

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 041**

51 Int. Cl.:

G01R 31/02 (2006.01)

G01R 19/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2010 E 10290519 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2013 EP 2439547**

54 Título: **Sistemas, procedimientos y dispositivos para la monitorización de una batería de condensadores**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.09.2013

73 Titular/es:

SCHNEIDER ELECTRIC USA, INC. (100.0%)
1415 S. Roselle Road
Palatine, Illinois 60067, US

72 Inventor/es:

TUCKEY, DAVID T. y
LUPIN, JEAN-MARC

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 424 041 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistemas, procedimientos y dispositivos para la monitorización de una batería de condensadores.

5 CAMPO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se refiere en general a sistemas de distribución de servicios públicos (*utilities*) y sistemas de monitorización de servicios públicos. Más particularmente, la presente invención se refiere a sistemas, procedimientos y dispositivos para la monitorización de una o más baterías de condensadores.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0002] Las redes de servicios públicos convencionales suministran servicios públicos con fines comerciales, residenciales e industriales. En un sistema típico de distribución eléctrica, por ejemplo, la energía eléctrica es generada por un proveedor de electricidad o compañía de servicios públicos y distribuida a los consumidores a través de una red de distribución de energía. La red de distribución de energía es a menudo una red de cables de distribución eléctrica (más comúnmente conocidos como "líneas de transmisión eléctrica") que enlazan el proveedor eléctrico con sus consumidores. Dispositivos adicionales, tales como barras colectoras (*bars*), conmutadores (por ejemplo, interruptores o seccionadores), transformadores de potencia, y transformadores de instrumento, que normalmente están dispuestos en parques y/o celdas de distribución, están automatizados para el control, protección, medición y monitorización de subestaciones.

15

20

[0003] Por lo general, la electricidad procedente de un servicio público (*utility*) es suministrada desde una estación principal a través de un cable de distribución a varias subestaciones locales. En las subestaciones locales, el suministro es transformado por transformadores de distribución de un voltaje relativamente alto en el cable distribuidor a un voltaje más bajo que es el que se suministra al consumidor final. A partir de las subestaciones locales, la energía es suministrada a usuarios industriales a través de una red de energía distribuida que suministra energía a diferentes cargas. Tales cargas pueden incluir, por ejemplo, diversas máquinas eléctricas, de iluminación, sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (*HVAC systems*), etc.

30

[0004] Algunas redes de distribución eléctrica, como las redes de corriente alterna de múltiples fases (AC - *alternating current*), sufren unas cargas más fuertes cuando grandes cargas reactivas se conectan y desconectan repetidamente a/de la línea de distribución. Estas variaciones en la circulación de la energía pueden resultar en una baja eficiencia del sistema y grandes pérdidas de energía. Por ejemplo, se pueden producir pérdidas de energía cuando grandes cargas inductivas están conectadas a las líneas de distribución, las cuales pueden producir una cantidad excesiva de corriente reactiva de retardo en la línea.

35

[0005] En general, el factor de potencia de un sistema de energía eléctrica de corriente alterna es la ratio de la potencia real (o "activa") usada en un circuito en relación a la potencia aparente utilizada por el circuito. La potencia real, que normalmente se expresa en vatios (W) o kilovatios (kW), es la capacidad que tiene el circuito de realizar el trabajo en un momento determinado, mientras que la potencia aparente, que normalmente se expresa en voltios-amperios (VA) o kilo voltios-amperios (kVA), es el producto de la corriente y el voltaje del circuito. A menudo es deseable aumentar el factor de potencia de un sistema.

40

[0006] La corrección del factor de potencia (PFC - *Power factor correction*) se puede lograr, por ejemplo, conectando o desconectando baterías (o bastidores - *racks*) de condensadores. Una batería de condensadores se compone típicamente de un número de pasos discretos que se pueden activar y desactivar. Cada paso se compone de un número de condensadores individuales que están conectados en paralelo (o serie, dependiendo del sistema), y suman en conjunto para proporcionar la capacitancia total del paso. Un dispositivo convencional que se utiliza para controlar la conexión y desconexión de las baterías de condensadores a/de las líneas de distribución son controladores del factor de potencia. El dispositivo controlador puede conmutar la conectividad de la batería de condensadores según sea necesario a fin de corregir el factor de potencia para la carga detectada en cualquier momento dado. Los controladores del factor de potencia convencionales conectan y desconectan la batería de condensadores a/de la línea eléctrica en base a un número de parámetros medibles, tales como la corriente reactiva, tensión, tiempo, temperatura, etc.

45

50

55

[0007] Los condensadores de potencia son naturalmente propensos a efectos de envejecimiento que pueden cambiar sus características eléctricas (por ejemplo, capacitancia, resistencia equivalente, etc.), que a su vez pueden reducir su eficacia. Dependiendo de los materiales utilizados, el tipo de diseño, y los detalles de fabricación, por ejemplo, algunos condensadores pueden ser propensos a diferentes tipos de fallos si sus características eléctricas cambian a un ritmo más rápido de lo esperado en relación a su envejecimiento normal. En algunos casos, estos fallos pueden ser mitigados por un mecanismo de auto-protección, que se activa, por ejemplo, ante un exceso de presión, exceso de temperatura, y/o exceso de corriente, retirando el condensador del circuito. Otros casos pueden conducir a un fallo en el que el mecanismo de auto-protección deja de funcionar.

[0008] Hoy en día es común que las instalaciones de batería de condensadores tengan a su disposición una monitorización y diagnóstico muy limitados o nulos, debido en parte a los gastos asociados con la monitorización del estado de los pasos individuales dentro de una batería de condensadores. Como resultado de este control y diagnóstico limitados, es muy difícil detectar problemas de funcionamiento antes de que ocurran con el fin de mitigar fallos operacionales y reducir al mínimo la interrupción del servicio por medio de esfuerzos regulares de mantenimiento. US 6 671 635 B1 (*FORTH J BRADFORD ET AL*) divulga un sistema de medición de energía eléctrica basado en un dispositivo electrónico inteligente que es capaz de aplicar curvas características de datos medidos.

DESCRIPCIÓN RESUMIDA DE LA INVENCION

[0009] De acuerdo con un aspecto de la presente descripción, se presenta un procedimiento para la monitorización de por lo menos una batería de condensadores que tiene una pluralidad de pasos. El procedimiento incluye: recibir mediciones indicativas de voltajes o corrientes o ambas en unas líneas eléctricas respectivas que están acopladas operativamente a la pluralidad de pasos de la batería de condensadores por medio de unos contactores correspondientes; recibir información de estado indicativa de los respectivos estados de los contactores; marcar temporalmente (*timestamping*) las mediciones y la información del estado de los contactores; almacenar las mediciones marcadas temporalmente (*timestamped*) junto con la correspondiente información del estado de los contactores marcada temporalmente (*timestamped*); para al menos algunas de las mediciones y estados de los contactores marcados temporalmente almacenados, determinar una tasa de variación de un parámetro indicativo o derivado de al menos las mediciones asociadas con al menos uno de la pluralidad de pasos de la batería de condensadores; comparar la tasa de variación determinada con una tasa de variación de referencia (*baseline rate of change*) para producir una desviación; determinar si la desviación satisface un criterio; y, en respuesta a la desviación que satisface el criterio, indicar que la desviación ha satisfecho el criterio.

[0010] En un aspecto opcional, la comparación incluye la determinación de una diferencia entre la tasa de variación de referencia y la tasa de variación determinada, en la que la desviación satisface el criterio si la diferencia supera un umbral predeterminado. En este caso, la indicación incluye, en respuesta a la diferencia que supera el umbral predeterminado, mostrar una indicación de que el paso asociado tiene un problema potencial.

[0011] En otro aspecto opcional, el procedimiento comprende además la determinación de un nivel de confianza para cada uno de los pasos de la batería de condensadores, e indicar el nivel de confianza para cada uno de los pasos. El nivel de confianza indica la confianza de un problema potencial para cada uno de los pasos.

[0012] En otro aspecto opcional, el nivel de confianza incluye un nivel alto, un nivel medio y un nivel bajo. En este caso, el procedimiento comprende además: asignar el nivel alto de confianza a aquellos pasos respectivos cuando el paso respectivo, dentro de un período de observación, siempre produce una desviación entre la tasa de variación determinada para ese paso y la tasa de variación de referencia; asignar el nivel medio de confianza a aquellos pasos respectivos de una combinación de dos pasos que producen una desviación para cualquiera de los pasos que no tenga asignado el nivel alto de confianza; y, asignar el nivel bajo de confianza a aquellos pasos respectivos de una combinación de pasos que no están asociados con ninguna desviación entre la tasa de variación determinada para ese paso y la tasa de variación de referencia.

[0013] En otro aspecto opcional, el procedimiento comprende además la comunicación de al menos una instrucción para provocar una desconexión de los respectivos pasos que tienen asignado el nivel alto de confianza.

[0014] En otro aspecto opcional, el procedimiento comprende además desconsiderar las respectivas mediciones que son inestables debido a un reciente cambio de estado de uno o más de los contactores correspondientes.

- [0015] En otro aspecto opcional, la desconsideración incluye descartar las respectivas mediciones obtenidas dentro de un intervalo predefinido posterior al reciente cambio de estado del uno o más contactores correspondientes.
- 5 [0016] En otro aspecto opcional, el procedimiento comprende además: la comparación de un conjunto de valores de información de estado procedentes de un intervalo de medición previo con un conjunto de valores de información de estado de un intervalo actual de medición; y concluir que las mediciones son inestables si el conjunto anterior de valores de información de estado es diferente del conjunto actual de valores de información de estado.
- 10 [0017] En otro aspecto opcional, el procedimiento comprende además: normalizar las mediciones frente a un parámetro de normalización. El parámetro de normalización puede incluir, por ejemplo, la magnitud del voltaje, la frecuencia medida, la potencia reactiva medida, o la temperatura ambiente.
- [0018] En otro aspecto opcional, la determinación de la tasa de variación incluye la identificación de pasos discretos en las mediciones, y la eliminación de los pasos discretos en la determinación de la tasa de variación.
- 15 [0019] En otro aspecto opcional, la determinación de la tasa de variación incluye el cálculo de una curva de mejor ajuste (*best-fit curve*) y la medición de la pendiente de la curva de mejor ajuste en un intervalo predefinido.
- 20 [0020] En otro aspecto opcional, el procedimiento comprende además calcular un valor para un parámetro predeterminado a partir de las mediciones recibidas. En este caso, el cálculo del parámetro predeterminado y la recepción de la información de estado están sustancialmente sincronizados.
- [0021] En otro aspecto opcional, la recepción de la información de estado incluye la recepción de la información de estado procedente de los contactores o la recepción de la información de estado procedente de un controlador de corrección del factor de potencia (PFC) conectado operativamente a los contactores.
- 25 [0022] En otro aspecto opcional, la tasa de variación de referencia es un valor prefijado para un determinado tipo de parámetro.
- 30 [0023] En otro aspecto opcional, el procedimiento comprende además la determinación de una nueva tasa de variación de referencia cada vez que la información de estado recibida incluye una nueva combinación de estados de contactores no recibida previamente.
- 35 [0024] En otro aspecto opcional, el procedimiento comprende además la determinación de la tasa de variación de referencia para una fase eléctrica de una medición de fase concreta a partir de mediciones para al menos otras dos fases eléctricas.
- [0025] En otro aspecto opcional, la tasa de variación determinada y la tasa de variación de referencia están en unidades de porcentaje de variación del parámetro predeterminado por unidad de tiempo.
- 40 [0026] De acuerdo con otro aspecto de la presente descripción, uno o más medios de almacenamiento legibles informáticamente no transitorios incluyen instrucciones que, cuando son ejecutadas por uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores realicen operaciones asociadas con un sistema de monitorización de batería de condensadores. Estas operaciones incluyen: recibir mediciones indicativas de voltajes o corrientes o ambas en unas líneas eléctricas respectivas acopladas operativamente a una pluralidad de pasos de la batería de condensadores por medio de unos contactores correspondientes; recibir información de estado indicativa de los respectivos estados de los contactores; marcar temporalmente (*timestamping*) las mediciones y la información de estado de contactores; almacenar las mediciones marcadas temporalmente (*timestamped*) junto con la correspondiente información de estado de contactores marcada temporalmente (*timestamped*); para al menos algunas de las mediciones y estados de contactores marcados temporalmente almacenados, determinar una tasa de variación de un parámetro indicativo o derivado de al menos las mediciones asociadas con al menos uno de la pluralidad de pasos de la batería de condensadores; comparar la tasa de variación determinada con una tasa de variación de referencia (*baseline rate of change*) para producir una desviación; determinar si la desviación satisface un criterio; y, en respuesta a la desviación que satisface el criterio, indicar que la desviación ha satisfecho el criterio.
- 55

[0027] De acuerdo con aún otro aspecto de la presente descripción, se presenta un sistema de monitorización de baterías de condensadores que implementa un procedimiento para la monitorización de una pluralidad de baterías de condensadores, cada una de las cuales tiene una pluralidad de pasos, en la que cada uno de los pasos incluye al menos un condensador. El procedimiento incluye: recibir mediciones indicativas de voltajes o corrientes en unas líneas eléctricas respectivas acopladas selectivamente por medio de unos correspondientes contactores a la pluralidad de pasos de cada una de las baterías de condensadores; recibir información de estado indicativa de un estado binario respectivo de cada uno de los contactores; marcar temporalmente (*timestamping*) las mediciones y la información de estado de contactores; almacenar cada una de las mediciones marcadas temporalmente (*timestamped*) junto con una combinación correspondiente de la información de estado de contactores marcada temporalmente (*timestamped*); para cada una de las combinaciones de estado de contactores, calcular una tasa de variación indicativa de la degradación de cada uno de los pasos de cada una de las baterías de condensadores; comparar la tasa de variación calculada con una tasa de variación de referencia (*baseline rate of change*) para determinar si hay una desviación entre la tasa de variación de referencia y la tasa de variación calculada; si hay una desviación, analizar la desviación para determinar si la desviación satisface un criterio; y, si la desviación satisface un criterio, producir una notificación que indica que la desviación satisface el criterio.

[0028] El resumen anterior no pretende representar cada realización o cada aspecto de la presente divulgación. Más bien, el resumen anterior simplemente proporciona una ejemplificación de algunas de las nuevas características incluidas en este documento. Las características y ventajas anteriores, y otras características y ventajas de la presente divulgación, serán fácilmente evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de las formas de realización y los mejores modos de llevar a cabo la presente invención cuando son considerados en conexión con los dibujos que se acompañan y las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0029] La Figura 1 es un diagrama esquemático de una instalación de batería de condensadores ejemplar con un sistema de monitorización de acuerdo con aspectos de las diversas realizaciones divulgadas en este documento.

[0030] La Figura 2 es un diagrama de flujo de un algoritmo o procedimiento ejemplar de monitorización de una o más baterías de condensadores de acuerdo con diversos aspectos de las formas de realización descritas en este documento.

[0031] La Figura 3 es un diagrama de flujo de un componente de medida ejemplar para el procedimiento presentado en la figura 2.

[0032] La Figura 4 es un diagrama de flujo de un componente de análisis ejemplar para el procedimiento presentado en la figura 2.

[0033] La figura 5 es un diagrama de flujo de un componente de acción/decisión ejemplar para el procedimiento presentado en la figura 2.

[0034] La figura 6 es un diagrama de flujo de otro ejemplo de algoritmo o procedimiento de monitorización de una o más baterías de condensadores de acuerdo con diversos aspectos de las formas de realización descritas en este documento.

[0035] Mientras que la presente divulgación es susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se han mostrado en los dibujos unas realizaciones específicas a modo de ejemplo y se describirán en detalle a continuación. Se debe entender, sin embargo, que la presente descripción no está destinada a limitarse a las formas particulares descritas. Más bien, la presente descripción es para cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caigan dentro del alcance de la invención según se define en las reivindicaciones adjuntas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0036] Mientras que los aspectos de la presente descripción son susceptibles de ser realizados de muchas formas diferentes, se muestran en los dibujos y se describirán detalladamente en este documento unas formas de realización representativas de la presente descripción entendiendo que la presente descripción se ha de considerar como una ejemplificación de los diversos aspectos y principios de la presente descripción, y no se pretende limitar

los aspectos amplios de la presente descripción a las realizaciones ilustradas. En esa medida, los elementos y las limitaciones que se dan a conocer, por ejemplo, en las secciones de Resumen, Descripción Resumida y Descripción Detallada, pero que no se exponen explícitamente en las reivindicaciones, no deben ser incorporados en las reivindicaciones, individual o colectivamente, por implicación, inferencia u otro modo.

5 [0037] Esta descripción proporciona procedimientos, sistemas y dispositivos simples y rentables para la monitorización de una o más baterías de condensadores. De acuerdo con algunos aspectos de la presente descripción, se proporciona un dispositivo electrónico inteligente (IED - *Intelligent Electronic Device*) que monitorea y almacena regularmente las características eléctricas de la tensión y/o corriente dentro de un sistema de distribución
10 que usa al menos una batería de condensadores, así como el estado del (los) contactor(es) para cada paso de la batería de condensadores. En una operación posterior, los datos almacenados en el IED se analizan para detectar tendencias que requieran ser notificadas a y/o acción por parte del usuario final o de una organización de servicios competente. El análisis y la notificación/acción se pueden realizar dentro del propio IED, o en un dispositivo informático independiente que tiene acceso directo a los datos almacenados por el IED.

15 [0038] En algunas realizaciones, el IED tiene unos inputs de tensión y corriente trifásica, que pueden ser señales analógicas procedentes de transformadores de corriente (CT's - *Current Transformers*) y transformadores de potencial (PT's - *potential transformers*) tradicionales conectados al sistema de energía, o señales analógicas procedentes de una conexión directa al sistema de energía (si el IED es capaz de monitorear ese rango de señal), o
20 incluso unas muestras digitales que representan a cada canal (recibidas de un sensor digital o unidad de fusión). El IED también puede tener inputs digitales para leer el estado del contactor para cada paso de la batería de condensadores. Adicionalmente, el IED puede tener acceso a una red de comunicaciones y a una base de datos, ya sea a nivel local dentro del IED o de forma remota a través de la red de comunicaciones.

25 [0039] Algunas de las ventajas proporcionadas por las características de la presente descripción incluyen la detección temprana de los condensadores que no están funcionando tan eficazmente como se desea, y la detección temprana de los condensadores que han sido retirados del circuito a través de su mecanismo de auto-protección, cada una de las cuales puede conducir a un uso de energía más eficiente y a una factura eléctrica más baja. Otros beneficios incluyen la detección temprana de los condensadores eléctricos cuyas características eléctricas están
30 mostrando una tendencia hacia un fallo, reduciendo de este modo los posibles problemas de funcionamiento y daños en el resto de la batería de condensadores. Además, aspectos de la presente divulgación ayudan a minimizar la necesidad de una inspección manual regular de las baterías de capacitores, lo que reduce los costes de mano de obra, y a proporcionar al cliente y/o al fabricante de condensadores una notificación proactiva de que requieren mantenimiento.

35 [0040] En referencia a los dibujos, en los que los números de referencia similares se refieren a componentes similares en todas las diversas vistas, la figura 1 es un diagrama funcional que ilustra esquemáticamente una instalación ejemplar de batería de condensadores, designada generalmente como 100, con un sistema de monitorización de batería de condensadores, designado generalmente como 110. La instalación de batería de condensadores 110 de la figura 1 incluye un conmutador de circuito de tres fases 112 que conecta eléctricamente (y desconecta selectivamente) la(s) carga(s) inductiva(s) 114 y el transformador 140 a una segunda barra colectora 116. Aunque no se muestra en la figura 1, una barra colectora principal (o servicio principal) está colocada típicamente entre el transformador 140, el conmutador de circuito 112, y la(s) carga(s) inductiva(s) 114. El conmutador de circuito 112 se utiliza específicamente para los diferentes pasos 120 de la batería de condensadores
40 118, lo que permite la desconexión de toda la batería de condensadores 118 en un único sitio dentro de la instalación 100. En la realización ilustrada, cada uno de los pasos 120 de la batería de condensadores 118 se compone de uno o más condensadores individuales, designados colectivamente como 124, que están conectados en paralelo. En el contexto de servicios públicos de electricidad, la batería de condensadores 118 puede basarse en, por ejemplo, baterías de condensadores de factor de potencia automático estándar *ReactiVar® AV4000* y *AV5000*, la batería de condensadores de factor de potencia anti-resonante *ReactiVar® AV6000*, o las baterías de corrección del factor de potencia automático de media tensión, todas ellas de *Schneider Electric* (anteriormente *Power Measurement Ltd.*) de *Saanichton, B.C. Canadá*. Del mismo modo, los condensadores individuales 124 se pueden basar en, por ejemplo, condensadores fijos de electrolito sólido (*dry fixed capacitors*) *ReactiVar®*, o condensadores fijos MVC *ReactiVar®*, también de *Schneider Electric*.

55 [0041] Un respectivo contactor 122 trifásico conecta selectivamente cada uno de los pasos de condensador 120 a la segunda barra colectora 116. En particular, cada contactor trifásico 122 puede tener la función de conectar y

desconectar un paso correspondiente 120 a/de las respectivas líneas de distribución, algunas de las cuales están etiquetadas como 138 en la figura 1. Los contactores 122 pueden basarse en, por ejemplo, contactores *Class 8502 Type S Magnetic NEMA* de *Schneider Electric* u otros contactores de conmutación de condensador adecuados. Los contactores de paso 122 son controlados en la figura 1 por el controlador de corrección de factor de potencia (PFC - *Power factor correction*) 126, que monitorea el factor de potencia en el sistema eléctrico del usuario final, por ejemplo, y corrige un factor de potencia inductivo conmutando en los pasos de condensador 120 según sea necesario. Por ejemplo, el controlador de PFC 126 puede ser un controlador avanzado de potencia reactiva basado en un microprocesador que mide el factor de potencia a través de un único transformador de corriente remoto, y activa y desactiva pasos de condensador 120 para mantener un factor de potencia objetivo seleccionado por el usuario. Aunque no es tan restringido, el controlador de PFC 126 de la figura 1 monitorea el factor de potencia en una sola fase, suponiendo un sistema equilibrado.

[0042] El sistema de monitorización de batería de condensadores 110 también incluye un dispositivo electrónico inteligente, identificado como "Monitor IED" 128 en la figura 1. El IED 128 puede ser un controlador basado en un microprocesador que puede tener la función de recibir datos de sensores, dispositivos de monitorización, equipos de potencia, y/u otras fuentes de información, y emitir comandos de control, tales como de activación de conmutadores de circuito o de conmutación de conectividad de la batería de condensadores, si se detectan anomalías de tensión, corriente o frecuencia. A modo de ejemplo no limitativo, el Monitor IED 128 se puede basar en el Monitor de Circuito *PowerLogic® CM3000/CM4000 Series*, las Unidades de Monitorización de Potencia *PowerLogic® PM700 and 800 Series* o el Contador de Potencia y Energía *PowerLogic® ION 7550/7650 Series*, todos los cuales son de *Schneider Electric*. Además, se describen en detalle varios dispositivos IED y procedimientos de uso en la patente de EE.UU. N° 6.671.635, de *J. Bradford Forth et al.*, titulada "*Systems for Improved Monitoring Accuracy of Intelligent Electronic Devices*", en la patente de EE.UU. N° 6.687.627, de *Colin N. Gunn et al.*, titulada "*Electric Charge Storage Apparatus and Method for an Intelligent Electronic Device*", y en la patente de EE.UU. N° 6.792.337, de *Andrew W. Blackett et al.*, titulada "*Method and System for Master Slave Protocol Communication in an Intelligent Electronic Device*", todas las cuales se incorporan en este documento por referencia en sus respectivas totalidades.

[0043] El Monitor IED 128 de la figura 1 se muestra teniendo sus entradas de voltaje y corriente conectadas por debajo del conmutador de circuito 112 (es decir, en dirección descendente desde el conmutador de circuito 112), permitiendo así que el Monitor IED 128 monitorice la corriente/potencia/etc. entregada a la batería de condensadores 118. Este punto de la instalación proporciona información más detallada acerca de la salud de la batería de condensadores 118. Según se usa en este documento, la "salud" de una batería de condensadores 118, de un paso 120 dentro de una respectiva batería 118, o de un condensador 124 dentro de un paso 120 respectivo ha de interpretarse de acuerdo con el significado ordinario tal como se utiliza por parte de los expertos ordinarios en la técnica. En un ejemplo no limitativo, la "salud" puede ser interpretada como la funcionalidad relativa o grado de degradación del componente o subcomponente debido a, por ejemplo, el envejecimiento, el desgaste y rasgado, etc., ya sea normal o anormal. Alternativamente, las entradas de tensión y/o corriente del monitor IED 128 pueden estar conectadas por encima del conmutador de circuito 112 (es decir, en dirección ascendente desde el conmutador de circuito 112), por ejemplo, a la salida del transformador 140. Este punto opcional de la instalación puede proporcionar una visión menos detallada de la batería de condensadores, pero puede ser un enfoque más práctico, debido a una mayor facilidad de instalación física y al hecho de que los dispositivos de medición de corriente trifásica a menudo ya están instalados en ese nivel.

[0044] El Monitor IED 128 de la figura 1 se muestra con unas entradas para el estado binario de cada contactor 122 de la batería de condensadores 118. Alternativamente, el Monitor IED 128 puede recibir información sobre el estado del contactor directamente del controlador de PFC 126, tal como a través del enlace de comunicaciones 130, para permitir que el Monitor IED 128 rastree exactamente qué pasos 120 están activados en un momento dado. El Monitor IED 128 de la figura 1 también tiene contactos de salida que se pueden utilizar para puentear los contactos de salida del controlador de PFC 126 con el fin de desconectar pasos cuando sea necesario. Todas estas entradas y salidas pueden implementarse mediante puertos digitales estándar de E/S.

[0045] Por último, se muestran dos redes en la figura 1: una red opcional de almacenamiento de datos 132 y una red general de comunicaciones 134. La red de almacenamiento de datos 132 conecta operativamente la base de datos 136 con el Monitor IED 128 de tal manera que la base de datos 136 puede estar en una ubicación separada físicamente del IED 128. Esta configuración permite que se implemente el análisis y la notificación/acción en un dispositivo informático independiente, tal como un ordenador personal o portátil (no mostrado) si se desea. Alternativamente, una base de datos residente puede estar almacenada dentro del Monitor IED 128, y la

implementación del análisis y notificación/acción se puede realizar localmente. En este ejemplo, la base de datos remota 136 ilustrada en la figura 1 podría ser eliminada. La red general de comunicaciones 134 permite que el Monitor IED 128 proporcione una notificación a usuarios seleccionados y/o a la organización de servicios del fabricante. Podría elegirse cualquier red de comunicaciones estándar, en que una red Ethernet sería la opción anticipada más popular.

[0046] Con referencia ahora al diagrama de flujo de la figura 2, se describe de forma general un procedimiento mejorado 200 para la monitorización de una o más baterías de condensadores de acuerdo con diversas formas de realización. La figura 2 representa un algoritmo ejemplar que corresponde a al menos algunas instrucciones que pueden ser ejecutadas por un controlador, tal como la unidad central de procesamiento (CPU) de un ordenador, para llevar a cabo alguna o todas de las siguientes funciones descritas asociadas con los conceptos divulgados. Las instrucciones correspondientes al algoritmo 200 se pueden almacenar en un medio legible informáticamente no transitorio, tal como en un disco duro u otro dispositivo de almacenamiento masivo o un dispositivo de memoria.

[0047] El procedimiento 200 comienza con el componente "Medir" presentado en el bloque 201 de la figura 2. En la realización ilustrada, el componente Medir del bloque 201 describe cómo el Monitor IED 128 trata parte de la información recibida como input, tal como canales de tensión y corriente y valores de estado de contactores de paso. El diagrama de flujo proporcionado en la figura 3 ilustra varias operaciones que, en conjunto, describen un componente Medir 300 de ejemplo. El Monitor IED 128 puede tomar continuamente muestras de inputs de tensión y corriente con una frecuencia de muestreo predeterminada, tal como cada segundo, cada fracción de segundo, o cada varios segundos, según se indica en el bloque 303 de la figura 3. A continuación, se emite periódicamente un nuevo conjunto de mediciones en el bloque 305 en base a una frecuencia predeterminada, denominada en este documento como Frecuencia 1. Como ejemplo, esta frecuencia podría ser una vez por segundo.

[0048] A la hora de proceder con un conjunto de medidas basadas, por ejemplo, en la Frecuencia 1, el Monitor IED 128 sigue dos trayectos paralelos de medición, según se indica en la figura 3 por los bloques 305 y 307. En el bloque 305, el Monitor IED 128 realiza una serie de cálculos sobre la colección de muestras de tensión y corriente procedente del intervalo de medición de corriente, según se describe en más detalle a continuación. En el bloque 307, el Monitor IED 128 recibe o detecta el valor de estado binario instantáneo (por ejemplo, 0 = activo; 1 = inactivo) de cada uno de los contactores de paso 122. Los dos trayectos paralelos asociados con las operaciones de los bloques 305 y 307 de la figura 3 se pueden ejecutar de una manera sincronizada en el tiempo para maximizar la capacidad de correlacionar más tarde las mediciones eléctricas con los valores de estado de contactores que había en ese momento. Alternativamente, si las operaciones definidas en los bloques 305 y 307 no están sincronizadas en el tiempo, entonces puede requerirse que el IED 128 descarte cualesquiera valores del intervalo de medición después de un cambio de paso para asegurar que las lecturas son estables. Esto se comenta a continuación con respecto al bloque 203 de la figura 2.

[0049] Los cálculos designados en el bloque 305 pueden incluir, por ejemplo, cualesquiera mediciones eléctricas derivadas de las muestras de tensión y de corriente, lo cual puede ser ventajoso para realizar un seguimiento para observar las tendencias en el tiempo. Ejemplos de medidas generales que pueden ser calculadas incluyen voltios (V), amperios (A), vatios (W), voltio-amperios reactivos o de reactancia (vars), factor de potencia, energía (medida en julios (J) o vatios-hora (Wh)), armónicos de tensión/corriente/potencia (medidos en V/A/W/VAR (o % de valores fundamentales) a una frecuencia medida en hertz - Hz), y formas de onda. Además, dependiendo del modelo eléctrico de los propios pasos 120 de condensador, puede ser posible derivar una estimación de las propiedades de los pasos 120 de condensador que están actualmente activos, tales como la capacitancia total, que se mide en faradios (F), y resistencia equivalente, que se mide en ohmios (Ω). A continuación, el conjunto de valores calculados es pasado al siguiente bloque, junto con los valores de estado de contactores.

[0050] Volviendo a la figura 2, el procedimiento 200 incluye también, en el bloque 203, la determinación de si las mediciones son estables. En algunas realizaciones, el componente de verificación de estabilidad 203 tiene la función de ignorar o descartar cualesquiera mediciones que puedan ser inestables debido a un cambio reciente en los pasos de contactores 122 - por ejemplo, uno o más pasos 120 que se están activando o desactivando. Esto se lograría, en un ejemplo, mediante la comparación del conjunto de valores de contactores de paso durante el intervalo de medida actual (obtenido en los bloques 305 y 307) con los valores de un intervalo de medición anterior. Si los valores de contactores son los mismos en ambos intervalos, se supone entonces que las mediciones y los valores de contactores son válidos, y son pasados al siguiente bloque (por ejemplo, bloque 205). En la realización ilustrada, si

los valores de contactores son diferentes de un intervalo al siguiente, entonces el procedimiento 200 vuelve al bloque de Medir 201 sin pasar por los otros bloques del diagrama de flujo de la figura 2.

5 [0051] En algunas realizaciones, el componente de verificación de estabilidad 203 tiene la función de asegurar que se suceden un número predeterminado de intervalos de medición o que pasa un tiempo predeterminado después de cualquier cambio de paso antes de continuar con el almacenamiento y análisis de los datos. Por ejemplo, el Monitor IED 128 se puede configurar para que detecte cuando cambia el estado de un contactor de paso 122, e ignore o descarte en consecuencia cualesquiera mediciones de los cinco intervalos de medición (o cinco segundos) subsiguientes que serán considerados automáticamente como "no estables". Este enfoque opcional proporciona una
10 interpretación más flexible de la estabilidad del sistema. Como se mencionó anteriormente, una de las razones para ignorar o descartar mediciones de este modo sería si los cálculos identificados en el bloque 307 de la figura 3 y las lecturas de estado de contactores identificadas en el bloque 307 no están sincronizados en el tiempo. Otra razón para ignorar o descartar mediciones de este modo es permitir que pase un período suficiente de tiempo para que las mediciones se estabilicen después de una conmutación de contactor, ya que puede haber un corto período posterior
15 a la conmutación de un contactor, en el que fluctúan las mediciones asociadas.

[0052] El procedimiento 200 también incluye, en el bloque 205, el almacenamiento de mediciones marcadas temporalmente (*timestamped*) junto con la correspondiente información de estado de contactores marcada temporalmente. Por ejemplo, el componente de almacenamiento 205 toma como input un conjunto estable de
20 mediciones y los valores asociados de estado de contactores de paso, y escribe todos estos datos junto con una marca de tiempo en la memoria almacenada. Como se indicó anteriormente, el mecanismo de almacenamiento puede ser interno al Monitor IED 128, utilizando cualquier tipo de tecnología disponible de almacenamiento en memoria, tal como una memoria volátil (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)) y memoria no volátil (por ejemplo, una EEPROM). Alternativamente, el mecanismo de almacenamiento puede estar separado físicamente
25 del Monitor IED 128, tal como la base de datos 136 de la figura 1 que está conectada al monitor IED 128 a través de la red opcional de almacenamiento de datos 132. Si se utiliza una base de datos separada físicamente, el modo en que se almacenan los datos puede utilizar, por ejemplo, un enfoque basado en web o en un paquete de software de monitorización, tal como la solución de software empresarial de gestión de energía *PowerLogic® ION* que es de *Schneider Electric*.

30 [0053] De acuerdo con algunos aspectos de la presente descripción, los datos que se almacenan para un intervalo dado de medición se correlacionan entre sí de tal manera que los valores de estado de contactores de ese intervalo dado de medición son asociados con cada una de las mediciones almacenadas para ese intervalo dado. Los valores de estado de contactores pueden ser vistos como bits individuales de un número entero utilizado como una etiqueta identificadora. Por ejemplo, si hay 10 pasos en una batería de condensadores, los 10 valores de estado de
35 contactores podrían ser considerados como 10 bits de un número entero usado como una etiqueta identificadora. Todo el conjunto de datos marcados temporalmente (*timestamped*) almacenados es puesto a disposición del bloque Analizar 209 de la figura 2 con el fin de buscar cualesquiera tendencias relevantes en una serie de intervalos de medición.

40 [0054] En el bloque 207, el procedimiento 200 de la figura 2 determina si es el momento de pasar a la etapa de análisis periódico en base a una frecuencia de análisis predeterminada, denominada en este documento como Frecuencia 2. Como un ejemplo, esta frecuencia podría ser una vez al día. Si aún no es el momento de proceder (es decir, bloque 207 = No), entonces el procedimiento 200 vuelve al bloque Medir 201 sin pasar por los bloques
45 restantes del diagrama de flujo de la figura 2. Sin embargo, cuando llega el momento de poner en marcha un nuevo análisis (es decir, bloque 207 = Sí), el flujo de programa pasa al bloque Analizar 209. Téngase en cuenta que los bloques 207, 209 y 211 se pueden realizar ya sea en el Monitor IED o en un dispositivo informático independiente si se desea.

50 [0055] El procedimiento 200 continúa con el componente "Analizar" presentado en el bloque 209 de la figura 2. En la realización ilustrada, el bloque Analizar 209 describe cómo el procedimiento 200 realiza un análisis periódico de los valores almacenados con el fin de evaluar la salud de una batería de condensadores 118 y de los pasos individuales 120 de los mismos. La figura 4 es un diagrama de flujo de un ejemplo de componente de análisis 400 para el
55 procedimiento presentado en la figura 2. Se muestran seis áreas funcionales diferentes en el diagrama de flujo de la figura 4, cada una de las cuales está identificada en la figura 4 con un correspondiente número rodeado con un círculo. Estas seis áreas se describen en detalle a continuación utilizando los números de referencia.

(1) Base de datos de exploración durante el intervalo seleccionado

[0056] La primera área de la figura 4 controla el bucle funcional a través de todas las combinaciones de estados de contactores (hasta un máximo teórico de 2^n combinaciones para n pasos discretos), y a través de todas las mediciones almacenadas para cada combinación de estados de contactores. La primera área funcional de la figura 4 comienza en el bloque 403 consultando la base de datos 136 (u otro tipo de almacenamiento de datos) sobre la siguiente combinación de estados de contactores. La primera área funcional continúa en el bloque 405 consultando la base de datos 136 (u otro tipo de almacenamiento de datos) sobre todas las mediciones que tienen el mismo conjunto de valores de estado de contactores durante un intervalo de tiempo seleccionado, presentado en este documento como Frecuencia 3.

[0057] El intervalo de tiempo de la Frecuencia 3 puede ser el mismo que el intervalo de análisis (es decir, Frecuencia 2), comentado anteriormente, o puede ser un intervalo de tiempo diferente. Por ejemplo, el intervalo de análisis se puede ajustar a una vez por día, y los datos que se consideran durante el bloque de análisis 209 podrían ser todos los datos del día anterior. En este caso Frecuencia 3 = Frecuencia 2. Alternativamente, el intervalo de análisis se puede ajustar a una vez por día, y los datos que se consideran durante el bloque de análisis 209 podrían ser todos los datos de un intervalo diferente, por ejemplo, ajustando la Frecuencia 3 a fin de analizar datos de los últimos 7 días. En este caso la Frecuencia 3 abarca un período de tiempo más largo que la Frecuencia 2. La elección de la longitud del intervalo para la Frecuencia 3 puede ser dependiente de la implementación y/o seleccionada por el usuario.

[0058] Después de recibir todas las mediciones para un conjunto dado de valores de estado de contactores durante el intervalo definido por Frecuencia 3, la primera área funcional de la figura 4 itera por cada una de las mediciones, mirando todos los valores de un parámetro, y luego todos los valores del parámetro siguiente, etc. Para cada parámetro, se pasa a la siguiente área funcional el conjunto de valores marcados temporalmente (*timestamped*) durante la duración del intervalo de Frecuencia 3.

(2) Normalizar

[0059] Algunos de los parámetros medidos deben ser normalizados antes de evaluar su tasa de variación. Esto ayuda a garantizar una comparación equitativa entre los valores medidos en diferentes momentos. La operación de normalización presentada en el bloque 407 puede ser vista como un modelo lineal simple de un parámetro respecto a otro (por ejemplo, usando pares de valores en lugar de un único valor). Algunos ejemplos de posibles factores de normalización incluyen, en ejemplos no limitativos, la magnitud de la tensión medida, la frecuencia medida, la potencia reactiva medida (kvar), o la temperatura ambiente. Se contemplan también otras metodologías de normalización dentro del alcance de la presente descripción.

[0060] A modo de ejemplo, el parámetro medido puede ser la potencia activa, que se mide en vatios (W). Los valores medidos de vatios pueden variar proporcionalmente con la magnitud de la tensión aplicada o con el valor resultante de la potencia reactiva (kvar). En este ejemplo, las variaciones en vatios por sí solas generalmente no son suficientes para indicar una desviación del comportamiento normal, ya que la variación puede ser causada simplemente por una variación esperada en la magnitud de la tensión aplicada. Por consiguiente, en una aplicación en la que la potencia es el parámetro medido, el bloque 407 puede normalizar las mediciones de vatios con respecto a la tensión (vatios/voltios) o con respecto a la potencia reactiva (vatios/kvar) antes de intentar evaluar la tasa de variación.

[0061] Como se indica en la figura 4, la operación de normalización que aparece en el bloque 407 es opcional, por lo que puede ser eliminada por completo o se puede aplicar sólo a determinados tipos de medición y no a otros. En algunas formas de realización, el factor de normalización está predefinido para una medición dada para asegurar un comportamiento predecible. Si la normalización se aplica a una medición, cada uno de los valores marcados temporalmente para esa medición será normalizado de la misma manera, y luego pasado al siguiente bloque.

(3) Tasa de variación de referencia (*baseline*)

[0062] Para cada combinación de valores de estado de contactores y cada tipo de medida para una combinación dada de contactores, se requiere una tasa de variación de referencia para compararla con una tasa de variación medida que será determinada, por ejemplo, en la cuarta área funcional, la cual se comenta en detalle a continuación.

En consecuencia, la tercera área funcional de la figura 4 tiene la función de determinar una tasa de variación de referencia en el bloque 411; hay varios enfoques posibles para la determinación de la tasa de variación de referencia.

5 [0063] En un primer ejemplo no limitativo, la tasa de variación de referencia puede ser pre-fijada a un valor predefinido para un tipo de parámetro dado. Por ejemplo, se puede esperar que la capacitancia estimada disminuya a un cierto ritmo en el tiempo, por ejemplo, estimándose que es de un 1% por año en circunstancias normales. En este caso, la tasa de variación de referencia para una medición de capacitancia puede ser pre-fijada al 1% por año (o el equivalente para una base de tiempo diferente, tal como el intervalo de la Frecuencia 3).

10 [0064] En un segundo ejemplo no limitativo, la tasa de variación de referencia se puede derivar a partir de los conjuntos de mediciones que ya están almacenados localmente en el monitor IED 126 o remotamente en la base de datos 136. En un caso, la tasa de variación calculada a partir de mediciones previamente analizadas puede ser evaluada o utilizada de otra manera para establecer una tasa de variación de referencia para mediciones subsiguientes. En otro caso, la tasa de variación de referencia puede ser potencialmente diferente para cada combinación de valores de estado de contactores y para cada tipo de medición para una combinación de contactores dada. Como tal, cada vez que se detecta por primera vez una nueva combinación de estado de contactores, puede ser necesario determinar una nueva tasa de variación de referencia antes de comprobar si hay una desviación entre la tasa de variación de referencia y la calculada. Por ejemplo, durante el período de puesta en
15
20
25
marcha, se calcula una tasa de variación de las mediciones que están disponibles, por ejemplo, de la misma manera que se describió anteriormente con respecto al bloque 413. Esto garantiza que la tasa de variación de referencia se calcula de una manera consistente con la tasa de variación con la cual será comparada después del período de puesta en marcha. Una vez que se ha recogido un número suficiente de mediciones para la combinación dada, esta tasa de variación calculada se convierte en la nueva tasa de variación de referencia, y el período de puesta en
marcha finaliza.

[0065] En un tercer ejemplo no limitativo, la tasa de variación de referencia para una fase puede derivarse en base a las mediciones para las otras fases. En las mediciones específicas de fase, por ejemplo, puede derivarse la referencia (*baseline*) para una fase a partir de las mediciones de las otras dos fases. En este caso, es posible
30
35
detectar un desequilibrio entre fases de la tasa de variación para una medición dada. Un desequilibrio entre fases es una indicación potencial de condensador insano. El concepto es que es posible, en algunas realizaciones, comparar la tasa de variación calculada para una fase (por ejemplo, en el bloque 413) con las tasas de variación calculadas para las otras dos fases. En este caso concreto, se define la referencia (*baseline*) (por ejemplo, en el bloque 411) para que funcione de un modo en que ésta compara con las otras dos fases en lugar de definirse como un valor numérico único. Entonces, en la determinación de si existe una desviación con respecto a la referencia (*baseline*) (por ejemplo, en el bloque 415), la referencia (*baseline*) compara con las dos tasas de variación calculadas para las otras dos fases (por ejemplo, procedentes del bloque 413, que variarán en el tiempo) en lugar de comparar con un valor único predeterminado.

40 [0066] Antes de determinar la tasa de variación de referencia en el bloque 411, el área funcional 3 de la figura 4 incluye en el bloque 409 una comprobación para ver si el sistema se encuentra todavía en el período de puesta en marcha. Esto puede aplicarse por separado a cada combinación de valores de estado de contactores y para cada medición de una combinación dada. Por lo tanto, puede haber un "período de puesta en marcha" diferente para cada combinación, y el "período de puesta en marcha" no es simplemente una duración de tiempo pre-establecida. Por
45
ejemplo, un período de puesta en marcha puede ser el tiempo para obtener suficientes conjuntos de mediciones para cada combinación.

[0067] Una vez que la tasa de variación de referencia ha sido determinada, el flujo del programa pasa a la etapa 4.

50 (4) Tasa de variación calculada

[0068] Para al menos algunas de las mediciones y estados de contactores marcados temporalmente almacenados, se determina una tasa de variación para un parámetro que es indicativo o derivado de las medidas asociadas con al menos uno de la pluralidad de pasos 120 de la batería de condensadores 118. Para este fin, el componente de
55
análisis 400 de la figura 4, según se indica en el bloque 413, evalúa la tasa observada de variación de este parámetro en la cuarta área funcional (en unidades de porcentaje de variación por unidad de tiempo) para el

conjunto de valores marcados temporalmente que representan datos procedentes del intervalo de Frecuencia 3 anterior.

[0069] Hay disponibles varios enfoques matemáticos para el cálculo de la tasa de variación de un conjunto de valores marcados temporalmente. Para propósitos de ilustración, un ejemplo específico sería calcular una curva de mejor ajuste (*best-fit curve*) entre los puntos de datos, y medir la pendiente de la curva al final del intervalo. Un ejemplo alternativo sería promediar las primeras cinco mediciones del intervalo (y sus marcas de tiempo), y promediar las últimas cinco mediciones (y sus marcas de tiempo), y calcular la pendiente de la línea que conecta estas dos medias. Independientemente del enfoque matemático elegido, el cálculo resultante debe ser un número expresado como un porcentaje de variación por unidad de tiempo para esta combinación.

[0070] Un componente adicional del funcionamiento incluido en el bloque 413 de la figura 4 es considerar el modo de fallo "esperado" de un condensador, en el que actúa un mecanismo de auto-protección en uno de los condensadores 124 de un paso 120 para retirar el condensador del circuito. En algunas formas de realización, un mecanismo de auto-protección es un dispositivo de desconexión automática que se activa, por ejemplo, por exceso de presión, exceso de temperatura, exceso de corriente, retirando de este modo el condensador del circuito. Para facilitar la detección de un modo de fallo "esperado", la magnitud de la variación discreta puede configurarse de acuerdo con la estructura de los pasos, es decir, el número de condensadores. Aunque es poco frecuente, este tipo de fallo se considera que es un hecho normal, y generalmente no es una preocupación significativa. Si un condensador del circuito es retirado por un mecanismo de auto-protección, habrá un paso discreto en ciertas mediciones (incluyendo de corriente, capacitancia, vatios, kvar, etc.). Por lo tanto, en la evaluación de la tasa de variación, puede ser necesario identificar cualquiera de estos pasos discretos en las mediciones y eliminar este efecto de la tasa calculada de variación. Este tipo de modo de fallo "esperado" a menudo no se detecta en muchas instalaciones actuales de batería de condensadores debido a la falta de datos de monitorización de tres fases. Un beneficio útil de la característica anterior es detectar condensadores que han fallado de una manera "esperada" y proporcionar una notificación al cliente o a la organización de servicios del fabricante.

[0071] Una vez determinada en el bloque 413, la tasa de variación derivada es pasada a continuación a la quinta área funcional para compararla con la referencia (*baseline*).

(5) Desviación con respecto a la referencia (*baseline*)

[0072] Una vez que se establece la tasa de variación de referencia y se determina la tasa actual de variación, estas dos tasas de variación son comparadas para producir una desviación. Por ejemplo, el componente de análisis 400 determina en el bloque 415 si hay una desviación entre la tasa de variación de referencia y la tasa de variación calculada, y, si es así, cuál es la desviación. Si hay una desviación, el componente de análisis 400 almacena información de la desviación para un análisis estadístico, como se indica en el bloque 417. A modo de ejemplo, la tasa calculada de variación se puede comparar con la tasa de variación de referencia para determinar si el parámetro (por ejemplo, capacitancia) está variando o no (por ejemplo, variación de la capacitancia en porcentaje por año) hacia una tasa inesperadamente alta.

[0073] La comparación lógica podría llevarse a cabo, por ejemplo, de acuerdo con un enfoque estadístico, desde una simple comparación matemática hasta un análisis complejo del conjunto de datos para ver si la curva estadística se ha desplazado en una cantidad significativa en el tiempo. Un ejemplo no limitativo incluye identificar si la tasa calculada de variación es mayor que la tasa de variación de referencia más un delta predeterminado (es decir, una diferencia o umbral máximo permitido). Por ejemplo, si la tasa de variación de referencia de un parámetro es del 1% por año (o una cantidad equivalente en un período más corto), y el delta predeterminado para este parámetro se establece como 0,5% por año, entonces se detectaría una desviación inaceptable con respecto a la referencia (*baseline*) si la tasa de variación calculada estuviera por encima del 1,5% por año. Esta comparación podría ser considerada como la determinación de si la tasa medida de variación sobrepasa una cierta envolvente que rodea una curva teórica de envejecimiento para el parámetro.

[0074] En algunas realizaciones, el delta predeterminado puede variar en función de los pasos que están activos/inactivos. Por ejemplo, un solo condensador 124 de una batería de condensadores 118 puede presentar un patrón de envejecimiento acelerado, por ejemplo, en el que la capacitancia disminuye a una tasa más alta de lo esperado. Cuando el único paso activo es el paso 120 que incluye el condensador 124 que se está deteriorando de forma irregular, debería considerarse que la capacitancia medida decrece a una tasa mayor que la referencia

(*baseline*). Sin embargo, cuando están activos múltiples pasos 120, uno de los cuales incluye el condensador 124 que se está deteriorando de forma irregular, el efecto será reducido, y podría considerarse que la capacitancia medida disminuye a una tasa que está entre la tasa de un solo paso y la tasa de variación de referencia. Por lo tanto, el delta aplicado en esta comparación se elegiría en base a no sólo el parámetro que se está midiendo, sino también a los valores de estado de contactor de paso específicos.

[0075] Si se detecta una desviación con respecto a la referencia (*baseline*) (es decir, bloque 415 = Sí) para la combinación actual de estados de contactores y para la medición actual, entonces en el bloque 417 se registra esta desviación para su uso en el análisis estadístico de todas las desviaciones observadas. Si no se detecta ninguna desviación (es decir, bloque 415 = No), el flujo del programa pasa directamente al siguiente bucle que está controlado por la primera área funcional. En ambos casos, el componente de análisis 400 de ejemplo pasará del bloque 415 o 417 al bloque 419 para determinar si se han acabado todas las mediciones para la combinación actual de contactores. Si no (es decir, bloque 419 = No), el flujo del programa vuelve al bloque 405 y obtiene de la base de datos 136 (u otro almacenamiento de datos) el siguiente conjunto de mediciones que tienen el mismo conjunto de valores de estado de contactores dentro del intervalo de tiempo seleccionado, es decir, Frecuencia 3. Si es así (es decir, bloque 419 = Sí), el componente de Análisis 400 pasará al bloque 421 para determinar si se han acabado todas las combinaciones de estados de contactores. Si no (es decir, bloque 421 = No), el flujo del programa vuelve al bloque 403 y obtiene de la base de datos 136 (u otro tipo de almacenamiento de datos) la siguiente combinación de estados de contactores. De lo contrario, el componente de Análisis 400 pasará a la sexta área funcional, la cual se comenta a continuación.

(6) Análisis de Desviaciones

[0076] Después de que todas las combinaciones de valores de contactores de paso y valores de medición han sido evaluadas de acuerdo con las áreas (1) - (5), el componente de Análisis de la figura 4 realiza un análisis estadístico de las desviaciones detectadas, según se indica en el bloque 423, para estimar la salud de una batería de condensadores, de cada paso de una batería de condensadores, y/o de cada condensador de un paso. En algunas realizaciones, este análisis estadístico se realiza sobre las desviaciones detectadas para cada combinación de valores de estado de contactores de paso.

[0077] A modo de ejemplo no limitativo, la salud de cada paso 120 de una batería de condensadores 118 se puede expresar como un "nivel de confianza". El nivel de confianza puede ser una indicación de la certeza de que es probable que un paso respectivo tenga problemas o, por el contrario, es probable que no tenga problemas. Este nivel de confianza puede expresarse numéricamente (por ejemplo, como un porcentaje), gráficamente (por ejemplo, a través de un icono correspondiente), descriptivamente (por ejemplo, a través de una narrativa), o cualquier otro medio adecuado. En una realización ilustrativa, el nivel de confianza se presenta mediante tres valores posibles para simplificar la presentación de informes al usuario: Verde (o nivel bajo) - ninguna señal de problemas para el paso; Amarillo (o nivel medio) - señal potencial de problemas para el paso; Rojo (o nivel alto) - alta confianza de que el paso tiene problemas. De forma reconocible, se pueden usar menos o más de tres valores sin desviarse del alcance de la presente descripción.

[0078] El análisis estadístico de las desviaciones registradas realizado en el bloque 423 puede seguir varios enfoques estadísticos diferentes. Las técnicas de análisis de varianza (ANOVA - *ANalysis Of VAriance*) son una posibilidad para comparar combinaciones en las que sólo varió un contactor para determinar si la variación fue estadísticamente significativa.

[0079] Otro enfoque posible más básico puede incluir: primero, revisar las desviaciones que se detectaron cuando uno y sólo uno de los contactores de paso está activo. En estos casos, el paso asociado con el único contactor que está activo puede ser identificado como el origen de la desviación. A cualquier paso que se identifica de esta manera se le asigna un nivel de confianza de color rojo. En segundo lugar, revisar las desviaciones que se detectaron cuando dos y sólo dos de los contactores de paso están activos. En cada una de estas combinaciones de dos pasos con una desviación detectada, para cualquier paso al que no se le asignó ya un nivel de confianza de color rojo en el análisis anterior, asignar temporalmente a esos pasos un nivel de confianza de color amarillo para la combinación de dos pasos. En tercer lugar, revisar las desviaciones que se detectaron cuando tres y sólo tres de los contactores de paso estaban activos. En cada una de estas combinaciones de tres pasos con una desviación detectada, para cualquier paso al que no se le asignó previamente un nivel de confianza de color rojo, asignar temporalmente a esos pasos un nivel de confianza de color amarillo. Este patrón continúa hasta el punto en el que se detectaron

desviaciones con N-1 de los contactores de paso activos, marcando temporalmente cada paso con un nivel de confianza de color amarillo para la combinación de N-1 pasos. Finalmente, después de analizar todas las combinaciones de contactores de paso, revisar los resultados para cada paso, un paso a la vez. Si a un paso se le asignó un nivel de confianza de color rojo, o si fue previamente desconectado debido a un nivel de confianza de color rojo (sin producir de este modo datos para este intervalo), entonces el nivel de confianza final para el paso es de color rojo. De lo contrario, comprobar todas las combinaciones de pasos en las que se le asignó al paso un nivel de confianza temporal de color amarillo. Si todas estas combinaciones de paso involucraron a al menos un paso al que ya se le ha asignado un nivel de confianza de color rojo, o si no hay combinaciones en las que se asignó al paso un nivel de confianza temporal de color amarillo, entonces el nivel de confianza final para estos pasos es de color verde. De lo contrario, el nivel de confianza final es de color amarillo.

[0080] El análisis de la desviación que se ha expuesto anteriormente es sólo una posible implementación. Se contemplan otros enfoques, que posiblemente incluyen un análisis de las combinaciones de paso observadas que no dieron lugar a una desviación con respecto a la referencia (*baseline*), con el fin de dar más confianza a una valoración de color verde.

[0081] En otra configuración opcional, si se detecta un modo de fallo "esperado", en el que actúa un mecanismo de auto-protección de uno de los condensadores 124 de un paso 120 para retirar el condensador del circuito, se le puede asignar al condensador y/o paso correspondiente un nivel de confianza de color amarillo, y enviar una notificación apropiada al usuario y/o equipo de servicios. Por ejemplo, si la tasa de disminución de la capacitancia se considera normal, pero hay una variación significativa debido al funcionamiento de los sistemas de protección, el paso es designado como de color amarillo. Tal acción implicaría que el paso está funcionando por debajo de su capacidad, y puede requerirse su mantenimiento para que el paso recupere el rendimiento esperado. Puesto que no hay peligro inminente asociado con un modo de fallo "esperado", no se le asigna un nivel de confianza de color rojo. Una vez se asigna un nivel de confianza adecuado, el componente de Análisis 400 genera el nivel de confianza (u otra indicación) para los pasos seleccionados (por ejemplo, todos los niveles de confianza de color rojo) o, en el bloque 425, para todos los pasos.

[0082] El componente de Análisis 400 ejemplar de la figura 4 proporciona un nivel de confianza para cada paso en forma de input para el componente de Acción/Decisión indicado en el bloque 211 de las figuras 2 y 4. La figura 5 es un diagrama de flujo de un componente Acción/Decisión a modo de ejemplo, designado generalmente como 500, para el procedimiento 200 presentado en la figura 2. En la realización ilustrada de la figura 5, el componente de Acción/Decisión 500 itera por cada paso de la batería de condensadores, inspeccionando el nivel de confianza para determinar el curso de acción de respuesta apropiado (si es el caso). En el bloque 501, por ejemplo, se recupera el nivel de confianza para cada paso 120 de la batería de condensadores 118. El componente de Acción/Decisión 500 determina entonces en el bloque 503 qué nivel de confianza se asigna a cada paso 120. Alternativamente, los bloques 501 y 503 se pueden combinar para recuperar sólo los niveles de confianza preseleccionados (por ejemplo, sólo los pasos que tienen asignado un nivel de confianza de color rojo). De acuerdo con el bloque 505, si el nivel de confianza asignado a un paso en particular es de color rojo, el sistema de monitorización de batería de condensadores 110 puede actuar opcionalmente para desconectar el paso, por ejemplo, utilizando una salida de contacto. Esta característica puede ser configurable, ya que una característica de seguridad puede ser deseable en algunas instalaciones y no deseable en otras instalaciones.

[0083] Si el nivel de confianza para un paso es de color rojo o amarillo, se puede iniciar una notificación activa, por ejemplo, para alertar al usuario u otro personal apropiado, según se indica en el bloque 507 de la figura 5. En algunas formas de realización, esta alerta traduce la identificación de un problema potencial en una estrategia de acción/respuesta a realizar recomendada para el usuario o el personal de los servicios. Las partes que reciben esta alerta pueden incluir, por ejemplo, el usuario, el gestor de la instalación, y/o la organización de servicios del fabricante. La alerta en sí puede ser utilizada para marcar el paso para su reparación (en el caso de una confianza de color rojo) o su revisión (en el caso de una confianza de color amarillo). También puede incluir el número de serie u otra información relacionada que se puede utilizar para comprobar si hay un aviso de retirada. La tecnología utilizada para esta alerta puede incluir, por ejemplo, un vídeo en red (*web push*), SMS, etc., usando las capacidades de comunicación del monitor IED 128 o un dispositivo informático alternativo o remoto usado para el análisis. Alternativamente, la alerta podría ser lanzada a través de un paquete de software de monitorización, tal como la solución de software empresarial de gestión de energía *PowerLogic® ION* u otra aplicación software de control de monitorización y adquisición de datos (SCADA - *supervisory control and data acquisition*).

[0084] Independientemente del nivel de confianza para un paso, se puede iniciar una notificación pasiva para proporcionar una visualización estática del nivel de confianza actual para todos los pasos en base a, por ejemplo, el análisis más reciente. Este estado puede ser proporcionado usando una vista basada en web, por ejemplo, directamente desde el Monitor IED 128. Alternativamente, se podría incluir en una vista proporcionada por un paquete de software de monitorización, tal como la solución de software empresarial de gestión de energía *PowerLogic® ION* u otra aplicación software SCADA. La instalación de batería de condensadores 100 también puede integrar un indicador local del nivel de confianza para cada paso. Un enfoque representativo sería proporcionar un dispositivo LED de varios colores para cada paso, e imponer el color adecuado para cada paso basado en el nivel de confianza actual.

[0085] En algunas realizaciones, el procedimiento 200 de la figura 2 incluye al menos aquellos bloques enumerados anteriormente. También está dentro del alcance de la presente descripción la omisión de bloques, la inclusión de bloques adicionales y/o la modificación del orden presentado. Cabe señalar además que el procedimiento 200 representa un solo ciclo de monitorización de una o más baterías de condensadores. Sin embargo, se espera que el procedimiento 200 sea aplicado de una manera repetitiva y/o sistemática.

[0086] Con referencia ahora al diagrama de flujo de la figura 6, se describe de forma general un procedimiento 600 mejorado para la monitorización de una o más baterías de condensadores de acuerdo con diversas realizaciones. La figura 6 representa un algoritmo ejemplar que corresponde a al menos algunas instrucciones que pueden ser ejecutadas por un controlador, tal como la unidad central de procesamiento (CPU) de un ordenador, para llevar a cabo alguna de o todas las siguientes funciones descritas asociadas con los conceptos divulgados. Las instrucciones correspondientes al algoritmo 200 se pueden almacenar en un medio legible informáticamente no transitorio, tal como en un disco duro u otro dispositivo de almacenamiento masivo o un dispositivo de memoria.

[0087] El procedimiento 600 comienza en el bloque 601 recibiendo mediciones indicativas de voltajes o corrientes, o ambos, en líneas eléctricas respectivas acopladas operativamente por unos contactores correspondientes a los pasos de la batería de condensadores. En el bloque 603, se recibe información de estado que es indicativa de los respectivos estados de los contactores. El procedimiento 600 continúa al bloque 605 en el que se marcan temporalmente las mediciones procedentes del bloque 601 y la información de estado de contactores procedente del bloque 603. A partir de entonces, las mediciones marcadas temporalmente y la correspondiente información de estado de contactores marcada temporalmente se almacenan conjuntamente en el bloque 607. A partir de estos datos almacenados, el bloque 609 incluye la determinación de una tasa de variación de un parámetro que es indicativo o derivado de al menos las mediciones asociadas con al menos uno de la pluralidad de pasos de la batería de condensadores. La tasa de variación determinada se compara con una tasa de variación de referencia para producir una desviación (si la hay), según se indica en el bloque 611. Si se produce una desviación diferente de cero, el bloque 613 incluye la determinación de si la desviación satisface un criterio (por ejemplo, supera un umbral predeterminado). Si es así, el bloque 613 responde indicando la desviación que ha satisfecho el criterio (por ejemplo, a través de la asignación de un nivel de confianza apropiado y la notificación al usuario del nivel de confianza).

[0088] Aunque se han descrito e ilustrado realizaciones y aplicaciones particulares de la presente divulgación, debe entenderse que esta divulgación no se limita a la construcción precisa y composiciones descritas en este documento y que pueden ser evidentes diversas modificaciones, cambios y variaciones a partir de las descripciones anteriores sin apartarse del alcance de la invención tal como definen las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de monitorización de al menos una batería de condensadores que tiene una pluralidad de pasos, comprendiendo el procedimiento:
- 5 recibir (601) mediciones indicativas de voltajes o corrientes o ambas en unas líneas eléctricas respectivas acopladas operativamente a la pluralidad de pasos (120) de la batería de condensadores (118) por contactores correspondientes (122);
- 10 recibir (603) información de estado indicativa de los respectivos estados de los contactores;
- marcar temporalmente (*timestamping*) (605) las mediciones y la información de estado de contactores;
- 15 almacenar (607) las mediciones marcadas temporalmente junto con la correspondiente información de estado de contactores marcada temporalmente;
- para al menos algunas de las mediciones y estados de contactores marcados temporalmente almacenados, determinar (609) una tasa de variación de un parámetro indicativo o derivado de al menos las mediciones asociadas con al menos uno de la pluralidad de pasos de la batería de condensadores;
- 20 comparar (611) la tasa de variación determinada con una tasa de variación de referencia (*baseline rate of change*) para producir una desviación;
- determinar si la desviación satisface un criterio; y
- 25 en respuesta a la desviación que satisface el criterio, indicar (613) que la desviación ha satisfecho el criterio.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la comparación (611) incluye determinar una diferencia entre la tasa de variación de referencia y la tasa de variación determinada, en el que la desviación satisface el criterio si la
- 30 diferencia supera un umbral predeterminado, y en el que la indicación (613) incluye, en respuesta a la diferencia que supera el umbral predeterminado, mostrar una indicación de que el paso asociado (120) tiene un problema potencial.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
- 35 determinar un nivel de confianza (501) para cada uno de los pasos (120) de la batería de condensadores (118), indicando el nivel de confianza una confianza de un problema potencial para cada uno de los pasos; e
- indicar el nivel de confianza para cada uno de los pasos.
- 40 4. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que el nivel de confianza (501) incluye un nivel alto, un nivel medio, y un nivel bajo, comprendiendo el procedimiento además:
- asignar el nivel alto de confianza a aquellos pasos (120) respectivos cuando el paso respectivo, dentro de un período de observación, siempre produce una desviación entre la tasa de variación determinada para ese paso y la
- 45 tasa de variación de referencia;
- asignar el nivel medio de confianza a aquellos pasos respectivos en una combinación de dos pasos que produce una desviación para cualquiera de los pasos que no tenga asignado el nivel alto de confianza; y
- 50 asignar el nivel bajo de confianza a aquellos pasos respectivos en una combinación de pasos que no están asociados con ninguna desviación entre la tasa de variación determinada para ese paso y la tasa de variación de referencia.
- 55 5. El procedimiento de la reivindicación 4, que comprende además comunicar al menos una instrucción para provocar una desconexión de aquellos pasos (120) respectivos que tienen asignado el nivel alto de confianza.

6. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además desconsiderar aquellas medidas (601) respectivas que son inestables debido a un reciente cambio de estado de uno o más de los contactores (122) correspondientes.
- 5 7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que la desconsideración incluye descartar aquellas mediciones (610) respectivas obtenidas dentro de un intervalo predefinido posterior al reciente cambio de estado del uno o más contactores (122) correspondientes.
- 10 8. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende además:
comparar un conjunto de valores de información de estado procedente de un intervalo de medición anterior con un conjunto de valores de información de estado en un intervalo de medición actual, y
concluir (203) que las mediciones (601) son inestables si el conjunto anterior de valores de información de estado es diferente del conjunto actual de valores de información de estado.
- 15 9. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
normalizar (401) las mediciones frente a un parámetro de normalización.
- 20 10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que determinar la tasa de variación incluye identificar pasos discretos en las mediciones, y eliminar los pasos discretos en la determinación de la tasa de variación.
- 25 11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que determinar la tasa de variación incluye calcular una curva de mejor ajuste y medir la pendiente de la curva de mejor ajuste en un intervalo predefinido.
- 30 12. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además calcular un valor para un parámetro predeterminado a partir de las mediciones recibidas, en el que el cálculo del parámetro predeterminado y la recepción de la información de estado están sustancialmente sincronizados.
- 35 13. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además determinar la tasa de variación de referencia (411) para una fase eléctrica de una medición de fase específica a partir de mediciones para al menos otras dos fases eléctricas.
- 40 14. Uno o más medios de almacenamiento legibles informáticamente no transitorios que incluyen instrucciones que, cuando son ejecutadas por uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores realicen operaciones asociadas con un sistema de monitorización de batería de condensadores, comprendiendo las operaciones:
recibir (601) mediciones indicativas de voltajes o corrientes o ambas en líneas eléctricas respectivas acopladas operativamente a una pluralidad de pasos (120) de una batería de condensadores (118) por contactores correspondientes (122);
recibir (603) información de estado indicativa de los respectivos estados de los contactores;
- 45 marcar temporalmente (*timestamping*) (605) las mediciones y la información de estado de contactores;
almacenar (607) las mediciones marcadas temporalmente junto con la correspondiente información de estado de contactores marcada temporalmente;
- 50 para al menos algunas de las mediciones y estados de contactores marcados temporalmente almacenados, determinar (609) una tasa de variación de un parámetro indicativo o derivado de al menos las mediciones asociadas con al menos uno de la pluralidad de pasos de la batería de condensadores;
- 55 comparar (611) la tasa de variación determinada con una tasa de variación de referencia (*baseline rate of change*) para producir una desviación;
determinar si la desviación satisface un criterio; y

en respuesta a la desviación que satisface el criterio, indicar (613) que la desviación ha satisfecho el criterio.

- 5 15. Un sistema de monitorización de batería de condensadores para monitorizar una pluralidad de baterías de condensadores, teniendo cada una de ellas una pluralidad de pasos, incluyendo cada uno de los pasos al menos un condensador, comprendiendo el sistema de monitorización:

uno o más procesadores; y

- 10 uno o más dispositivos de memoria que almacenan instrucciones que, cuando son ejecutadas por el uno o más procesadores, hacen que el sistema de monitorización de batería de condensadores realice las siguientes operaciones:

- 15 recibir (601) mediciones indicativas de voltajes o corrientes en unas líneas eléctricas respectivas acopladas selectivamente por medio de unos correspondientes contactores (122) a la pluralidad de pasos de cada una de las baterías de condensadores (118);

recibir (603) información de estado indicativa de un estado binario respectivo de cada uno de los contactores;

- 20 marcar temporalmente (*timestamping*) (605) las mediciones y la información de estado de contactores;

almacenar (607) cada una de las mediciones marcadas temporalmente (*timestamped*) junto con una combinación correspondiente de la información de estado de contactores marcada temporalmente (*timestamped*);

- 25 para cada una de las combinaciones de estado de contactores, calcular (609) una tasa de variación indicativa de la degradación de cada uno de los pasos de cada una de las baterías de condensadores;

comparar (611) la tasa de variación calculada con una tasa de variación de referencia (*baseline rate of change*) para determinar si hay una desviación entre la tasa de variación de referencia y la tasa de variación calculada;

- 30 si hay una desviación, analizar la desviación para determinar si la desviación satisface un criterio; y

si la desviación satisface un criterio, producir una notificación que indica (613) que la desviación satisface el criterio.

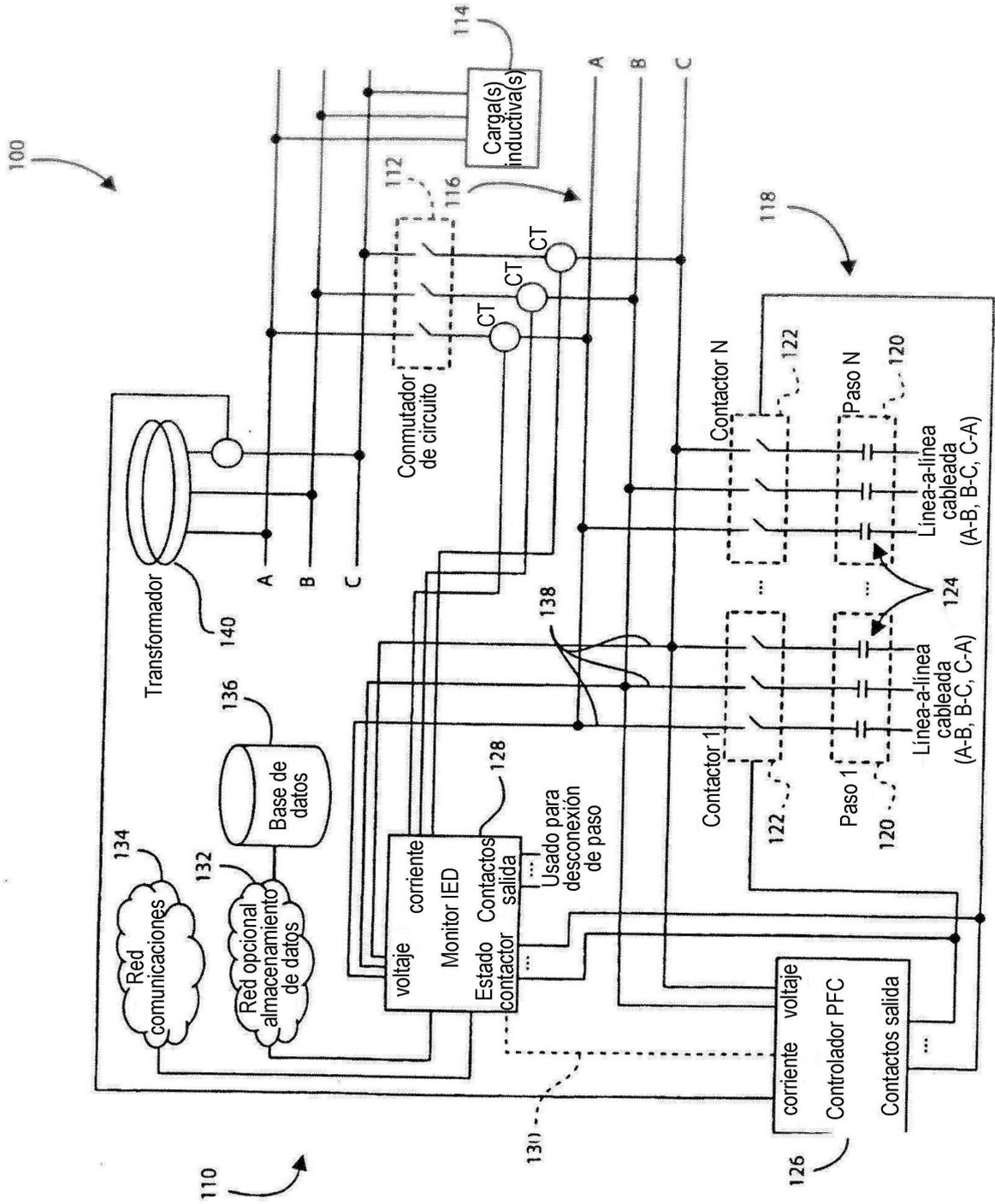


FIG. 1

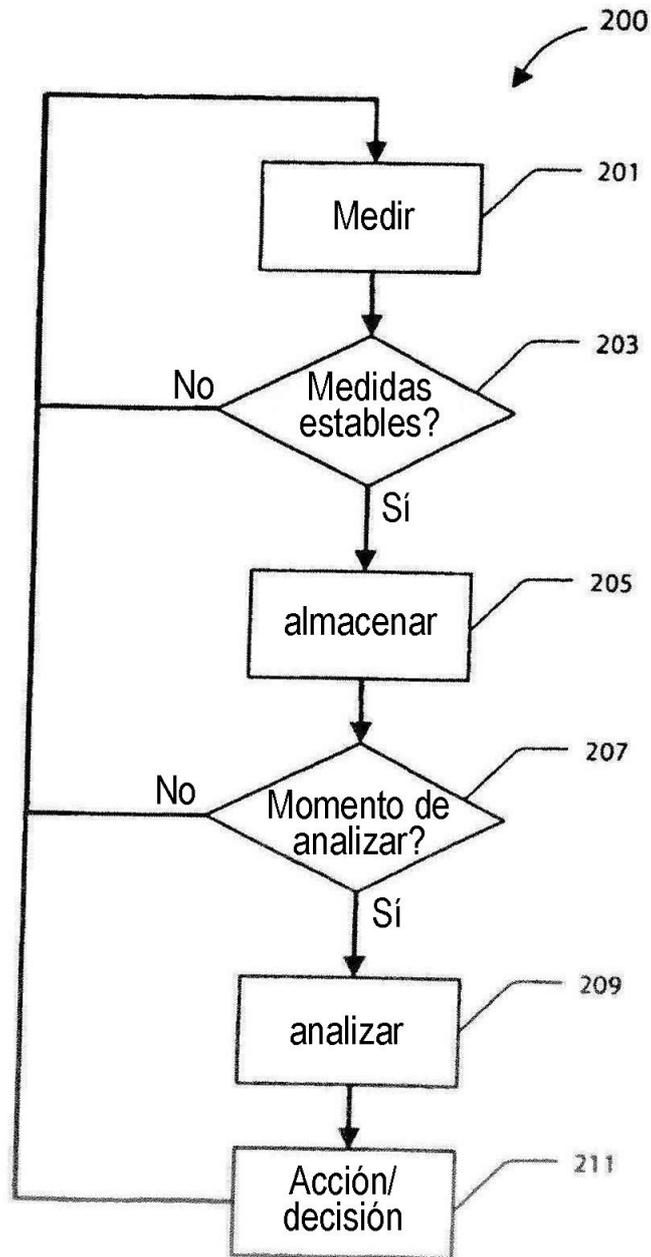


FIG. 2

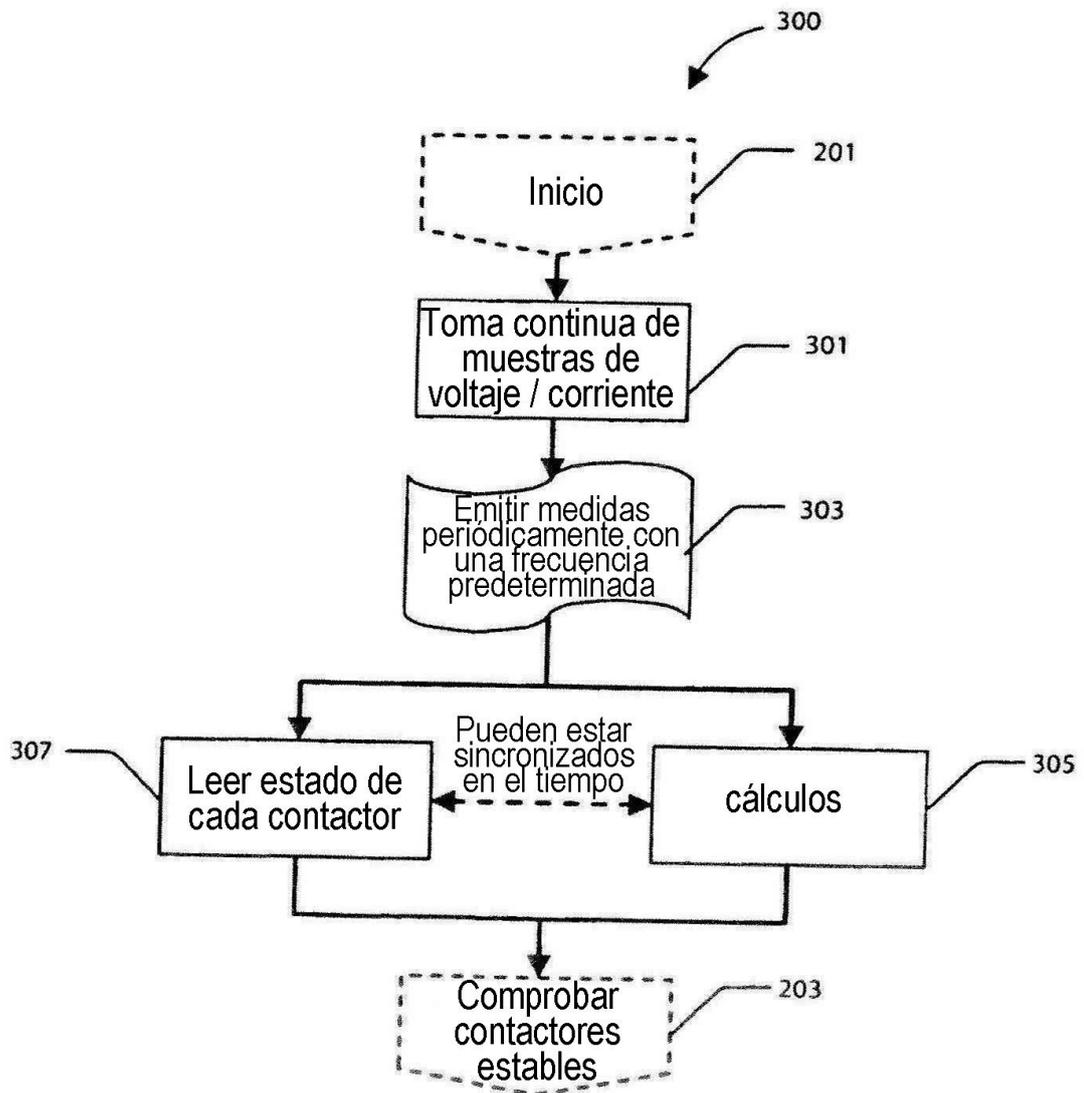


FIG. 3

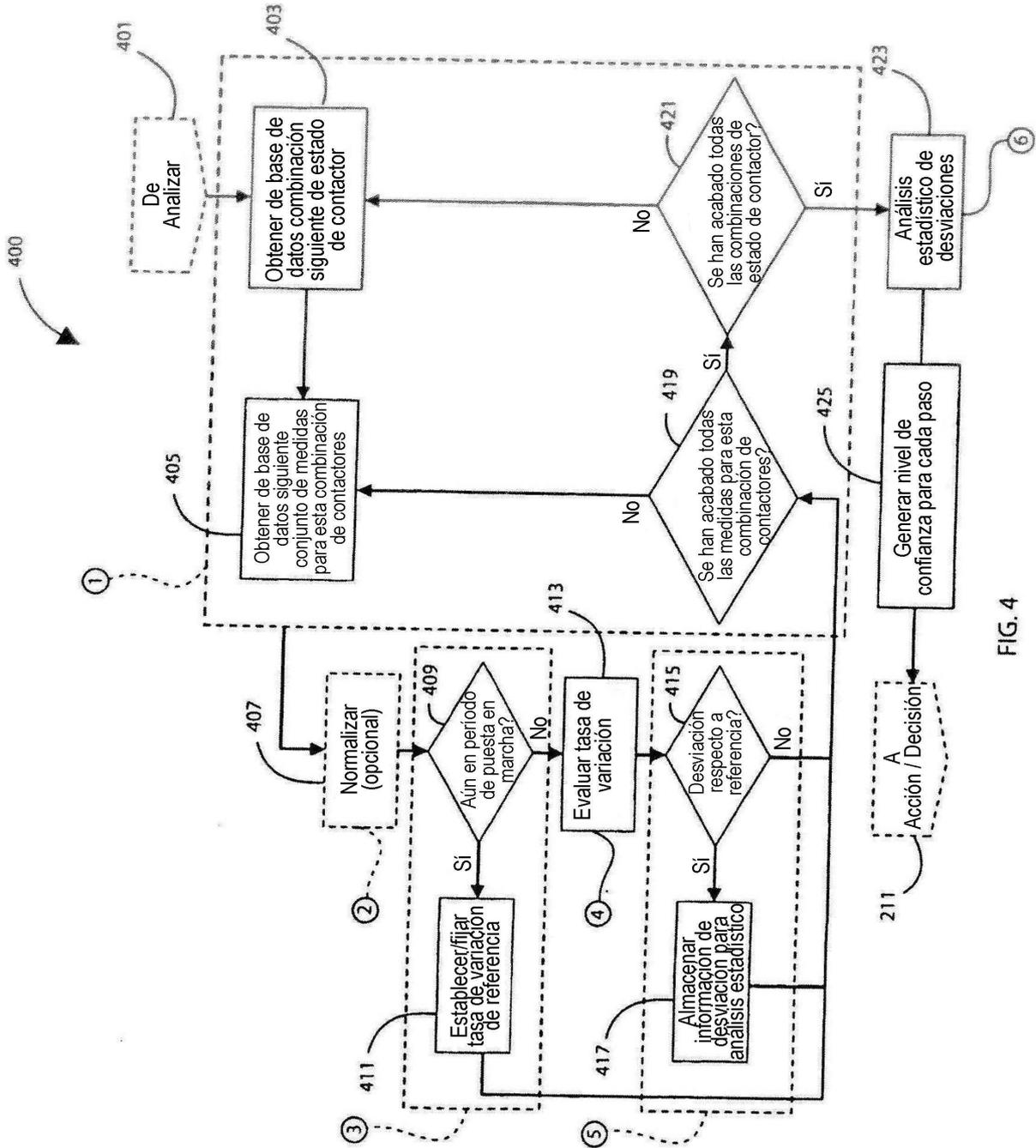


FIG. 4

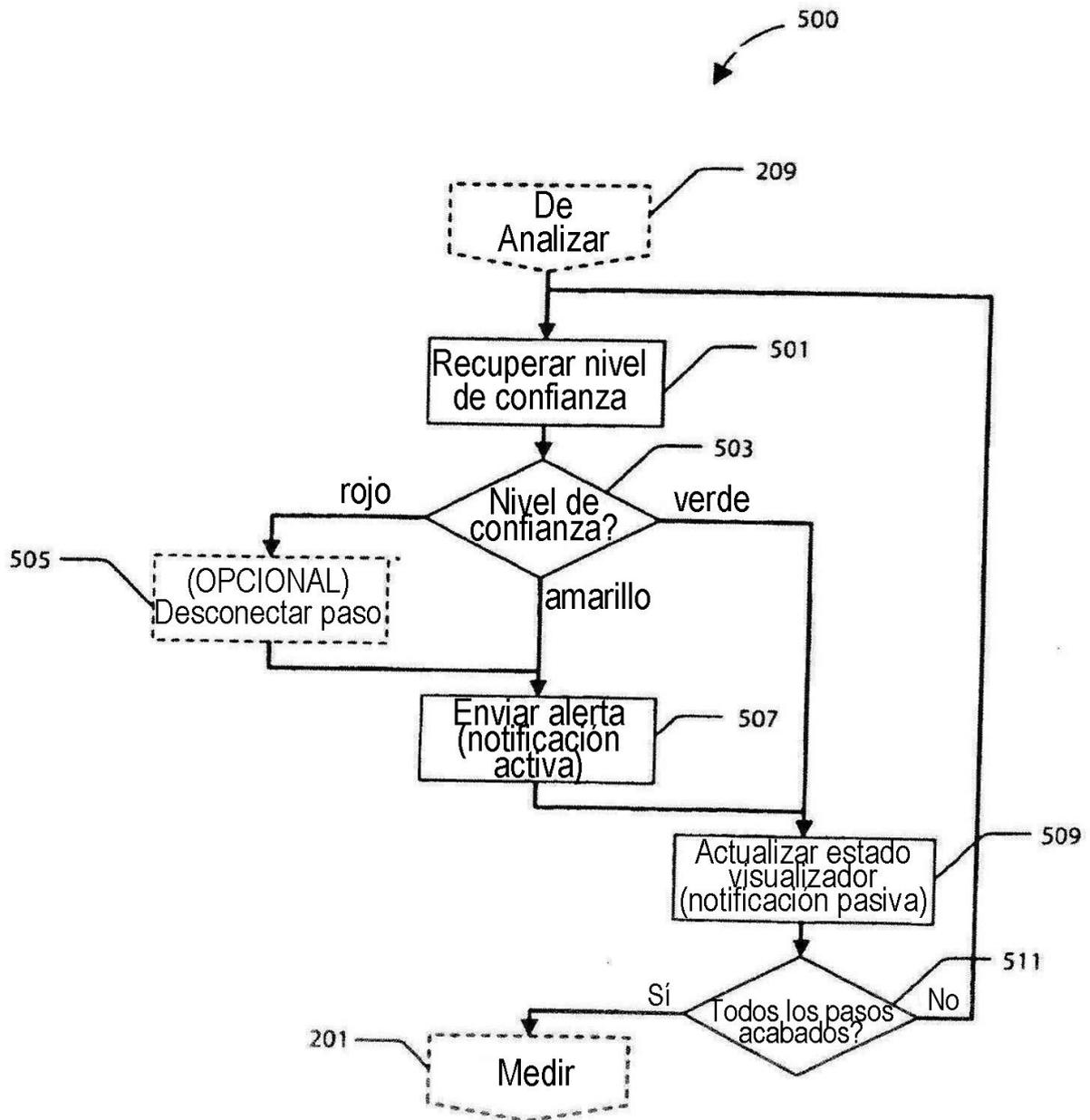


FIG. 5

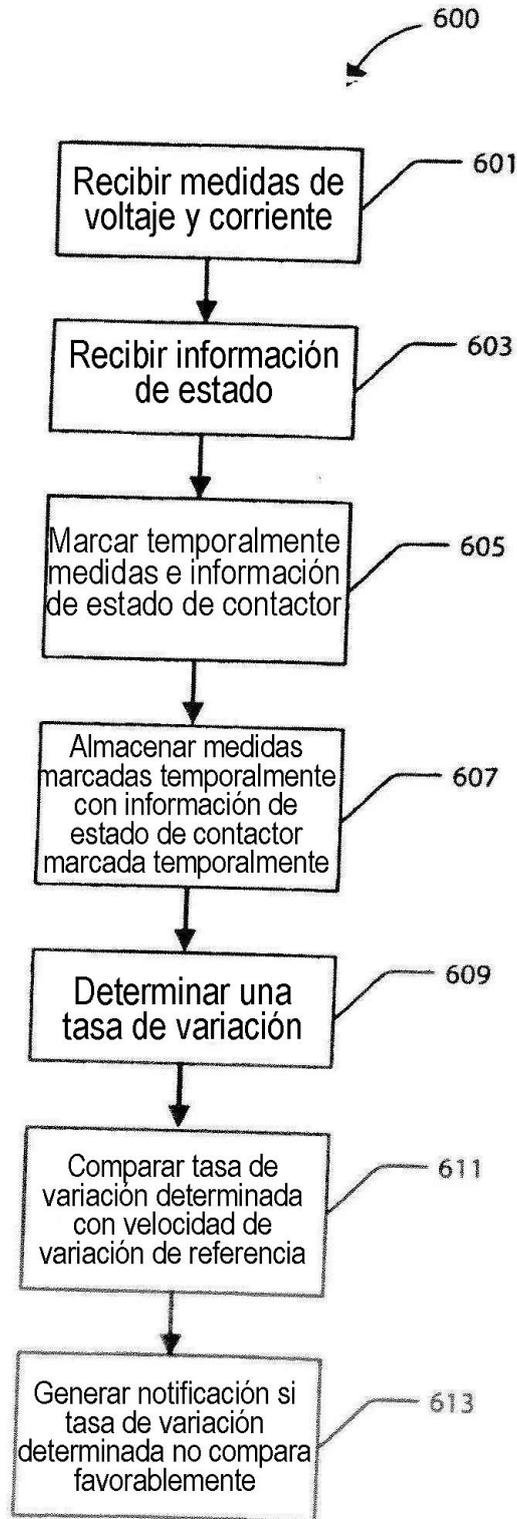


FIG. 6