

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 914 249**

51 Int. Cl.:

H04L 29/08 (2006.01)

G01R 31/327 (2006.01)

H02J 13/00 (2006.01)

G06F 30/367 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2017** **E 17305195 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2022** **EP 3367637**

54 Título: **Réplica de tensión de subestación basada en la tensión digital**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.06.2022

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS
(100.0%)
35, rue Joseph Monier, CS 30323
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

RUDOLPH, THOMAS

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 914 249 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

Réplica de tensión de subestación basada en la tensión digital

La presente invención se refiere a un modelo de subestación y a un procedimiento para obtener una réplica de tensión digital de una subestación.

5 Antecedentes

En las subestaciones de la red eléctrica se utilizan disyuntores y seccionadores para la conmutación de componentes de alta tensión. Esto puede ser en condiciones de carga y en condiciones sin carga. Además de la conexión/desconexión de una carga, los disyuntores son capaces de conectar/desconectar en caso de corrientes de cortocircuito. En condiciones de carga, antes de conmutar o conectar diferentes líneas eléctricas, se realizan comprobaciones para garantizar un funcionamiento seguro y fiable durante y/o después de la conmutación. En particular, cuando se conectan sistemas de potencia a cada lado del disyuntor, éstos pueden no estar sincronizados en cuanto a frecuencia, tensión y/o ángulo de fase. Para ello, las señales de control se derivan de las líneas de tensión reales mediante transformadores de tensión (VT). Esto requiere costosos transformadores de tensión para cada línea de alimentación que se va a comprobar, pero como la línea de alimentación externa será la misma para todos o al menos algunos transformadores de tensión, se puede proporcionar una única referencia mediante un cable en anillo común que se puede utilizar para todos. Sin embargo, dependiendo del tamaño de la subestación, la longitud de los cables necesarios para implementar una red de cables en anillo, cada uno de los cuales representa una señal de referencia concreta, puede llegar a ser extensa y, por tanto, cara.

Para reducir el coste, estos transformadores de tensión pueden ser sustituidos por transformadores de tensión de baja potencia (LPVT). Sin embargo, como sus señales no son lo suficientemente adecuadas / potentes como para ser conmutadas / compartidas en un solo cable en anillo común, es necesario un amplificador adicional, anulando las reducciones de costes conseguidas anteriormente.

En ambos casos, el uso de uno o más cables en anillo proporciona una solución cableada en la que la ubicación del transformador de tensión y la señal de referencia están directamente vinculadas.

La norma IEC 61850 define un estándar de comunicación para la automatización en subestaciones. Los dispositivos lógicos representan un conjunto de funciones de automatización, protección u otras, incluyendo toda la información relevante del equipo de alta tensión como el aparato de conmutación. Uno o más dispositivos lógicos podrían ser alojados por un dispositivo electrónico inteligente (DEI). Cada dispositivo lógico incluye a su vez uno o más nodos lógicos que representan cada uno una capacidad funcional del dispositivo lógico. Además, se pueden crear nodos lógicos para proporcionar funciones de aplicación, como RSYN, MMXU, RDIR. A cada nodo lógico se le pueden asignar objetos de datos para que contengan datos y atributos, como parámetros, estados y otras propiedades, que pueden ser intercambiados entre nodos lógicos.

La norma IEC 61850 prescribe además la medición y comunicación de valores muestreados (SV), como sustituto de las señales analógicas derivadas. Estas señales muestreadas se obtienen de los transformadores de tensión, ya sean LPVT o convencionales, a través de un generador de señales muestreadas, comúnmente denominado unidad de fusión. Estas señales muestreadas pueden comunicarse fácilmente a través de cables Ethernet comunes. La aplicación de la norma IEC 61850 para proporcionar la señal de referencia podría sustituir a la comunicación y distribución de la señal de referencia a través del cable en anillo. Sin embargo, se pierde el vínculo directo entre la señal muestreada y el lugar donde se originó la señal. Por lo tanto, para garantizar que una señal específica representa un punto de conmutación concreto en la subestación al aplicar la norma IEC61850, es necesario poder recuperar la ubicación, es decir, el origen de los valores de la señal muestreada. Esto podría hacerse equipando cada punto de conmutación con su propio VT o LPVT y unidad de fusión y codificando en consecuencia, o a través de un cable en anillo que necesita uno o más amplificadores y codificando qué aparato de conmutación está conectado a cada cable en anillo.

El documento EP 2 854 337 A1 y el resto del estado de la técnica enumerado en la sección (56) de la primera página de la presente patente divulgan procedimientos implementados por ordenador para determinar una réplica de tensión digital, que comprenden la obtención de una topología de subestación, la generación de un modelo, la obtención de datos reales y la obtención de conclusiones a partir del modelo.

Para reducir aún más los costes, se desea reducir el número de componentes y eliminar la necesidad de un amplificador en combinación con LPVT y cable en anillo.

Sumario de la invención

Es un objeto de la invención reducir la huella y/o el número de componentes requeridos para las funciones de protección, control y medición dentro de la subestación.

De acuerdo con un aspecto, se proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 para determinar una réplica de tensión digital de una subestación.

Así, aprovechando que la topología de la subestación está disponible digitalmente, el procedimiento permite determinar una ruta para encontrar un transformador de tensión que indique un nivel de tensión de referencia.

Según otro aspecto, se proporciona un modelo de subestación de acuerdo con las reivindicaciones 9 y 10.

Según otro aspecto, se proporciona un producto de programa de ordenador y un soporte de datos.

5 Breve descripción de los dibujos

A modo de ejemplo únicamente, las realizaciones de la presente divulgación se describirán con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 10 La FIG. 1 muestra un ejemplo de diagrama unilineal y nodos lógicos para una subestación;
- La FIG. 2 ilustra esquemáticamente un ejemplo de procedimiento para determinar una réplica de tensión de acuerdo con la invención;
- La FIG. 3 muestra el diagrama unilineal de la FIG. 1 incluyendo un ejemplo de numeración de nodos de conectividad;
- La FIG. 4 ilustra una visualización de un modelo de nodo generado para la subestación de la FIG. 1;
- La FIG. 5 ilustra una visualización de una versión simplificada del modelo de nodo de la FIG. 4;
- 15 La FIG. 6 muestra otro ejemplo de diagrama unilineal y nodos lógicos para una subestación;
- La FIG. 7 ilustra esquemáticamente un ejemplo de nodo lógico de transformador de tensión proxy (TVTR proxy) de acuerdo con la invención;
- La FIG. 8 muestra un ejemplo de diagrama unilineal para otra subestación; y
- 20 La FIG. 9 es un ejemplo de diagrama de flujo para determinar un transformador de tensión de referencia VT de acuerdo con la invención.

Descripción detallada

En la presentesolicitud, el término aparato de conmutación puede referirse a interruptores seccionadores, disyuntores, conmutadores de circuito, conmutadores de carga o cualquier otro tipo de equipo capaz de redirigir o desconectar líneas de potencia, líneas de corriente o líneas de tensión.

- 25 Una subestación puede comprender varios Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IEDs), controladores basados en microprocesadores, PLCs u otros dispositivos capaces de proporcionar una Arquitectura de Comunicación de Empresas Eléctricas.

- 30 Los equipos de la subestación pueden estar organizados en bahías conectadas a través de una o más barras colectoras. El término bahía en general se utiliza para designar una parte de una subestación que contiene aparatos de conmutación y control relacionados con un circuito determinado. El término bahía de alimentación, en particular, se utiliza para denotar una bahía de una subestación que se relaciona con un alimentador o un enlace a un transformador, un generador u otra subestación. Para más detalles, véase, por ejemplo, el glosario de la norma IEC 60050.

- 35 Como se ha mencionado anteriormente, la norma IEC 61850 permite la comunicación a través de Internet, que incluye el modelo de interfaz de sistema abierto (OSI), o una variante reducida del mismo. Para vincular los componentes de la capa física con los datos de la capa de aplicación, los paquetes de datos utilizan cabeceras para su identificación. En el caso de los transformadores de tensión VT, se utiliza un campo de cabecera SV APPID para identificarlos.

- 40 Las funciones de aplicación comunes al control de subestaciones incluyen RSYN, MMXU, RDIR. Cada una de estas funciones puede beneficiarse de la disponibilidad de una réplica de tensión digital para su uso. La definición de estas funciones puede encontrarse en la literatura relativa a la norma IEC 61850. Por comodidad, se describen brevemente a continuación.

RSYN es una función que produce un cierre para una orden de cierre de un disyuntor para la conexión de dos circuitos cuyas tensiones están dentro de los límites prescritos de magnitud, ángulo de fase y frecuencia.

- 45 MMXU es una función para adquirir valores de TCs y VTs y calcular mensurandos como valores RMS para la corriente y la tensión o flujos de potencia a partir de las muestras de tensión y corriente adquiridas.

RDIR es una función utilizada para representar objetos de datos direccionales en un LN dedicado utilizado para la configuración de relés direccionales.

- 50 Con referencia a la Figura 1, se muestra una representación de un ejemplo de subestación como un diagrama unilineal y nodos lógicos. Parte de estos nodos lógicos están asociados a los componentes del aparato de conmutación. Otros nodos lógicos se refieren a las funciones de la aplicación.

El diagrama unilineal muestra dos barras colectoras 1, 2 dispuestas en un esquema de doble barra. Conectados a la barra doble hay tres bahías de alimentación 3, 4, 5, cada bahía de alimentación 3, 4, 5 está conectada a la primera barra colectora 1 a través de los respectivos interruptores seccionadores 31, 41, 51 y a la segunda barra colectora a través de los respectivos interruptores seccionadores 32, 42, 52.

5 La bahía de alimentación 3 tiene además un disyuntor 33, un transformador de corriente 34, un interruptor seccionador 35, un interruptor de puesta a tierra 36, una entrada de alimentación 37 y un transformador de medición de tensión 38. La bahía de alimentación 4 tiene además dos transformadores de medición de tensión 43, 44. La bahía de alimentación 5 tiene además un disyuntor 53, un transformador de corriente 54, un interruptor seccionador 55, un interruptor de puesta a tierra 56, una entrada de alimentación 57 y un transformador de medición de tensión 58.

10 Cada aparato de conmutación está asociado/controlado con un nodo lógico. Así, los interruptores seccionadores 31, 32 se controlan a través de los nodos lógicos del conmutador de circuito 6a y 6b, el disyuntor 33 se controla a través del nodo lógico del conmutador de circuito 7 y el interruptor seccionador 35 se controla a través del nodo lógico del conmutador de circuito 8. Del mismo modo, los interruptores seccionadores 41, 42 se controlan a través de los nodos lógicos del interruptor de circuito 9a y 9b. Y los interruptores seccionadores 51, 52 se controlan a través de los nodos lógicos del conmutador de circuito 10a y 10b, el disyuntor 53 se controla a través del nodo lógico del disyuntor 11 y el interruptor seccionador 55 se controla a través del nodo lógico del conmutador de circuito 12. En aras de la claridad, las conexiones de los nodos lógicos 6a y 6b con el nodo lógico proxy 18 se han representado con una sola línea. Del mismo modo, para los nodos lógicos 9a y 9b, para los nodos lógicos 14a y 14b, y para los nodos lógicos 10a y 10b.

15 La representación de la subestación incluye además nodos lógicos de transformadores de medida de tensión (TVTR) 13, 15 conectados respectivamente a los transformadores de medida de tensión 38 y 58. Y dos nodos lógicos 14a y 14b conectados a los transformadores de medida de tensión 43, 44 respectivamente. Además, se incluye un nodo lógico controlador de conmutación 16, un nodo lógico de comprobación de sincronización (RSYN) 17 y un nodo lógico proxy 18.

20 Con referencia a la Figura 2, se muestra un ejemplo de un procedimiento para determinar una réplica de tensión digital. El procedimiento parte de la obtención de una topología de subestación 101, en este ejemplo de la subestación representada en la Figura 1. En el marco de la norma IEC 61850, la topología puede obtenerse, por ejemplo, a partir de la sección de la subestación de un archivo .SCD o .SSD que cumpla con los formatos de archivo de configuración estándar.

25 A partir de la topología se genera un modelo de nodos 102, en el que cada aparato de conmutación está representado por un par de dos nodos de conectividad. Además, se obtienen los datos del estado del aparato de conmutación 103. En este ejemplo, los datos del aparato de conmutación se obtienen después de generar el modelo de nodo 102. En otros ejemplos, los datos del aparato de conmutación pueden obtenerse antes de generar el modelo de nodo 102 o pueden realizarse simultáneamente. La generación 102 del modelo de nodos puede realizarse durante el proceso de ingeniería en el que se configura la subestación, mientras que la obtención 103 del estado del aparato de conmutación puede realizarse durante el tiempo de ejecución. Dado que el estado del aparato de conmutación puede alterarse durante el funcionamiento de la subestación, puede ser necesario actualizar estos datos durante el tiempo de ejecución. Mientras que en el proceso de ingeniería basta con indicar el vínculo entre el aparato de conmutación y la réplica de tensión.

30 Cuando se genera el modelo de nodo y se dispone de los datos de estado del aparato de conmutación, el modelo de nodo puede ser animado 104. Esto incluye la indicación, para cada par de nodos de conectividad, de la existencia de una conexión, en función del estado del aparato de conmutación, que puede indicarse, por ejemplo, como "abierta" o "cerrada".

35 Cuando el modelo de nodo es animado 104, al menos un nodo de referencia puede ser determinado para un nodo de conectividad objetivo. El nodo de conectividad objetivo puede ser seleccionado en apoyo de una función de aplicación particular, como RSYN, MMXU o RDIR. También puede estar predeterminado por dicha función.

40 Volviendo a la Figura 3, el procedimiento se describe con más detalle. La Figura 3 muestra la misma topología que la Figura 1, en la que, en aras de la claridad, no se muestran todos los nodos lógicos presentes en la Figura 1. Además, los nodos lógicos 6a y 6b se representan como un único elemento 6. Del mismo modo, para los nodos lógicos 9a y 9b representados por el elemento 9, los nodos lógicos 10a y 10b representados por el elemento 10, y los nodos lógicos 14a y 14b representados por el elemento 14

45 Una vez obtenida la topología que se muestra en la Figura 1, se identifican y numeran los nodos de conectividad, que en este ejemplo van de N0 a N12. Un nodo de conectividad es un punto del diagrama unilineal que representa un potencial común. Estos nodos pueden estar situados entre dos componentes diferentes o entre un componente y una entrada/salida. Asimismo, cada componente está asociado a dos nodos de conectividad a cada lado del componente. Por ejemplo, el disyuntor 33 está situado entre los dos nodos N3 y N4. Y el transformador de corriente 34 está situado entre los nodos N4 y N5. Así, cada componente puede estar representado por un par de nodos de

conectividad, como N3-N4 para el disyuntor 33 o N4-N5 para el transformador de corriente 34. Y, en particular, cada aparato de conmutación presente está representado por un par respectivo de nodos de conectividad. Todas las conexiones que terminan en tierra, es decir, en el suelo, pueden ser representadas por el mismo nodo, por ejemplo, N0.

5 En consecuencia, se puede generar el modelo de nodo de la subestación de la Figura 1. En el diagrama unilíneal de la Figura 3, el modelo de nodos puede verse como cadenas combinadas de pares consecutivos de nodos de conectividad, saltando de un par al siguiente. El modelo de nodos también puede visualizarse como una matriz, como se muestra en la Figura 4.

10 La representación visual del modelo en la Figura 4 muestra todos los nodos tanto en las filas como en las columnas. Cada celda, es decir, la posición de la matriz, muestra si dos nodos están conectados a través de un componente; si está vacía, no hay ningún componente. Con el modelo generado, se puede obtener el estado de cada interruptor y se puede indicar como ABIERTO por "O" o CERRADO por "C". Al almacenar el estado de cada par de conectividad que representa el aparato de conmutación, se anima el modelo de nodo.

15 Para obtener una tensión de referencia para un nodo objetivo específico, como un ejemplo requerido para una función de aplicación específica, es necesario determinar el nodo de conectividad pertinente que está asociado a un transformador de tensión. Se requiere una búsqueda de ruta desde el nodo objetivo hasta el transformador de tensión de referencia. Esto puede hacerse comenzando en un primer par de conectividad que comprende el nodo objetivo y moviéndose a través del nodo complementario, es decir, el nodo homólogo del primer par de conectividad, a un segundo par de conectividad siguiente. Y pasar consecutivamente de este segundo par de conectividad a un siguiente tercer par de conectividad. Este desplazamiento de un par de conectividad al siguiente se realiza hasta alcanzar un nodo de referencia asociado a un transformador de tensión.

20 Este movimiento de un par de conectividad al siguiente se visualiza en la Figura 4 para determinar los transformadores de tensión conectados para el disyuntor 33; cuando, por ejemplo, se requiere realizar una comprobación de sincronización. Supongamos que las celdas 32, 33, 35 y 42 están CERRADAS. Y los nodos N6, N7, N8 y N12 están conectados a transformadores de tensión. La información de qué nodo está conectado a un determinado transformador de tensión puede representarse como un vector VT. Así, los nodos respectivos, en este ejemplo N6 - N8 y N12, pueden ser sustituidos por vectores VT que indican a qué transformador de tensión se refiere el nodo.

25 Partiendo del par de conectividad N4-N3 que representa al disyuntor 33, se sigue la columna para encontrar el siguiente par de conectividad, N3-N2 que representa al disyuntor 32. Desde el par de conectividad N3-N2 se sigue la fila hasta el par de conectividad N2-N8 que representa el aparato de conmutación 44. Como el nodo de conectividad N8 está conectado al transformador de tensión 44, éste es el primer nodo de referencia requerido.

30 De nuevo, partiendo del par de conectividad N3-N4 que representa al disyuntor 33, se sigue la fila para encontrar el siguiente par de conectividad, N4-N5 que representa al transformador de corriente 34. Desde el par de conectividad N4-N5 se sigue la columna hasta el par de conectividad N5-N6 que representa el elemento de conmutación 35. Como el nodo de conectividad N6 está conectado al transformador de tensión 38, éste es el segundo nodo de referencia requerido.

35 Como se ha mostrado anteriormente, a partir del modelo de nodos generado a partir de la topología de la subestación, se pueden obtener las tensiones de referencia pertinentes. Además, en el caso de topologías más complejas, el modelo de nodos generado puede simplificarse para facilitar la determinación de los nodos de referencia pertinentes.

40 La simplificación del modelo de nodos puede incluir la eliminación de los nodos de conectividad asociados a los transformadores de corriente, ya que éstos no influyen en el nivel de tensión / potencial. En el ejemplo de la Figura 3, esto significa eliminar el transformador de corriente 34, eliminando el nodo N5, por lo que el nodo N4 se dirige ahora al nodo N6 a través del interruptor seccionador 35. Y quitar el transformador de corriente 54 eliminando el nodo N10, por lo que el nodo N9 se dirige ahora al nodo N11 a través del interruptor seccionador 55.

45 La simplificación del modelo de nodos puede incluir la eliminación de los nodos de conectividad asociados a los interruptores de puesta a tierra, ya que éstos ponen el potencial a cero. En el ejemplo de la Figura 3, esto significa eliminar los interruptores de puesta a tierra 36 y 56 eliminando el nodo N0.

50 Una simplificación adicional puede incluir la eliminación de los nodos de conectividad asociados a los transformadores de potencia. Como los transformadores de potencia pueden considerarse equipos límite que separan los niveles de tensión. Y la simplificación puede incluir la comprobación de si cada transformador de tensión está asociado a un único nodo de conectividad. Como los transformadores de tensión se consideran equipos de frontera que tienen un nodo de conectividad y pueden ser representados por un vector VT.

55 Un modelo de nodo simplificado resultante puede representarse visualmente como se muestra en la Figura 5. En este ejemplo, una ventaja adicional para simplificar el modelo antes de determinar los nodos de referencia se

obtiene de la simetría de la representación matricial. De este modo se reduce la matriz a una matriz diagonal. Las flechas siguen indicando la ruta recorrida hasta los nodos de referencia correspondientes.

5 En el procedimiento descrito se asume un modo de funcionamiento estático, lo que significa que los cambios en las posiciones de los elementos de conmutación deben desencadenar solicitudes de reanimación, es decir, de recálculo del modelo de nodos. Obsérvese que, aunque el modelo de nodos se ha representado visualmente como una matriz, pueden utilizarse otras formas de almacenar, procesar y representar el modelo de nodos, como por ejemplo conjuntos de datos de cadenas u otros tipos de datos, que pueden ser más adecuados, por ejemplo, para el procesamiento paralelo.

10 El procedimiento divulgado puede ser implementado por ordenador en dispositivos electrónicos inteligentes u otros equipos que formen parte del sistema de control automatizado de la subestación. El procedimiento puede implementarse en un nodo lógico proxy TVTR dedicado, como se muestra en la Figura 1. Esto permite que varios nodos de aplicación se suscriban al proxy TVTR y, por tanto, tengan acceso a la réplica de tensión obtenida por el procedimiento. De esta manera, la réplica de tensión estará disponible para su uso a cualquier función de la aplicación.

15 Alternativamente, el procedimiento también puede ser implementado por ordenador en el nodo lógico de la aplicación que requiere la réplica de tensión. En la Figura 6 se muestra otro ejemplo de representación de la misma subestación que en la Figura 1. Esto muestra el mismo diagrama unilineal y los nodos lógicos indicados por los mismos signos de referencia que se muestran en la Figura 3. Sin embargo, en este ejemplo, el procedimiento se implementa en el nodo lógico de aplicación 17'.

20 El procedimiento divulgado permite seleccionar el nodo de referencia y, con ello, el transformador de tensión de referencia para el nodo objetivo en la capa de aplicación, basándose en la topología. Así, dependiendo de la configuración de la topología, se puede identificar el APPID o el SV correcto.

25 Mientras que los nodos lógicos del transformador de tensión son fijos y sólo proporcionan un flujo de datos de valores muestreados, el uso de un nodo proxy permite una flexibilidad para proporcionar el flujo de datos de valores muestreados requerido mediante la identificación y selección del mismo en un nodo lógico no fijado a un nodo lógico del transformador de tensión particular.

30 Volviendo a la Figura 7, se muestra con más detalle un ejemplo de nodo lógico proxy TVTR. El nodo proxy tiene un bloque de funciones llamado modelo de topología de la subestación y un bloque de funciones llamado TVTR de referencia. El estado del aparato de conmutación es proporcionado por los nodos lógicos de cada aparato de conmutación respectivo a las entradas InRef 1-7. Los valores muestreados procedentes de los nodos lógicos TVTR de referencia se proporcionan a las entradas InRef 8- 10. En este ejemplo se muestran siete entradas para los nodos lógicos del aparato de conmutación y tres para los nodos lógicos de los transformadores de tensión, sin embargo, se pueden proporcionar entradas adicionales en función del número de nodos lógicos presentes en el modelo de subestación. El nodo lógico proxy TVTR tiene una salida 73 para suministrar el flujo de datos requerido de valores muestreados. Sin embargo, pueden proporcionarse múltiples salidas, por ejemplo, cuando en una arquitectura centralizada hay lógicas de enrutamiento adicionales activas al mismo tiempo.

35 El modelo de topología de subestación del bloque de funciones mantiene la topología de subestación obtenida y genera el modelo de nodos en el que se organizan todos los dispositivos de conmutación, incluyendo sus nodos de conectividad que representan los terminales físicos. Las etapas de simplificación de la eliminación de los transformadores de corriente, la eliminación de los interruptores de puesta a tierra y otras simplificaciones como las descritas anteriormente, se pueden realizar en el modelo de nodo de topología de la subestación.

Los datos de estado del aparato de conmutación obtenidos, que describen las indicaciones de posición de toda la aparato de conmutación, a saber, "ABIERTO" o "CERRADO", se procesan para animar el modelo de nodo generado.

45 El bloque de función de referencia TVTR está dispuesto para realizar la lógica de enrutamiento y selección que ejecuta la búsqueda de rutas para determinar el nodo o los nodos del transformador de tensión de referencia necesarios para una función de aplicación particular.

50 Cuando se determina el nodo o nodos de referencia correctos, el flujo de datos de valores muestreados asociado puede ser seleccionado y suministrado a través de la salida 73. En este ejemplo, la selección del flujo de datos de valores muestreados se basa en los vectores VT asociados a los nodos de referencia determinados, lo que permite identificar el flujo SV correcto.

55 Con referencia a la Figura 8, se muestra un ejemplo de un diagrama unilineal de otra subestación. Esta subestación tiene dos secciones de doble barra 1, 2 y 3, 4 y se conecta a siete bahías F01 - F07, de las cuales F01, F02, F06 y F07 son bahías de alimentación. En este diagrama, Q0 indica un disyuntor, T1, T10 y T20 indican transformadores de tensión, y Q1, Q2, Q9, Q10, Q11, Q20 y Q21 indican interruptores seccionadores. Los nodos de conectividad se indican con M1 - M22.

Volviendo a la Figura 9, se muestra un ejemplo de diagrama de flujo para determinar un transformador de tensión de referencia VT. Las etapas de este ejemplo de diagrama de flujo se explicarán con referencia a la Figura 8. Supongamos que se requieren los nodos de referencia para el disyuntor Q0 de la bahía de alimentación F01. Comenzando en 801 en el nodo objetivo M6, se comprueba el estado del aparato de conmutación 802 del seccionador Q9. Está cerrado, por lo que mueve el 804 al nodo homólogo M7. Comprobación si hay un transformador de tensión 805, "sí" está conectado, por lo que se encuentra el primer nodo del transformador de tensión de referencia para el nodo M6 808.

Comenzando de nuevo en 801, ahora en el nodo objetivo M5, se comprueba el estado del aparato de conmutación 802 del seccionador Q1. Está abierto, por lo que no hay ninguna ruta que conduzca a un VT; terminación y reinicio. A continuación, comenzando en 801 de nuevo en el nodo objetivo M5, se comprueba el estado del aparato de conmutación 802 del seccionador Q2. Está cerrado, así que mueve el 804 al nodo homólogo M2. Comprobación del transformador de tensión 805, no hay ninguno conectado, así que se comprueba el siguiente par en 806. En este ejemplo, existen múltiples pares de conectividad para el nodo M2 que deben ser comprobados según el estado del aparato de conmutación asociado. Para el seccionador Q2 de la bahía F04, el estado del aparato de conmutación es cerrado, por lo que se mueve al nodo homólogo M13. No se conecta el transformador de tensión VT 805, por lo que se pasa al siguiente par 806, que será el disyuntor Q0 que está cerrado. Las etapas anteriores se repiten a lo largo del seccionador cerrado Q10 de la bahía F04 al nodo M3 de la barra doble. Y desde el nodo M3 a lo largo de los seccionadores cerrados Q1 y Q9 de la bahía de alimentación F07 al nodo del transformador de tensión de referencia T1 de la bahía de alimentación F07.

Por supuesto, el diagrama de flujo de la Figura 9 puede elaborarse para incluir las diversas repeticiones del esquema descrito anteriormente. Y aunque el principio del diagrama de flujo puede verse como un movimiento a lo largo de los pares de conectividad basado en el estado del aparato de conmutación, pueden implementarse otros esquemas para facilitar la búsqueda de la ruta. En cualquier caso, se ha mostrado que la determinación de los transformadores de tensión de referencia se alivia con el procedimiento divulgado para determinar una réplica de la tensión digital de una subestación.

El procedimiento divulgado puede estar presente en una subestación como un producto de programa de ordenador. El producto de programa de ordenador incluye instrucciones o código que, cuando se ejecuta en al menos un procesador del ordenador, hace que el al menos un procesador del ordenador lleve a cabo el procedimiento para determinar una réplica de tensión digital, en la forma divulgada.

El procedimiento divulgado puede almacenarse en una subestación en un medio legible por ordenador no transitorio. O puede almacenarse en cualquier otro dispositivo de memoria legible por ordenador capaz de almacenar código ejecutable para ejecutar instrucciones según el procedimiento divulgado.

El código almacenado en la memoria puede ser implementado como software y/o firmware para programar los procesadores para llevar a cabo las acciones descritas anteriormente. En ciertas realizaciones, dicho software o firmware puede proporcionarse inicialmente al ordenador descargándolo desde un sistema remoto a través del ordenador (por ejemplo, mediante un adaptador de red). En algunas realizaciones, la memoria y los dispositivos de almacenamiento pueden ser una sola entidad.

Los componentes introducidos en la presente memoria pueden ser implementados, por ejemplo, por circuitos programables (por ejemplo, uno o más microprocesadores) programados con software y/o firmware, o enteramente en circuitos cableados de propósito especial (no programables), o en una combinación de tales formas. Los circuitos de propósito especial puede estar en forma de, por ejemplo, uno o más ASIC, PLD, FPGA, etc.

El software o firmware para su uso en la subestación puede ser almacenado en un medio de almacenamiento legible por máquina y puede ser ejecutado por uno o más microprocesadores programables de propósito general o especial, como por ejemplo puede estar presente en HMIs, PLCs, SCADAs, servidores, centro de control u otros controladores o unidades de procesamiento. Un "medio de almacenamiento legible por máquina", tal y como se utiliza el término en la presente memoria, incluye cualquier mecanismo que pueda almacenar información en una forma accesible por una máquina.

En este contexto, un medio de almacenamiento no transitorio puede incluir un dispositivo que sea tangible, lo que significa que el dispositivo tiene una forma física concreta, aunque el dispositivo puede cambiar su estado físico. Por lo tanto, por ejemplo, no transitorio se refiere a un dispositivo que sigue siendo tangible a pesar de este cambio de estado.

El término "lógica", tal y como se utiliza en la presente memoria, puede incluir, por ejemplo, circuitos programables programados con software y/o firmware específico, circuitos cableados de propósito especial, o una combinación de los mismos.

Aunque la presente invención se ha descrito anteriormente con referencia a realizaciones específicas, no pretende limitarse a la forma específica en la presente memoria expuesta. Por el contrario, la invención está limitada

únicamente por las reivindicaciones que la acompañan y, otras realizaciones distintas de las específicas anteriores son igualmente posibles dentro del alcance de la reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento implementado por ordenador para determinar una réplica de la tensión digital de una subestación, estando la subestación representada como un diagrama unilineal que tiene componentes del aparato de conmutación, estando cada componente del aparato de conmutación asociado a un nodo lógico, comprendiendo el procedimiento:
- 10 obtener una topología de subestación (101);
 identificar y numerar los nodos de conectividad de la topología, siendo cada nodo de conectividad un punto del diagrama unilineal que representa un potencial común;
 generar un modelo de nodos (102) a partir de la topología, el modelo representando cada componente del aparato de conmutación por un par de dos nodos de conectividad, el modelo comprendiendo cadenas combinadas de pares consecutivos de nodos de conectividad;
 15 obtener los datos de estado del aparato de conmutación (103);
 animar el modelo de nodos (104) asignando, para cada aparato de conmutación, los datos de estado de los aparatos de conmutación obtenidos al respectivo par de nodos de conectividad (N0 - N12);
 determinar un nodo de tensión de referencia para un nodo de conectividad objetivo (105) mediante una búsqueda de ruta desde el nodo de conectividad objetivo hasta un transformador de tensión de referencia.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
- 20 eliminar los nodos de conectividad asociados a los transformadores de corriente (34, 54);
 eliminar los nodos de conectividad asociados a los seccionadores de puesta a tierra (36, 56);
 eliminar los nodos de conectividad asociados a los transformadores de potencia; y
 comprobar que cada transformador de tensión (13, 43, 44, 58) está asociado a un único nodo de conectividad.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que la generación de un modelo de nodo (102) comprende:
- 25 ordenar los nodos de conectividad en una matriz simétrica basada en identificadores únicos de nodos de conectividad (N0 - N12); y/o
 transformar el modelo de nodos en una matriz diagonal basada en identificadores de nodos de conectividad únicos (N0 - N12).
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la determinación de un nodo de referencia para un nodo de conectividad objetivo (105) comprende: determinar al menos una ruta conectada entre el nodo objetivo (N3) y el nodo de referencia (N6, N8).
- 30 5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la determinación de al menos una ruta conectada comprende:
- empezar por un par de conectividad (N3-N4) que comprende el nodo objetivo (N3);
 desplazarse a través de un nodo homólogo (N2, N4) del par de nodos (N3-N4) a un par de nodos siguientes (N3-N2; N4-N5);
 35 hasta alcanzar un nodo de referencia (N8, N6) asociado a un transformador de tensión (38; 58).
6. Procedimiento según la reivindicación 5, que consiste en repetir las etapas de la reivindicación 5 para cada par de conectividad (N3-N4) que comprenda el nodo objetivo (N3).
7. Procedimiento según la reivindicación 6, que consiste en seleccionar la ruta más corta desde el nodo objetivo (N3) hasta el nodo de referencia más cercano (N6, N8).
- 40 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la generación del modelo comprende además:
- representar los transformadores de potencia, los transformadores de corriente y otros componentes de la subestación mediante pares de nodos de conectividad; y/o
 representar los transformadores de tensión por un nodo de conectividad (N6, N12).
- 45 9. Un modelo de subestación, que comprende:
- al menos dos dispositivos lógicos, cada uno de los cuales representa un dispositivo físico de una subestación; cada dispositivo lógico comprende uno o más nodos lógicos;
 en el que cada nodo lógico (6 - 15) representa una capacidad funcional del dispositivo lógico, teniendo cada nodo lógico (6 - 15) asignados objetos de datos que contienen atributos para la capacidad funcional;
 50 que comprende además un nodo lógico de aplicación (16, 17) que realiza una función de aplicación; y
 en el que el nodo lógico de aplicación (16, 17) está dispuesto para determinar una réplica de tensión digital de una subestación mediante la implementación del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 8.

10. Un modelo de subestación, que comprende:
- 5 al menos dos dispositivos lógicos, cada uno de los cuales representa un dispositivo físico de una subestación; cada dispositivo lógico comprende uno o más nodos lógicos; en el que cada nodo lógico (6 - 15) representa una capacidad funcional del dispositivo lógico, teniendo cada nodo lógico (6 - 15) asignados objetos de datos que contienen atributos para la capacidad funcional; comprendiendo además al menos un nodo lógico proxy (18) para recoger flujos de datos de valores muestreados y seleccionar uno de ellos para su transmisión; y en el que el nodo lógico proxy está dispuesto para determinar una réplica de tensión digital de una subestación implementando el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 8.
- 10 11. Un modelo de subestación según la reivindicación 10, que comprende además:
- un nodo lógico de aplicación (16, 17) que realiza una función de aplicación; y en el que el nodo lógico de aplicación (16, 17) está suscrito al menos a un nodo lógico proxy (18) para recibir flujos de datos de valores muestreados seleccionados.
- 15 12. Un producto de programa de ordenador, que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan en al menos un procesador del ordenador, hacen que el al menos un procesador del ordenador lleve a cabo un procedimiento para determinar una réplica de tensión digital de una subestación, estando la subestación representada como un diagrama unilineal que tiene componentes del aparato de conmutación, estando cada componente del aparato de conmutación asociado a un nodo lógico, comprendiendo el procedimiento:
- 20 obtener una topología de subestación (101); identificar y numerar los nodos de conectividad de la topología, siendo cada nodo de conectividad un punto del diagrama unilineal que representa un potencial común; generar un modelo de nodos (102) a partir de la topología, el modelo representando cada componente del aparato de conmutación por un par de dos nodos de conectividad, el modelo comprendiendo cadenas combinadas de pares consecutivos de nodos de conectividad;
- 25 obtener los datos de estado del aparato de conmutación (103); animar el modelo de nodos (104) asignando, para cada aparato de conmutación, los datos de estado de los aparatos de conmutación obtenidos al respectivo par de nodos de conectividad (N0 - N12); determinar un nodo de tensión de referencia para un nodo de conectividad objetivo (105) mediante una búsqueda de ruta desde el nodo de conectividad objetivo hasta un transformador de tensión de referencia.
- 30 13. Un programa de ordenador según la reivindicación 12, que comprende además instrucciones para llevar a cabo el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 - 8.
14. Un medio legible por ordenador no transitorio que almacena el producto de programa de ordenador de la reivindicación 12 o 13.

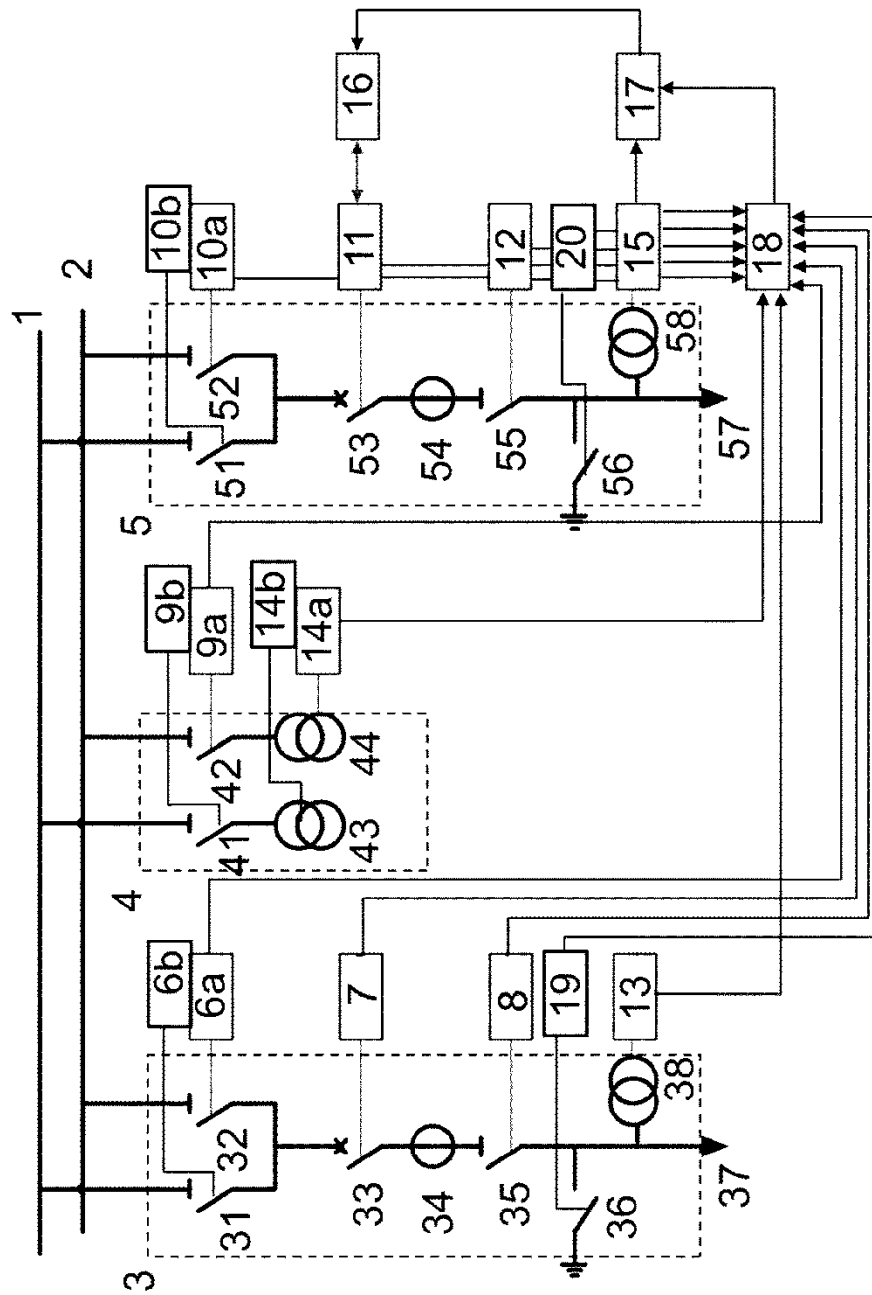


Fig. 1

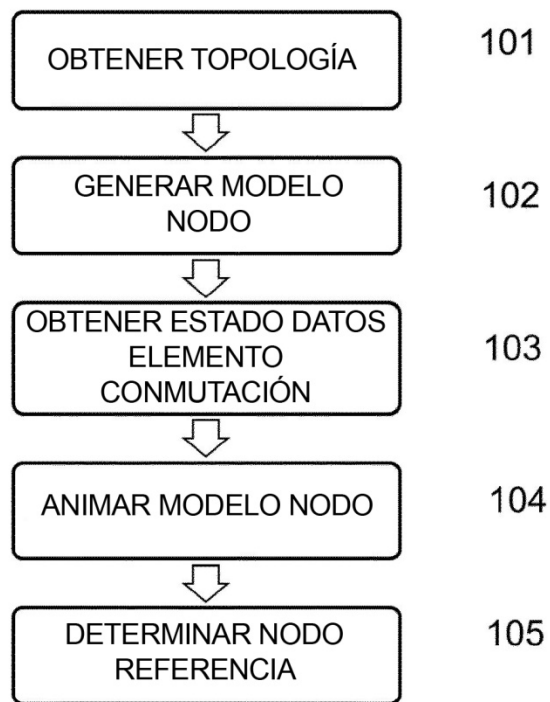


Fig. 2

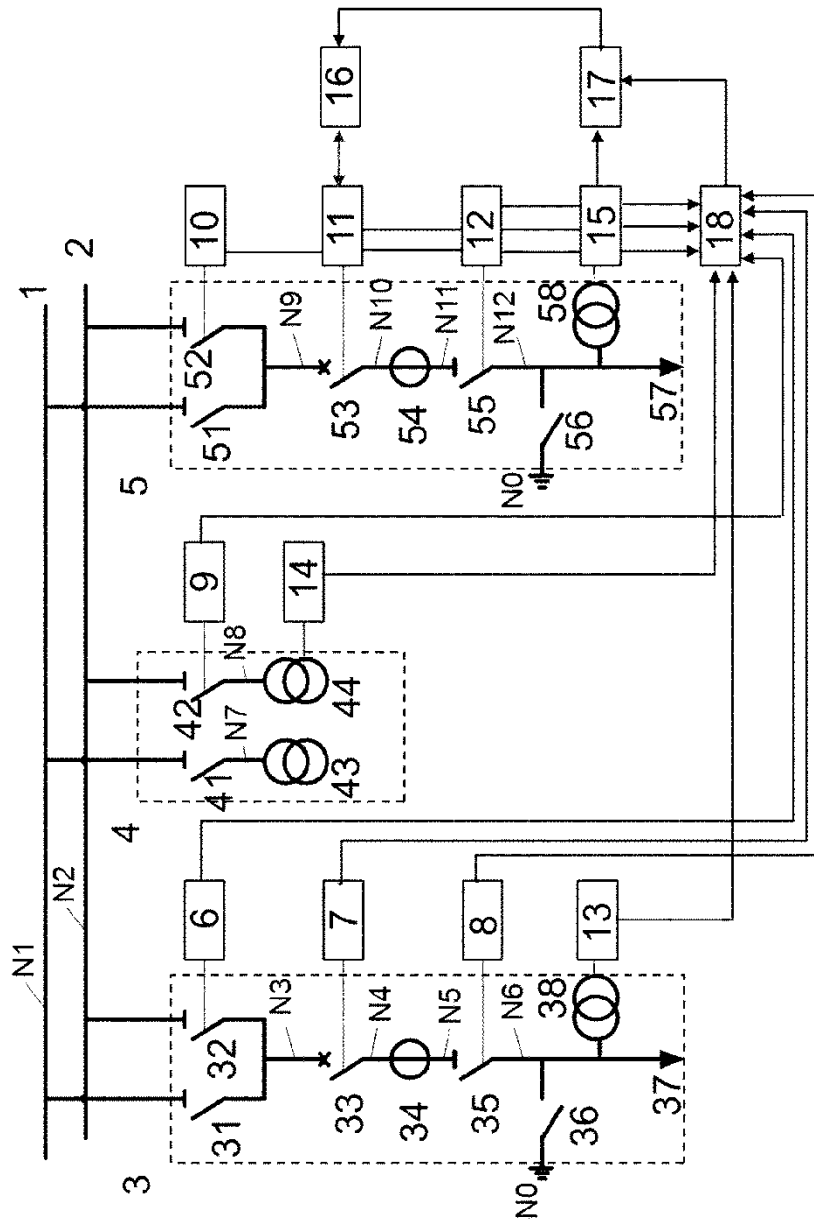


Fig. 3

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|-------|-------|-------|-------|--------|---|-------|-------|-------|-------|----|--------|-------|
| 0 | | | | | | | 36; O | | | | | | 56; O |
| 1 | | | | 31; O | | | | 41; O | | 51; O | | | |
| 2 | | | | 32; C | | | | | 42; C | 52; O | | | |
| 3 | | 31; O | 32; C | | 33; T | | | | | | | | |
| 4 | | | | 33; T | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | 34; CT | | 35; C | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | 41; O | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | 42; C | | | | | | | | | | |
| 9 | | 51; O | 52; O | | | | | | | 53; O | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | 54; CT | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | 55; O |
| 12 | 56; O | | | | | | | | | | | | |

Fig. 4

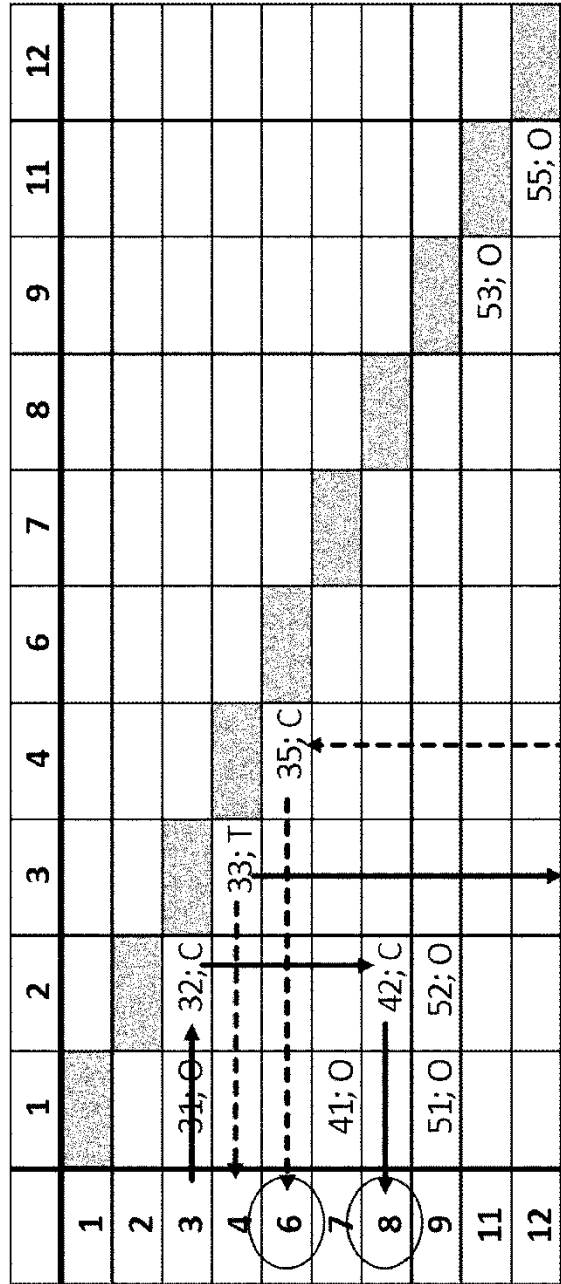


Fig. 5

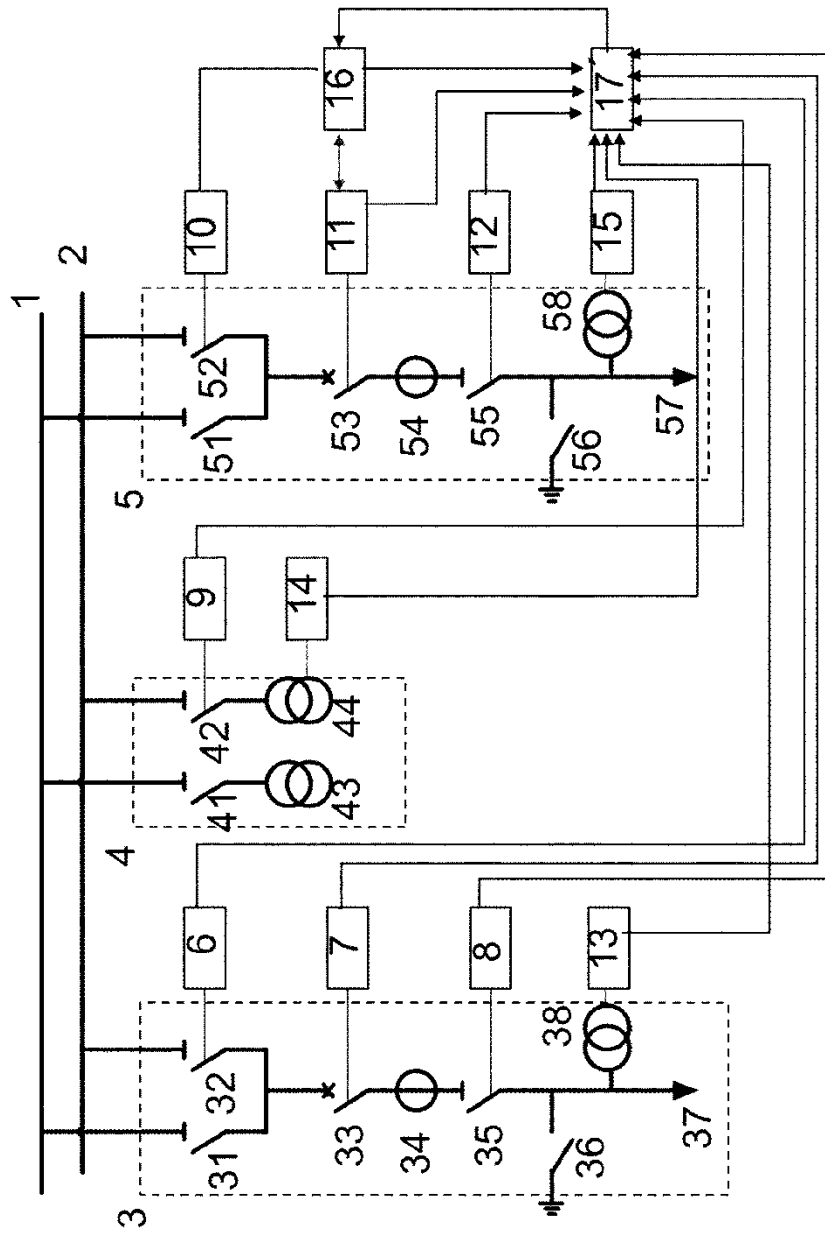


Fig. 6

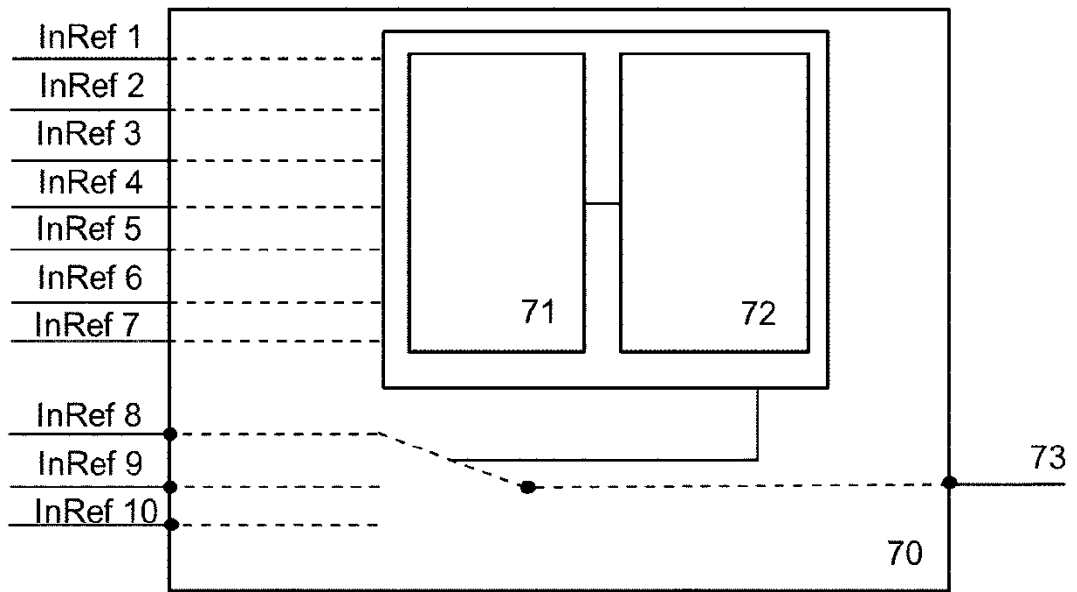


Fig. 7

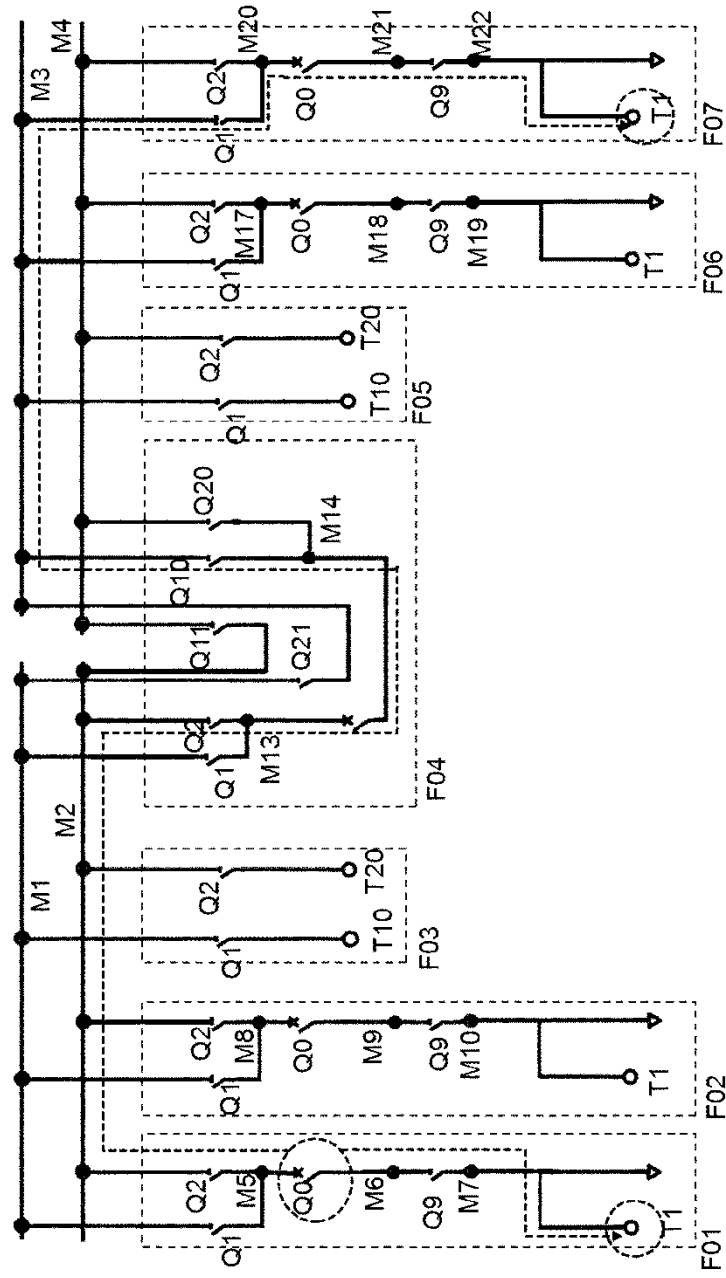


Fig. 8

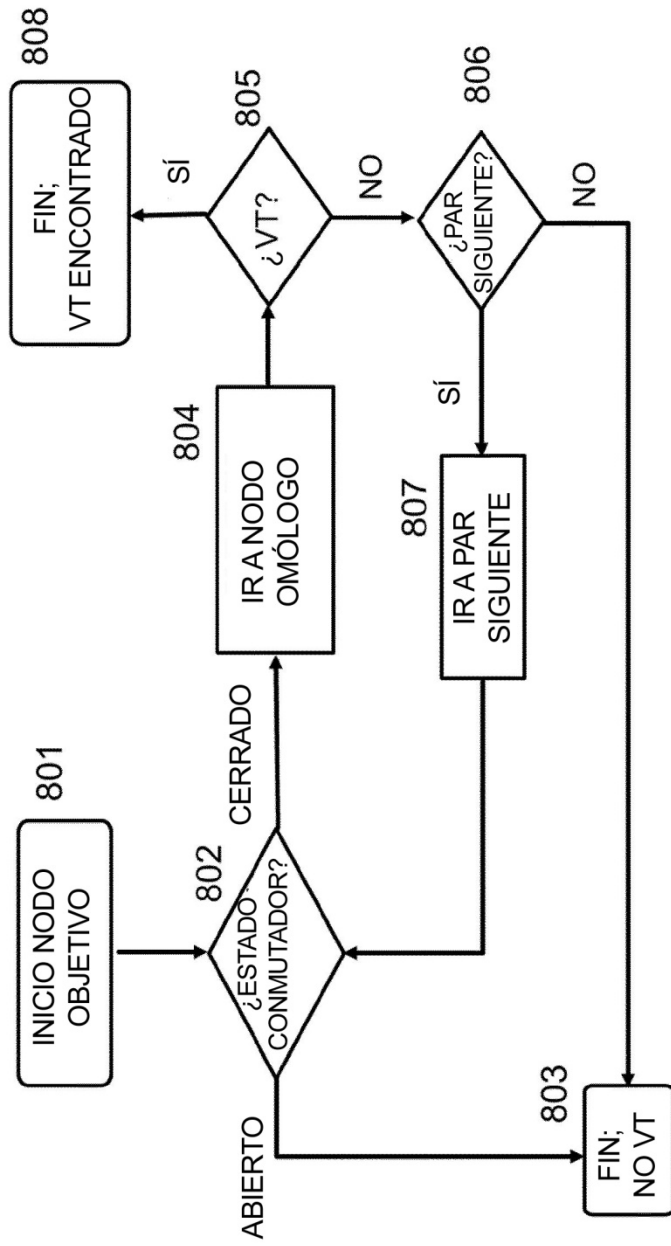


Fig. 9