lo largo de una línea eléctrica y tienen un interruptor para permitir o evitar que la energía fluya abajo del reconectador. Estos reconectadores detectan la corriente y el voltaje en la línea para monitorear el flujo de corriente y tienen controles que indican problemas con el circuito de la red, tal como la detección de un evento de falla de corriente elevada. Si se detecta una corriente de falla elevada, el reconectador se abre en respuesta a ello y luego, después de un breve retraso, se cierra para determinar si la falla es una falla transitoria. Si fluye una corriente de falla elevada cuando el reconectador se cierra después de abrirse, se vuelve a abrir de manera inmediata. Si la corriente de falla se detecta una segunda vez, o varias veces, durante las operaciones posteriores de apertura y cierre que indican una falla persistente, entonces el reconectador permanece abierto, donde el tiempo entre las pruebas de detección puede aumentar después de cada prueba. Para una operación de reconexión típica para pruebas de detección de fallas, alrededor de 3 a 6 ciclos o 50 a 100 ms de corriente de falla pasan a través del reconectador antes de que se abra, pero las pruebas en curvas retardadas pueden permitir que la corriente de falla fluya por tiempos mucho más prolongados.

[0006] Cuando se detecta una falla, es deseable que el primer interruptor de fallas ascendente de la falla se abra lo antes posible para que la falla se elimine rápidamente de la red de modo que las cargas ascendentes de ese interruptor de fallas no se desconecten de la fuente de alimentación y no se les interrumpa el servicio. Es deseable además que, si el primer interruptor de fallas ascendente de la falla no se abre por cualquier razón, entonces se abra el siguiente interruptor de fallas ascendente de la falla, y así sucesivamente. Para lograr esto, es necesario que se emplee algún tipo de esquema de protección de

comunicaciones o coordinación en la red para que el interruptor de fallas deseado se abra en respuesta a la falla.

[0007] Durante la operación de reconexión tradicional que se discute anteriormente, los contactos del interruptor de vacío en el reconectador se cierran sin tener en cuenta el ángulo de fase deseado. Esto da como resultado un ángulo de cierre aleatorio que a menudo crea una corriente de falla asimétrica, donde el ciclo de corriente se desplaza desde cero, es decir, tiene picos de alta magnitud en una polaridad y picos más bajos en la polaridad inversa con respecto a cero. Los picos de corriente de falla de alta magnitud, dependiendo del tiempo que ocurran, causan fuerzas y tensiones significativas en los componentes de la red que pueden reducir su vida útil. Para la operación de reconexión tradicional que tiene tiempos de flujo de corriente de más de 3 a 6 ciclos y tiempos más largos para la operación de curva retrasada, estas fuerzas y tensiones pueden ser considerables. Al considerar la vida útil del devanado de un transformador, una de las causas del final de la vida útil puede ser la fatiga en el devanado, que es la acumulación de ciclos de tensión mecánicos y térmicos elevados. La tensión es el resultado de la corriente en el devanado, donde una mayor corriente da como resultado una mayor tensión. Duplicar la tensión que puede causar fatiga por las corrientes de falla asimétricas descritas anteriormente puede resultar en una reducción de diez veces o más en la vida de fatiga, es decir, la vida antes de que la fatiga provoque la rotura. Esta tensión se puede reducir al reducir la corriente máxima y al reducir el número de ciclos de tensión.

[0008] Para superar este problema, se han desarrollado reconectores en el arte que usan tecnologías de prueba del pulso donde el cierre y luego la apertura de los contactos del interruptor de vacío se realizan de manera pulsada para que la corriente de falla de ciclo múltiple de frecuencia fundamental completa no se aplique a la red mientras el reconectador está realizando pruebas para determinar si la falla aún está presente. Por lo general, estos pulsos son aproximadamente la mitad de un ciclo de corriente de

frecuencia fundamental. Además, estos reconectores se cierran en el punto apropiado de la forma de onda del voltaje para eliminar la corriente asimétrica, lo que reduce las tensiones debido a la corriente elevada en los componentes.

[0009] Las tecnologías de cierre por pulsos han tenido éxito en la reducción significativa de las tensiones de corriente de falla en los equipos de red durante las pruebas del reconector. Sin embargo, los dispositivos de derivación necesarios para generar estos pulsos de corta duración son relativamente complicados y caros. Por ejemplo, los interruptores de vacío empleados para generar estos pulsos a menudo usan dos actuadores magnéticos, uno para cerrar los contactos y otro para abrir rápidamente los contactos usando la masa en movimiento del actuador de apertura para invertir la dirección del actuador de cierre, bien conocidos por los expertos en la materia.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0010] La siguiente discusión divulga y describe un sistema y un método para realizar una operación de prueba de pulsos de baja energía en una red de distribución de energía que hace que los contactos del reconector se cierren y luego se abran de tal manera que produzca un flujo de corriente para un ciclo de frecuencia fundamental después de cerrarse en una forma de onda del voltaje que produce corriente simétrica. El método incluye energizar un actuador magnético para mover el contacto móvil hacia el contacto fijo, donde la corriente de CA se conduce a través de un espacio entre el contacto móvil y el contacto fijo antes de que el contacto móvil y el contacto fijo hagan contacto. El movimiento del actuador para cerrar los contactos empuja contra la polarización de al menos un resorte de apertura acoplado al contacto móvil. Cuando los dos contactos se tocan, se comprime aún más un resorte de flexibilidad acoplado al contacto móvil con algo de precarga. El método también incluye desenergizar el actuador magnético o invertir el voltaje en el actuador magnético cuando el contacto móvil hace contacto con el contacto fijo para permitir que la polarización de los resortes de apertura y flexibilidad se comprima primero al absorber

energía del movimiento de la masa en movimiento, luego expandirse al alejar el contacto móvil del contacto fijo de modo que la cantidad de tiempo que la corriente conduce entre el contacto móvil y el contacto fijo es aproximadamente un ciclo de frecuencia fundamental y donde la energización del actuador magnético ocurre a la vez o cerca de un pico de la onda del voltaje para que la corriente a través del conjunto del interruptor sea simétrica.

[0011] Las características adicionales de la divulgación se harán evidentes a partir de la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas, tomadas junto con los dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0012] La Figura 1 es una ilustración esquemática simplificada de una red de distribución de energía eléctrica;

[0013] La Figura 2 es una vista lateral, en sección transversal, de un conjunto del interruptor del actuador magnético en una posición abierta que se puede usar en un reconectador en la red de distribución de energía que se muestra en la Figura 1;

[0014] La Figura 3 es una vista lateral, en sección transversal, del conjunto del interruptor del actuador magnético que se muestra en la Figura 2 en una posición cerrada;

[0015] La Figura 4 es un gráfico con el tiempo en el eje horizontal y la magnitud en el eje vertical que muestra una relación entre la corriente simétrica y asimétrica con respecto al ángulo de voltaje; y

[0016] La Figura 5 es un gráfico con el tiempo en el eje horizontal y la posición de la carcasa del actuador en el eje vertical que muestra la posición frente al tiempo de la carcasa del actuador en el conjunto del interruptor.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

[0017] La siguiente discusión de las realizaciones de la divulgación dirigida a un sistema y método para realizar una operación de prueba del pulso

de falla de baja energía en una red de distribución de energía que hace que los contactos del reconectador se cierren y luego se abran en aproximadamente un ciclo de frecuencia fundamental de tiempo de flujo de corriente y se cierren en una forma de onda del voltaje que produce una corriente de falla simétrica es sólo de ejemplo y de ninguna manera pretende limitar la invención o sus aplicaciones o usos.

[0018] La presente divulgación propone un sistema y un método que reemplaza el proceso de prueba del pulso de falla conocido en una red de distribución de energía con un proceso de prueba del pulso de falla de baja energía, lo que resulta en dispositivos de derivación de menor costo. El método incluye controlar la posición de los contactos del interruptor en un reconectador para que conduzcan durante un período de tiempo corto que limita el tiempo de conducción de corriente a un ciclo de frecuencia fundamental. El método también incluye cerrar los contactos del interruptor en un punto de la forma de onda del voltaje que da como resultado el flujo de corriente simétrica en lugar de corriente asimétrica, lo cual se logra al reconocer que las corrientes asimétricas ocurren al cerrar los contactos en un cierto ángulo de voltaje, donde el ángulo preferido para la corriente asimétrica está en o cerca del pico de la forma de onda del voltaje. El proceso de prueba de baja energía divulgado se distingue de la operación de cierre aleatorio del reconectador convencional ya que las funciones de protección del reconectador realizan sus procesos de detección de fallas normales, extendiendo así la duración potencial de la falla a varios ciclos del sistema de potencia o un tiempo mucho mayor.

[0019] La Figura 1 es un diagrama de tipo esquemático de una red de distribución de energía eléctrica 10 que incluye una subestación eléctrica 12 que reduce la energía de alto voltaje desde una línea eléctrica de alto voltaje (no se muestra) a energía de voltaje medio, un alimentador trifásico 14 que recibe energía de voltaje medio de la subestación 12 y una línea lateral 16 que recibe la energía de voltaje medio del alimentador 14. El voltaje medio se reduce a un voltaje bajo mediante una serie de transformadores de distribución 18 ubicados

estratégicamente a lo largo de la línea lateral 16 y luego se proporciona el voltaje bajo a través de un conductor de servicio secundario 38 a una serie de cargas 20 representadas aquí como viviendas. La línea lateral 16 incluye un fusible 28 ubicado entre el alimentador 14 y la primera carga 20 en la línea lateral 16 cerca de una ubicación de derivación donde la línea lateral 16 está conectada al alimentador 14. El fusible 28 es un dispositivo eléctrico independiente que no está en comunicación con otros componentes o dispositivos en la red 10, donde el fusible 28 crea un circuito abierto si un elemento dentro del fusible 28 se calienta por encima de una temperatura predeterminada como resultado de una corriente de falla elevada para evitar que fallas de cortocircuito en la línea lateral 16 afecten a otras partes de la red 10.

[0020] La red 10 incluye una serie de reconectores del tipo mencionado anteriormente provistos a ciertos intervalos a lo largo del alimentador 14 representados por los reconectores 24 y 26 que reciben el voltaje medio de la subestación 12 en el alimentador 14. Aunque solo se muestra como una sola línea, el alimentador 14 incluiría tres líneas, una para cada fase, donde se proporcionaría un reconector trifásico o tres separados en cada línea. Se proporcionan varios postes de servicios públicos 22 a lo largo del alimentador 14 y la línea lateral 16, donde el reconector 24 se montaría en algunos de los postes 22. El reconector 24 incluye un interruptor de vacío u otro dispositivo de derivación 30 para abrir y cerrar el reconector 24 para permitir o evitar el flujo de corriente a través del mismo en el alimentador 14, donde el interruptor 30 es capaz de proporcionar pulsos para pruebas de pulso consistentes con la discusión del presente documento. El reconector 24 también incluye sensores 32 para medir la corriente y el voltaje de la señal de energía que se propaga en el alimentador 14, un controlador electrónico 34 para procesar las señales de medición y controlar la posición del interruptor 30 y un transceptor opcional 36 para transmitir datos y mensajes a una instalación de control y/o a otros reconectores y componentes en el sistema 10. La

configuración y el funcionamiento de los reconectores y dispositivos de derivación de este tipo son bien conocidos por los expertos en la materia.

[0021] La Figura 2 es una vista lateral, en sección transversal, de un conjunto del interruptor del actuador magnético 50 en una posición abierta y la Figura 3 es una vista lateral, en sección transversal, del conjunto del interruptor 50 en una posición cerrada, donde el conjunto del interruptor 50 puede ser utilizado en el interruptor 30. El conjunto del interruptor 50 incluye un contacto fijo 52 y un contacto móvil 54 que tienen una masa definida, por ejemplo, 0,4 kg, que se colocaría, por ejemplo, en una botella de vacío de un interruptor de vacío, donde se muestran los contactos 52 y 54 separados entre sí a través de un espacio de vacío 56 en la posición abierta y donde la distancia del espacio 56 se determina para evitar la conducción entre los contactos 52 y 54 en la posición abierta con base en los voltajes empleados en la red 10. El conjunto del interruptor 50 incluye además un actuador 58 que tiene una carcasa del actuador 60 con una parte ancha de la carcasa 62 y una parte estrecha de la carcasa 64. Se enrolla un resorte abierto 66 alrededor de la parte estrecha de la carcasa 64 y se coloca contra la parte ancha de la carcasa 62 y una estructura conductora 68, donde la ruta de la corriente en la línea eléctrica fluye a través de un acoplamiento de transferencia de corriente 70 acoplado a la estructura 68 y al contacto móvil 54. Dentro de la parte estrecha de la carcasa 64, se coloca una brida 72 unida al contacto móvil 54 opuesto al espacio 56 y se acopla a una brida 74 en un extremo de la parte estrecha de la carcasa 64 opuesta a la parte ancha de la carcasa 62. En la parte estrecha de la carcasa 64 contra la brida 72 y una pared 80 se ubica un resorte de flexibilidad 78, donde el resorte 78 tiene, en una realización no limitativa, una precarga de 266 Newton y una desviación total de 334 Newton. El actuador 58 incluye además un solenoide 84 ubicado dentro de la parte ancha de la carcasa 62 e incluye un núcleo 86, una bobina 88 envuelta alrededor de una parte central 90 del núcleo 86 y un núcleo móvil 92 unido a la carcasa 60, donde se proporciona un espacio 102 entre el núcleo móvil 92 y el núcleo 86 cuando los contactos 52 y 54 están abiertos. El núcleo

86 es un núcleo en forma de E en esta realización no limitativa, en la que pueden ser aplicables otros núcleos con forma, como los núcleos de contenedores redondos. A un elemento fijo 96, se asegura un émbolo 94 mediante un resorte 98 y tiene una bobina 100 envuelta alrededor de él.

[0022] Para cerrar los contactos 52 y 54, la bobina 88 se energiza de modo que el flujo magnético a través del espacio 102 entre los elementos magnéticos atraiga el núcleo móvil 92 hacia el núcleo en forma de E 86, que mueve la carcasa 60 contra la polarización del resorte abierto 66 y hace que el resorte de flexibilidad 78 empuje el contacto móvil 54 contra el contacto fijo 52, donde la polarización de los resortes 66 y 78 mantiene los contactos 52 y 54 juntos en un acoplamiento apretado. La bobina 100 se desenergiza, lo que hace que el resorte 98 mueva el émbolo 94 hacia arriba y mantenga el actuador 58 en la posición cerrada. Para abrir los contactos 52 y 54, se energiza la bobina 100 para tirar del émbolo 94 hacia abajo contra la fricción de la parte móvil del actuador 58 y la polarización del resorte 98 para que el resorte abierto 66 y el resorte de flexibilidad 78 empujen la carcasa 60 hacia la izquierda y aleje al núcleo móvil 92 del núcleo en forma de E 86. Dado que es necesario abrir rápidamente los contactos 52 y 54 cuando se detecta una corriente de falla, las fuerzas de resorte utilizadas para alejar el contacto 54 del contacto 52 son relativamente altas. Además, es deseable coordinar la apertura de los contactos 52 y 54 con otros reconectadores para que esos reconectadores más cercanos a la falla se abran primero, lo que requiere que se aplique una fuerza al contacto móvil 54 para mantener cerrados los contactos 52 y 54 durante un período de tiempo cuando se detecta una falla para coordinar con reconectadores más rápidos.

[0023] Como se mencionó anteriormente, esta divulgación describe un proceso de prueba del pulso de falla de baja energía que provoca aproximadamente un ciclo de frecuencia fundamental de corriente simétrica durante cada prueba del pulso. Los algoritmos de proceso controlan el conjunto del interruptor 50 para proporcionar un cierre de punto en onda de los contactos

52 y 54 para obtener el flujo de corriente simétrico de corta duración que incluye el control de la posición relativa de los contactos del interruptor de vacío 52 y 54 para proporcionar el tiempo deseado para iniciar y poner fin a la conducción de corriente a través de los contactos 52 y 54 al controlar el momento en que el actuador 58 comienza a moverse para cerrar los contactos 52 y 54 y al controlar cuándo se apaga la bobina 88. Las Figuras 4 y 5 son gráficos para ayudar a ilustrar el control del conjunto de interruptores 50 de esta manera.

[0024] La Figura 4 es un gráfico con el tiempo en el eje horizontal y la magnitud en el eje vertical que muestra una relación entre corriente simétrica y asimétrica en relación con una forma de onda del voltaje. La línea del gráfico 110 es el voltaje medido en el conjunto de interruptores 50 durante la falla y muestra los cruces por cero de la señal de voltaje. La línea del gráfico 112 muestra la corriente de falla medida en el conjunto del interruptor 50 si los contactos 52 y 54 comienzan la conducción en un cruce por cero del voltaje, y muestra que la corriente está compensada o asimétrica donde los picos positivos son mucho más altos en magnitud absoluta que los picos negativos, lo que conduce a una tensión significativa en los componentes eléctricos de la red 10 que están sujetos a la corriente de falla debido a la magnitud de corriente elevada. La línea del gráfico 114 muestra la corriente de falla medida si los contactos 52 y 54 comienzan a conducir en un ángulo de voltaje de 90° y muestra que la corriente es simétrica donde los valores máximos positivos y negativos tienen la misma magnitud relativa a cero. Así, aunque la corriente pico a pico es la misma para corrientes simétricas y asimétricas, la magnitud absoluta de los picos es menor para corriente simétrica, lo que reduce la tensión sobre los componentes eléctricos de la red 10 que están sujetos a la corriente de falla.

[0025] La Figura 5 es un gráfico con el tiempo en el eje horizontal y la posición de la carcasa del actuador 60 en el eje vertical, donde la línea del gráfico 120 muestra la posición de la carcasa del actuador 60 desde que comienza a moverse para cerrar los contactos 52 y 54 hasta que vuelve a la posición abierta de contacto. La posición cero es la posición de la carcasa del

actuador 60 donde el núcleo móvil 92 toca el núcleo en forma de E 86, como se muestra en la Figura 3. Cuando se energiza la bobina 88 y la carcasa del actuador 60 se mueve para cerrar los contactos 52 y 54, comprimiendo inicialmente los resortes 66 a medida que el contacto móvil 54 se mueve hacia el contacto fijo 52, el espacio 56 se reducirá. Cuando la posición de la carcasa del actuador 60 es de aproximadamente 5 mm que se muestra en el punto 122 en aproximadamente 23 ms, el espacio 56 es de aproximadamente 1 mm y la conducción entre los contactos 52 y 54 comenzará a través del espacio 56, conocido como previo al impacto. A medida que la carcasa del actuador 60 continúa moviéndose, los contactos 52 y 54 se acoplarán en la posición del actuador de aproximadamente 4 mm que se muestra en el punto 124 en aproximadamente 24 ms y se cortará la corriente a la bobina 88. La cantidad de movimiento de la carcasa del actuador 60 continuará moviendo la carcasa del actuador 60 hasta que la posición de la carcasa del actuador 60 sea de aproximadamente 1,5 mm en el punto 126 en aproximadamente 28 ms, que se muestra como un espacio 104 entre las bridas 72 y 74 en la Figura 3, cuando las fuerzas de compresión de los resortes 66 y 78 mantienen cerrados los contactos 52 y 54 y la carcasa del actuador 60 invertirá su dirección. En el punto 128, aproximadamente en 32 ms, los contactos 52 y 54 se separarán, pero todavía hay conducción a través del espacio 56 hasta que la longitud del espacio es de aproximadamente 3 mm, lo que ocurre en el punto 130 en aproximadamente 35 ms. Un ciclo de frecuencia fundamental a 60 Hz es de aproximadamente 16,7 ms para 60 Hz, por lo que el tiempo desde el comienzo de la conducción en 23 ms hasta el final de la conducción en 35 ms es de 12 ms, que es aproximadamente las tres cuartas partes del ciclo, donde la corriente se detiene en el siguiente cruce de corriente cero. Así, el tiempo de conducción de corriente a través de los contactos 52 y 54 es un ciclo de frecuencia fundamental a 60 Hz. Estos tiempos se pueden ajustar para sistemas que operan en otras frecuencias.

[0026] El control del conjunto de interruptores 50, como se describe, incluye conducir el contacto móvil 54 hacia el contacto fijo 52 y luego

apagar inmediatamente la corriente aplicada a la bobina 88 o invertir el voltaje en la bobina 88 para llevar la corriente de la bobina a cero, de modo que la fuerza de cierre entre los contactos 52 y 54 es proporcionada únicamente por la cantidad de movimiento del actuador 58 y la masa del contacto móvil 54 contra las fuerzas proporcionadas por el resorte abierto 66 y el resorte de flexibilidad 78, que hace rebotar el contacto móvil 54 fuera del contacto fijo 52. En otras palabras, la velocidad del actuador 58 después de que la bobina 88 se apaga, o bien tiene corriente de bobina cero, comprime el resorte de flexibilidad 78 hasta que la energía almacenada en la masa móvil del actuador 58 y el contacto móvil 54 se transfiere a el resorte de flexibilidad 78, donde el resorte de flexibilidad 78 empujará los contactos 52 y 54 para abrirlos nuevamente. Por lo tanto, al hacer rebotar intencionalmente los contactos 52 y 54 para la prueba de baja energía de esta manera, la duración de la corriente de falla potencial se limita a un ciclo de corriente de frecuencia fundamental como se describe. Específicamente, el control del conjunto del interruptor 50 es capaz de abrir los contactos del interruptor de vacío 52 y 54 lo suficientemente rápido como para poder interrumpir el flujo de corriente dentro de los 16,7 ms de la primera conducción entre los contactos 52 y 54, lo que da un tiempo de conducción total de cierre a apertura de los contactos 52 y 54 en menos de 16,7 ms, según se mide desde un espacio de contacto abierto previo al impacto de 1 mm hasta un espacio de contacto abierto de 3 mm. Esto da como resultado un ciclo de corriente de frecuencia fundamental de corriente de falla simétrica, que es el doble del tiempo que permitiría el pulso único actual, ya que la prueba del pulso conocida de un circuito con falla da como resultado medio ciclo de corriente de falla. Estos tiempos se pueden ajustar para sistemas que operan en otras frecuencias.

[0027] Por lo tanto, el conjunto del interruptor 50 está diseñado para que la masa móvil del actuador 58 y el contacto móvil 54, el tamaño y la longitud del resorte de flexibilidad 78, la cantidad de corriente aplicada a la bobina 88, el tiempo que se elimina la corriente de la bobina 88 durante la operación de cierre, etc. hacen que los contactos 52 y 54 conduzcan durante

aproximadamente un ciclo de frecuencia fundamental de corriente de falla. Dado que el control del conjunto del interruptor 50 permite el control de la posición del contacto móvil 54 en relación con el tiempo, la temporización de la conducción entre los contactos 52 y 54 se puede controlar para que la corriente comience a fluir en un ángulo de 90° de la forma de onda del voltaje para que fluyan corrientes simétricas en lugar de corrientes asimétricas cuando los contactos 52 y 54 están cerrados, lo que reduce las fuerzas sobre los componentes de la red. Además, se pueden emplear interruptores de vacío tradicionales en lugar de interruptores de vacío más complejos y especializados requeridos para las pruebas de pulso conocidas.

[0028] Otra realización incluye cerrar los contactos del interruptor de vacío 52 y 54 en el pico de voltaje que aleja a los transformadores de la saturación, evitando así que los transformadores se saturen, donde cuando un transformador se desenergiza, a menudo hay un flujo remanente distinto de cero en el núcleo del transformador. La corriente de irrupción de energización resulta de la saturación del núcleo del transformador cuando se energiza en un punto de voltaje donde el nuevo flujo lleva al transformador a la saturación. Esto se puede reducir/eliminar al mantener un modelo de flujo de transformadores en algún tipo de memoria, cerrando los contactos del interruptor de vacío 52 y 54 para que el flujo se mueva hacia cero en lugar de alejarse de cero. Si el flujo residual es el resultado de un voltaje positivo, los contactos del interruptor de vacío 52 y 54 se cierran cuando el voltaje es negativo, moviendo el flujo hacia cero y minimizando el flujo máximo que lleva al núcleo del transformador a la saturación. El flujo al voltaje máximo es cero porque se retrasa 90° con respecto al voltaje. Si este es el caso, el punto de onda se puede ajustar para corregir el flujo residual al cerrar un poco antes que el pico de la forma de onda del voltaje.

[0029] Muchos de los ejemplos utilizados en esta discusión se derivaron de sistemas de suministro de energía que operan a una frecuencia fundamental de 60 Hz. Se observa que se pueden aplicar técnicas similares para ajustar el mecanismo para operar a otras frecuencias fundamentales.

[0030] La discusión anterior divulga y describe meramente realizaciones de ejemplo de la presente divulgación. Un experto en la materia reconocerá fácilmente a partir de dicha discusión y de los dibujos y reivindicaciones adjuntos que se pueden realizar varios cambios, modificaciones y variaciones sin apartarse del espíritu y alcance de la divulgación tal como se define en las siguientes reivindicaciones.